



UNIVERSIDAD
DE CHILE

FRUTALES PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS



SERIE
CIENCIAS
AGRONÓMICAS

Autores
Nicolás Franck
Víctor Muñoz - Aravena

Nº 20; 2014



UNIVERSIDAD DE CHILE

SERIE CIENCIAS AGRONÓMICAS N° 20, 2014

Frutales para Zonas Áridas y Semiáridas

Autores

Nicolás Franck B. y Víctor M. Muñoz-Aravena

Editores

Claudio Pastenes V. y Álvaro Peña-Neira

Santiago-Chile, 2014

N. Franck y V. Muñoz-Aravena
FRUTALES PARA ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS
Santiago, Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agronómicas, 2014
Serie Agronómicas N° 20
232 páginas.

Financiamiento:
Fundación de la Innovación Agraria (FIA)

ISBN LIBRO: 978-956-19-0869-7
ISBN SERIE: 978-956-19-0363-0
R.P.I.: 243.763

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile
Casilla 1004, Santa Rosa 11315
La Pintana, Santiago

Edición: 200 ejemplares

Diseño portada: Carola Franck y Andrea Rojas.
Diagramación: Denisse Espinoza A.
Impresión: Andros Impresores.

Tabla de contenidos

<i>Dedicatoria</i>	11
<i>Agradecimientos</i>	13
<i>Autores de capítulos</i>	15
<i>Prólogo</i>	17
<i>Introducción</i>	19
Franck N.	
EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA.....	22
TOLERANCIA A LA SEQUÍA.....	25
ZONAS IDÓNEAS DE CULTIVO EN CHILE.....	28
PROPÓSITO.....	30
LITERATURA CITADA.....	31
 <i>Capítulo 1</i>	
El Granado (<i>Punica granatum</i> L.)	33
Zamorano D. y Franck N.	
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE CULTIVO.....	35
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	36
NOMBRES COMUNES.....	36
VARIEDADES CULTIVADAS.....	36
VARIEDADES ISRAELITAS DISPONIBLES EN CHILE.....	37
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	38
CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA.....	38
BIOLOGÍA FLORAL.....	42
FLORACIÓN.....	44
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO.....	45
DESCRIPCIÓN DE LOS FRUTOS, VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES NUTRICIONALES ..	46
REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO (CLIMA, SUELO).....	49
PROPAGACIÓN Y PLANTACIÓN.....	50
PROPAGACIÓN POR ESTACA LEÑOSA.....	51
PROPAGACIÓN POR ESTACAS HERBÁCEAS.....	52
INJERTACIÓN.....	52
PREPARACIÓN DEL TERRENO.....	53
POLINIZACIÓN.....	54
MANEJO DEL CULTIVO.....	54
PODA DE FORMACIÓN Y SISTEMAS DE CONDUCCIÓN.....	54
PODA DE PRODUCCIÓN.....	57
RALEO.....	58

RALEO MANUAL.....	58
RALEO QUÍMICO.....	61
RIEGO.....	62
NUTRICIÓN MINERAL.....	64
PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	65
COSECHA.....	67
OTROS USOS.....	70
PERSPECTIVAS A FUTURO.....	71
LITERATURA CITADA.....	72
 Capítulo 2	
La Higuera (<i>Ficus carica</i> L.).....	79
Muñoz-Aravena V. M. y Franck N.	
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE CULTIVO.....	81
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	81
VARIEDADES CULTIVADAS.....	81
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	83
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	83
BIOLOGÍA FLORAL.....	84
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO.....	86
DESCRIPCIÓN DE LOS FRUTOS: VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES NUTRICIONALES...	87
REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.....	88
PROPAGACIÓN Y PLANTACIÓN.....	90
POLINIZACIÓN.....	92
MANEJO DEL CULTIVO.....	92
PODA DE FORMACIÓN.....	92
SISTEMAS DE CONDUCCIÓN.....	95
PODA DE PRODUCCIÓN.....	96
RALEO.....	100
RIEGO.....	100
NUTRICIÓN MINERAL.....	101
PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	103
COSECHA.....	103
MANEJO DE POST-COSECHA.....	105
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	105
OTROS USOS.....	105
PERSPECTIVAS A FUTURO.....	106
LITERATURA CITADA.....	107
 Capítulo 3	
La Tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill).....	109
Vesely V. y Franck N.	
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DEL CULTIVO.....	111
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	111

VARIETADES CULTIVADAS.....	113
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	114
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	114
BIOLOGÍA FLORAL.....	116
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO.....	117
DESCRIPCIÓN DE LOS FRUTOS, VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES NUTRICIONALES...	118
FISIOLOGÍA DE LA PLANTA.....	120
NUTRIENTES Y SALINIDAD.....	121
EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA (EUA)	123
REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.....	123
REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS.....	123
REQUERIMIENTOS EDÁFICOS.....	125
PROPAGACIÓN Y PLANTACIÓN.....	126
POLINIZACIÓN.....	132
MANEJO DEL CULTIVO.....	132
PODA.....	132
SISTEMAS DE FORMACIÓN.....	134
RALEO.....	135
REGIO.....	137
NUTRICIÓN MINERAL.....	138
ANILLADO.....	138
PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	139
COSECHA.....	140
MANEJO DE POST-COSECHA.....	141
OTROS USOS.....	143
PERSPECTIVAS A FUTURO.....	148
LITERATURA CITADA.....	150

Capítulo 4

Tamarillo (<i>Cyphomandra betaceae</i> (Cav.) Sendt).....	157
Muñoz-Aravena V. M. y Franck N.	
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE CULTIVO.....	159
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	159
VARIETADES CULTIVADAS.....	160
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	161
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	161
BIOLOGÍA FLORAL.....	163
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO.....	164
DESCRIPCIÓN DE LOS FRUTOS, VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES NUTRICIONALES ...	164
REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO (CLIMA, SUELO).....	165
PROPAGACIÓN Y PLANTACIÓN.....	168
PROPAGACIÓN.....	168
PLANTACIÓN.....	169
POLINIZACIÓN.....	169

MANEJO DEL CULTIVO.....	170
PODA DE FORMACIÓN.....	170
SISTEMAS DE CONDUCCIÓN.....	170
PODA DE PRODUCCIÓN.....	170
RALEO.....	171
RIEGO.....	171
NUTRICIÓN MINERAL.....	172
PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	172
PLAGAS.....	172
ENFERMEDADES.....	173
COSECHA (MANEJO DE COSECHA Y PRODUCCIONES OBTENIDAS).....	174
MANEJO DE POST-COSECHA.....	175
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	175
PERSPECTIVAS A FUTURO.....	175
LITERATURA CITADA.....	177
 Capítulo 5:	
Pitahaya (<i>Hylocereus spp.</i> y <i>Selenicereus megalanthus</i>).....	179
Muñoz-Aravena, V. M. y Franck N.	
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DE CULTIVO.....	181
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	181
ESPECIES.....	181
NOMBRES COMUNES.....	182
VARIEDADES CULTIVADAS.....	182
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	184
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA.....	184
BIOLOGÍA FLORAL.....	186
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO.....	187
DESCRIPCIÓN DE LOS FRUTOS, VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES NUTRICIONALES....	188
REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO (CLIMA, SUELO).....	190
PROPAGACIÓN Y PLANTACIÓN.....	191
POLINIZACIÓN.....	193
MANEJO DEL CULTIVO.....	195
PODA DE FORMACIÓN.....	195
SISTEMAS DE CONDUCCIÓN.....	195
PODA DE PRODUCCIÓN.....	196
RIEGO.....	197
NUTRICIÓN MINERAL.....	198
PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	198
COSECHA (MANEJO DE COSECHA Y PRODUCCIONES OBTENIDAS)	200
MANEJO DE POST-COSECHA.....	201
ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	201
OTROS USOS.....	202
PERSPECTIVAS A FUTURO.....	202

LITERATURA CITADA.....	204
Capítulo 6	
Palma Datilera (<i>Phoenix dactylifera</i>)	205
Arancibia-Avendaño D. y Franck N.	
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA ACTUAL DEL CULTIVO.....	207
PRODUCCIÓN MUNDIAL.....	209
CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.....	210
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA.....	212
BIOLOGÍA FLORAL.....	215
CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL FRUTO.....	217
DESCRIPCIÓN DE LOS FRUTOS, VALOR NUTRITIVO Y PROPIEDADES NUTRICIONALES....	218
REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO.....	218
PROPAGACIÓN Y PLANTACIÓN.....	221
MANEJO DEL CULTIVO.....	224
RIEGO.....	224
NUTRICIÓN MINERAL.....	224
PODA.....	224
POLINIZACIÓN.....	225
RALEO.....	226
PLAGAS Y ENFERMEDADES.....	226
MANEJO DE COSECHA Y PRODUCCIONES OBTENIDAS.....	227
MANEJO DE POST-COSECHA, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	229
OTROS USOS.....	229
LITERATURA CITADA.....	230

Dedicatoria

A la profesora de educación básica Renate Berger Gradenwitz, mi madre.

Nicolás Franck Berger

A mi hermano Ignacio, que me acompaña siempre...

Víctor Muñoz Aravena

Agradecimientos

El trabajo presentado en este libro fue financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) a través del proyecto PYT-2008-0216.

Se agradece el apoyo de las siguientes personas, empresas e instituciones: Laura Ascui (Viveros La Serena, La Serena), Roberto Hernández y Cristian Narea (Agrícola H&C, Coquimbo); Herman Villarroel, Lucía Caviedes y Andrea Avendaño (Liceo Agrícola de Ovalle SNA Educa, Ovalle); Ulises Contador, Claudia Mendoza y Ricardo González (Frutícola La Compañía, Vicuña); Sergio Hudson (Canto del Agua); Andrés Lozano y Rodrigo Aguilera (Agrícola Don Alfonso, Hornitos); Rodrigo Susaeta, Alejandro Hidalgo, Manuel Muñoz y Fernando Ognio (Agrícola Dainal, Manflas); Francisco González (Agrícola Infiernillo, Punitaqui), Alexander Cáceres (Fundo Esmeralda, Pica); Alejandro Navarro (Viverosur, Curicó), Rodrigo Cruzat (Aquavita, Santiago), Jorge Alache (Seremi de Agricultura, Arica); Rodrigo Sepúlveda (Fedefruta, Santiago); Angélica Osorio y Mariela Herrera (APECO, Copiapó); Emma Schwarze y Luis Gustavo Díaz (PTI Valle del Huasco, Vallenar); José Moreno (Sociedad Agrícola del Norte, La Serena); Hugo Escobar (Universidad de Tarapacá, Arica); Loreto Burgos y Alfonso Yévenes (FIA); Claudia Torres, Aldo Zambra y Rebeca Zúñiga (Campo Experimental Agronómico Las Cardas); Cecilia Anativia, Karinna Estay y Mirko Talamilla (CEZA).

AUTORES DE CAPÍTULOS

David Arancibia-Avendaño¹

Ingeniero Agrónomo

Nicolás Franck^{1,2}

Ingeniero Agrónomo, M.S., Ph.D.

Víctor Muñoz-Aravena¹

Ingeniero Agrónomo

Valentina Vesely¹

Ingeniera Agrónoma

Denisse Zamorano¹

Ingeniera Agrónoma

¹ Laboratorio de Adaptación de las Plantas a la Aridez (APA)
Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA)
Facultad de Ciencias Agronómicas
UNIVERSIDAD DE CHILE

² Departamento de Producción Agrícola
Facultad de Ciencias Agronómicas
UNIVERSIDAD DE CHILE

PRÓLOGO

Chile escogió el camino de la exportación de alimentos para el desarrollo de su agricultura. En ello sobresale la fruticultura. Más de un tercio (41%) de Chile es desértico y las zonas áridas y semiáridas abundan. En estos ecosistemas se requieren especies resistentes a sequía, salinidad, altas y bajas temperaturas y con alta eficiencia del uso del agua. En el pasado se cultivó trigo y se enfatizó la ganadería menor en estas zonas con el consecuente daño a los recursos naturales. Sobresale la erosión del suelo, en un proceso de desertificación que avanza inexorablemente de norte a sur producto del sobretalajeo y cultivos de secano con precipitaciones inferiores a 250 mm al año.

La estrategia que ha impulsado la Universidad de Chile para las zonas áridas, a través de su Centro de Estudios de Zonas Áridas, es diferente. Desde mediados del siglo pasado desarrolló el uso de arbustos forrajeros, sobresaliendo especies del género *Atriplex*. Luego puso a punto la tecnología para el cultivo de jojoba para seguir con higuera, granado y alcaparra y presentar, en esta oportunidad, resultados que entregan mayores antecedentes sobre higuera y granado, además de tuna, tamarillo, pitahaya y palma datilera. Todas estas son especies de hábito arbustivo o arbóreo, perennes, con resistencia a

sequía y/o salinidad, que reaccionan muy favorablemente al riego y que pueden hacer frente a las condiciones de producción de un clima altamente fluctuante, particularmente a la disminución de la pluviometría asociada al cambio climático en nuestro país. Todas estas especies tienen un alto potencial a futuro.

El lector encontrará información desde origen y distribución geográfica actual a variedades cultivadas, valor nutritivo y propiedades nutricionales, nutrientes y salinidad, eficiencia del uso del agua, requerimientos climáticos y de suelos del cultivo, propagación, plantación y manejo, plagas y enfermedades y manejo de postcosecha. Esta publicación complementa escritos anteriores para zonas áridas en *Atriplex*, jojoba, higuera, granado, tuna y alcaparra y tiene componentes fisiológicos y agronómicos importantes y al alcance de un amplio sector de lectores.

Este libro, producto del trabajo del Centro de Estudios de Zonas Áridas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, constituye un gran aporte a la agronomía y la agricultura de zonas áridas y semiáridas chilenas.

Edmundo Acevedo H.
Profesor Titular
Universidad de Chile

INTRODUCCIÓN

Nicolás Franck

Los ambientes áridos son extremadamente diversos en términos de sus balances hídricos, suelos, flora, fauna y actividades humanas. Debido a esta diversidad, no existe una definición práctica de lo que es un ambiente árido, siendo el único factor común a todos estos ambientes, la aridez. La aridez se expresa en base a un índice de aridez (IA) que es función de las precipitaciones y la temperatura de un determinado sitio. El IA se obtiene dividiendo el monto de precipitaciones anuales (p) por la evapotranspiración potencial anual (ETp), ambos expresados en milímetros: $IA = p/ETp$ (FAO, 1989). La ETp de un sitio corresponde a la cantidad de agua que consume un césped para su óptimo crecimiento, bajo las condiciones climáticas del lugar. En consecuencia, en un sitio con un $IA = 1$, la lluvia anual suple la totalidad de los requerimientos hídricos de un césped.

En base al IA, las zonas áridas se clasifican en zonas hiper-áridas ($IA < 0,03$), zonas áridas ($IA = 0,03-0,20$) y zonas semiáridas ($IA = 0,20-0,50$; FAO, 1989). Por lo tanto, cualquier zona cuyas lluvias anuales sean iguales o inferiores a la mitad de la ETp anual, se considera, genéricamente, como zona árida

(incluyendo zonas hiper-áridas, áridas y semiáridas).

Las zonas áridas y semiáridas cubren aproximadamente un tercio de la superficie continental de la tierra y se caracterizan por la incidencia de frecuentes sequías (Malagnoux *et al.*, 2007). Los modelos de cambio climático predicen que, en la gran mayoría de dichas zonas, la temperatura aumentará y las precipitaciones disminuirán (Dai, 2010), lo que se traducirá en una reducción de la productividad de los sistemas agrícolas. En el caso de Chile, el 41% del territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas (≈ 31 millones de hectáreas; Benites *et al.*, 1994). En estas zonas de Chile, las precipitaciones se redujeron entre un 40 y 50% entre 1900 y 2001, tendencia que se mantendría en el futuro según el Panela Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas (Dai, 2010). Las zonas áridas y semiáridas de Chile abarcan una distancia en línea recta cercana a los 1.600 km desde la Región de Arica y Parícuta, por el norte, hasta la Región de Valparaíso, por el sur. La fruticultura de exportación juega un rol preponderante en dicha macro-región, particularmente en las Regiones de Arica y Parícuta, Atacama, Coquimbo y Valparaíso. Dicha fruticultura se basa en el uso de riego presurizado con agua proveniente de los deshielos

cordilleranos que, en muchos valles, es embalsada. En la actualidad (2014), las regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso han estado afectadas por una severa sequía que se ha prolongado por más de cinco años, llevando a que los principales embalses de dichas regiones cuenten con $\approx 5\%$ de su capacidad volumétrica. El déficit de agua de riego ha resultado en significativas mermas de la producción frutícola y en la muerte y abandono de huertos.

La mayor parte de las especies frutales que se cultivan en las zonas áridas y semiáridas del país requieren de medianos a altos volúmenes de riego para alcanzar una óptima producción y presentan una baja tolerancia a la sequía (Franck *et al.*, 2010). Un ejemplo emblemático de esta situación es el cultivo del palto o aguacate (*Persea americana*), especie de origen tropical, de alto consumo hídrico y alta sensibilidad a la sequía. Así, la sequía ha obligado a los productores de paltos del norte de Chile a podar drásticamente los árboles para disminuir su transpiración, con la consecuente pérdida de la producción; muchos de estos huertos han muerto. Ante esta situación, surge la necesidad de reconvertir los sistemas de producción frutícola, apuntando a especies frutales que tengan un menor consumo hídrico y toleren la sequía (Franck *et al.*, 2010).

En este libro se presentan seis frutales que cumplen los requisitos antes descritos para su cultivo en zonas áridas: granado (*Punica granatum*), higuera (*Ficus carica*), palma datilera (*Phoenix dactylifera*), pitahaya (*Hylocereus spp.* y *Selenicereus megalanthus*), tamarillo (*Cyphomandra betacea*) y tuna (*Opuntia ficus-indica*). A excepción de la pitahaya y el tamarillo, que son originarias de zonas tropicales y subtropicales, respectivamente, estas especies son originarias de zonas áridas y están fuertemente ligadas a la historia y cultura de sus lugares de origen. A modo de ejemplo, la palma datilera, el granado y la higuera, junto al trigo, la cebada, el olivo y la vid, forman parte de las siete especies de la torah, libro que contiene las leyes que rigen la religión judía. De hecho, el granado, la higuera y la palma datilera figuran en el logo de la organización para la investigación agraria de Israel (Figura I.1A). La importancia de estas especies en la cultura hebrea, grafica su excelente adaptación a los climas áridos que prevalecen en el medio oriente. De hecho, las tres especies son tolerantes a la sequía y, el granado y la higuera, son conocidos por tener menores requerimientos hídricos que la mayoría de los frutales. En el caso de la palma datilera, si bien esta especie, originaria de Irak, tiene muy altos requerimientos hídricos, posee un sistema radical conocido como dimórfico: tiene raíces superficiales y raíces profundizadoras. Estas últimas

raíces absorben agua desde las napas subterráneas. Esta característica permite que, si se cultivan en zonas con napas freáticas a baja profundidad, el suministro de riego superficial pueda reducirse significativamente una vez que las raíces profundizadoras hayan alcanzado la napa.

La tuna, por su parte, es conocida como nopal en México, su zona de origen y la leyenda cuenta que los mexicas se asentaron en el lugar en el que encontraron a un águila devorando una serpiente sobre un nopal, escena que se reproduce en el escudo de México (Figura I.1B). La tuna, como todas las cactáceas, tiene un muy bajo requerimiento hídrico y una alta tolerancia a la sequía.



Figura I.1. Logo de la organización de investigación agrícola de Israel (ARO) en el que figuran hojas y frutos de higuera y granado; y una la palma datilera (A); y escudo de México donde se representa a un águila devorando una serpiente sobre un nopal (tuna) (B).

Respecto de la pitahaya, si bien su origen es tropical, esta especie, al igual que la tuna, pertenece a la familia de las cactáceas y se caracterizan por sus bajos requerimientos hídricos y alta tolerancia a la sequía. El tamarillo, por su parte, se adapta bien al cultivo en zonas semiáridas pero no existen antecedentes claros acerca de sus requerimientos hídricos y es considerada una especie relativamente sensible a la sequía. No obstante lo anterior, se ha demostrado que puede tolerar períodos de 35 días sin riego ni lluvia, en pleno verano de un sector de clima semiárido en el norte de Chile (Muñoz *et al.*, 2013). Además, el período de crecimiento y maduración de los frutos del tamarillo, período en el que no debe faltar riego, abarca el otoño y el invierno, cuando la ETp es menor, por lo que el consumo de agua del cultivo es bajo. En consecuencia, se puede realizar un manejo de riego restrictivo durante primavera y verano, cuando la ETp es alta, permitiendo así un importante ahorro

de agua, sin comprometer mayormente el rendimiento y la calidad de los frutos.

A parte de la escasez de agua, la salinidad de aguas y suelos es un problema que se presenta frecuentemente en zonas áridas y semiáridas. Entre las especies que se presentan en este libro, la palma datilera se clasifica como tolerante a la salinidad; y el granado y la higuera como moderadamente tolerantes. De hecho, Bernstein (1980) indica que estas especies se presentan como alternativas para suelos salinos con conductividades eléctricas del extracto saturado de hasta 8 dS/m para la palma datilera y de hasta 6 dS/m para el granado y la higuera. El resto de las especies presentadas en este libro son sensibles a la salinidad.

Eficiencia del uso del agua

La eficiencia del uso del agua (EUA) se puede definir a diferentes escalas de la planta. A la escala de la hoja, la EUA se denomina EUA instantánea (EUA_i) y corresponde a la cantidad de CO₂ asimilado vía fotosíntesis por unidad de agua transpirada. Tanto el agua transpirada como el CO₂ asimilado circulan a través de unos poros microscópicos de las hojas denominados estomas. A medida que los estomas están más abiertos, la planta pierde (y por lo tanto consume)

más agua vía transpiración pero, también, absorbe más CO₂ vía fotosíntesis. Al aumentar la fotosíntesis, aumenta la tasa de crecimiento de las plantas. Se ha demostrado que, para condiciones climáticas idénticas, la EUA_i es prácticamente constante para cada especie y variedad (Steduto *et al*, 2007). Sin embargo, si las condiciones climáticas cambian (particularmente el déficit de presión de la atmósfera: DPV), la EUA_i también cambia, como se aprecia en un estudio realizado con higueras y granados por los autores de este libro (Figuras I.2A e I.3A). En dicha figura se aprecia que, a medida que el DPV aumenta, disminuye la EUA_i de ambas especies, siendo la EUA_i del granado levemente mayor que el de la higuera ($p < 0,01$). El DPV es una medida de la cantidad de agua que puede absorber el aire para saturarse (llegar al punto de condensación) y aumenta al incrementarse la temperatura y al reducirse la humedad relativa del aire. A mayor DPV, para un mismo nivel de apertura de los estomas, la planta transpira más, sin embargo su fotosíntesis no cambia ya que la concentración de CO₂ en el aire es relativamente estable. Este es el motivo por el que, para obtener un adecuado rendimiento, en climas secos y cálidos, los frutales deben regarse más que en climas templados. Al asimilar la misma cantidad de CO₂ pero transpirar mayor cantidad de

agua a medida que el DPV aumenta, la EUAi de las hojas disminuye. Esta variabilidad desaparece si se normaliza la EUAi (dividiendo la transpiración por el DPV) y se obtiene un valor constante para cualquier nivel de DPV (Figura I.2B).

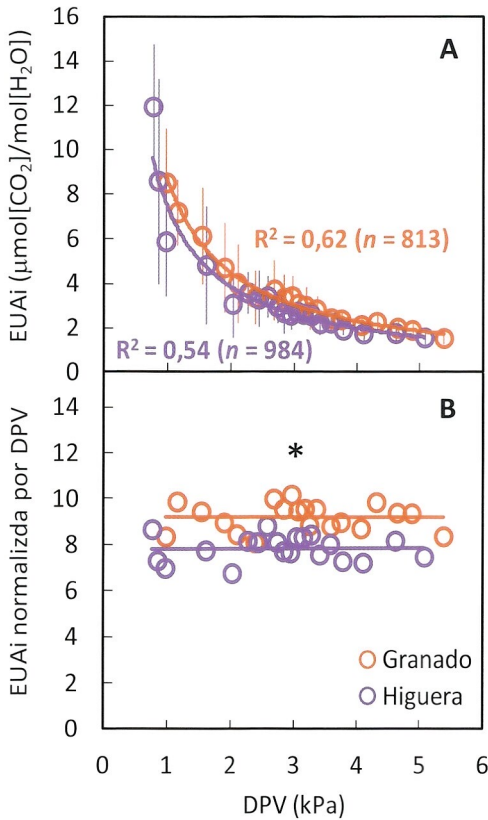


Figura I.2. Respuesta al déficit de presión de vapor (DPV) de la eficiencia del uso del agua instantánea (EUAi) (A) y EUAi normalizada por el DPV (B) de hojas de granado e higuera. Barras indican $\pm$ una desviación estándar. El asterisco indica diferencias significativas entre las especies ($\alpha = 0,01$). Redibujado a partir de datos de Faúndez (2014).

La EUAi es un indicador de la eficiencia que tienen las hojas de un frutal para “transformar” agua en fotosíntesis, sin embargo es un mal indicador de la capacidad de la planta para “transformar” agua en crecimiento”, conocida como EUA. La EUA a la escala de la planta completa se define como la cantidad de biomasa (medida como materia seca) producida por unidad de agua transpirada (Steduto *et al.*, 2007). La EUA a la escala de la planta completa no sólo depende de EUAi, sino también de la proporción de la biomasa que corresponde a hojas y de la respiración (pérdida de CO_2) que se requiere para construir los tejidos de la planta, entre otros factores.

Al igual que la EUAi, la EUA es constante para un mismo clima a nivel de especie y variedad. Para eliminar la variabilidad debida al clima, la EUA se puede normalizar ya sea por el DPV o por la ETp (Steduto, 2007). Para la mayoría de los frutales los valores de EUA se ubican entre 2 y 3 g de materia seca producidos por kg de agua transpirada ($\text{g}[\text{MS}]/\text{kg}[\text{H}_2\text{O}]$). Los autores del presente libro realizaron un trabajo con higueras, granados y tunas, en el que estimaron la transpiración y la acumulación de biomasa utilizando lisímetros de pesada (Figura I.3B) y obtuvieron los valores de EUA (biomasa acumulada/agua transpirada) que se presentan en la Figura I.4.

En dicha Figura (I.4) se aprecia que la EUA de la higuera y el granado (3,97 y 4,70 g[MS]/kg[H₂O], respectivamente) fue superior al rango alto de los frutales tradicionales. En el caso de la tuna, la EUA fue más de seis veces mayor que el de las especies frutales tradicionales (18,58 g[MS]/kg[H₂O]). Esta elevada EUA de la tuna se debe a su metabolismo fotosintético, aspecto que se detallará en el capítulo número

tres del presente libro, correspondiente a esta especie. En términos relativos, estos valores de EUA indican que, respecto de frutales tradicionales, para producir una misma cantidad de biomasa, la superficie que se puede cultivar con una determinada cantidad de agua aumenta por un factor de 1,3-2,0 para la higuera, de 1,6-2,4 para granado y de 6,2-9,3 para tuna.



Figura I.3. Medición de intercambio gaseoso para estimar la eficiencia del uso del agua instantánea a escala foliar (EUA_i) en higueras (A) y extracción de plantas completas de tunas para la estimación de la eficiencia de uso del agua a la escala de la planta (EUA) (B). En ambos casos las plantas fueron cultivadas en lisímetros de pesada en la Estación Experimental Las Cardas, Región de Coquimbo, Chile.

Al analizar los datos de EUA de esta manera se pone de manifiesto la necesidad de cambiar la base de cálculo de la hectárea al metro cúbico de agua para evaluar el desempeño económico de los frutales en zonas áridas y semiáridas. Si bien un frutal

tradicional puede aparecer como más rentable por unidad de superficie, un frutal de menor requerimiento hídrico (mayor EUA) puede ser más rentable por m³ de agua de riego ya que, con una misma cantidad de agua, se puede regar una mayor superficie. Al

respecto es importante subrayar que, en zonas áridas y semiáridas, el

recurso más escaso suele ser el agua de riego y no la superficie de suelo.

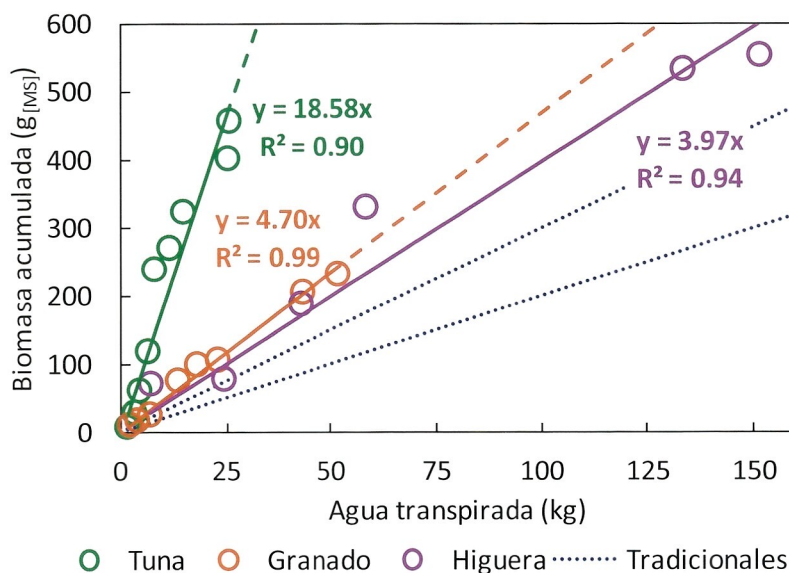


Figura I.4. Biomasa producida en función del agua transpirada de higuera, granado y tuna en comparación al rango de biomasa producida por unidad de agua transpirada de frutales tradicionales. La pendiente de las rectas ajustadas corresponde a la eficiencia del uso del agua (EUA) de las especies. Redibujado a partir de datos de Faúndez (2014).

Tolerancia a la sequía

Ante las frecuentes y, muchas veces, prolongadas sequías que afectan a las zonas áridas y semiáridas, la tolerancia a la sequía es una característica que adquiere gran relevancia, particularmente en frutales. Esto porque, a diferencia de los cultivos anuales, los frutales son inversiones a largo plazo y, de producirse una sequía letal, esta puede redundar en grandes pérdidas económicas.

Ante la menor disponibilidad de agua en el suelo que resulta de las sequías, las plantas limitan su transpiración, ya sea reduciendo su conductancia estomática (cerrando parcialmente sus estomas), reduciendo su área foliar (lo que disminuye la superficie que transpira) o ambas. Esto se traduce en una menor fotosíntesis a nivel de la planta completa porque el cierre parcial de estomas reduce la entrada de CO_2 para la fotosíntesis y porque una menor área foliar reduce la superficie que fotosintetiza. Existen

diferentes estrategias que les confieren tolerancia a la sequía a los frutales y estas suelen clasificarse en estrategias de evasión y de tolerancia propiamente tal. No siendo el objetivo del presente libro analizar en profundidad los mecanismos de tolerancia a la sequía de las especies frutales, se presentan, a modo de ejemplo, resultados obtenidos con higueras y granados sometidos a una sequía absoluta durante los meses de verano (sin lluvia) en el Campo Experimental “Las Cardas” ubicado en la Región de Coquimbo, Chile (Franck *et al.*, 2013; Figuras I.5 e I.6).

Al comparar las respuestas de la higuera y del granado a la sequía (Figuras I.5 e I.6), se puede observar que, siendo ambas especies muy tolerantes a la sequía, sus estrategias de tolerancia son completamente diferentes: la higuera presenta una estrategia de evasión y el granado una estrategia de tolerancia propiamente tal. En el caso de la higuera, sus hojas sufren rápidamente daño por estrés lo que se traduce en una reducción de su eficiencia cuántica máxima (indicador de daño al aparato fotosintético; Figura I.6A). Esto indica que la higuera no presenta mecanismos eficientes que le confieran tolerancia a la sequía a sus hojas. En lugar de activar mecanismos de tolerancia a nivel foliar, la higuera evade el período de sequía mediante la abscisión de sus hojas (Figura I.5B), lo

que se ve reflejado en una drástica reducción de la interceptación de radiación (Figura I.6B). Esta menor interceptación de radiación le permite reducir su transpiración y consumo de agua. En paralelo, la higuera cierra rápidamente sus estomas al estar sometida a la sequía, con la consiguiente disminución de su tasa fotosintética (Figura I.6C&D). De esta forma, durante la sequía, la higuera prioriza la reducción de la transpiración por sobre la mantención de su actividad fotosintética, sacrificando así su crecimiento. Una vez repuesto el riego, la higuera compensa la pérdida de crecimiento causada por la sequía, generando hojas nuevas (Figura I.6A) que le permiten recuperar su interceptación de radiación (Figura I.6B) y que presentan mayor conductancia estomática y tasa fotosintética que las hojas de las plantas que se regaron constantemente (Figura I.6C&D).

Por otro lado, el granado presenta una estrategia de tolerancia propiamente tal, que se grafica por la leve reducción de su eficiencia cuántica máxima (Figura I.6A), lo que indica que sus hojas desarrollan mecanismos que le confieren tolerancia al estrés a su aparato fotosintético. En consecuencia, no se produce un grado de abscisión foliar importante (Figuras I.5D e I.6B) y, si bien los estomas se cierran (Figura I.6C), este cierre es parcial, permitiendo que la planta reduzca su

consumo de agua pero mantenga un cierto nivel de fotosíntesis (Figura I.6D). De este modo, el granado logra un compromiso entre el ahorro de agua y la fotosíntesis necesaria para

mantener el crecimiento. Al reponerse el riego, el granado recupera, paulatinamente, una actividad fisiológica similar a la de las plantas regadas (Figura I.6).



Figura I.5. Plantas de higuera (A y B) y granado (C y D) regadas (A y C) y sometidas a una sequía estival de 36 (higuera; B) y 45 días (granado; D). Las fotos se tomaron al final del período de sequía en la Estación Experimentel Las Cardas, Región de Coquimbo, Chile.

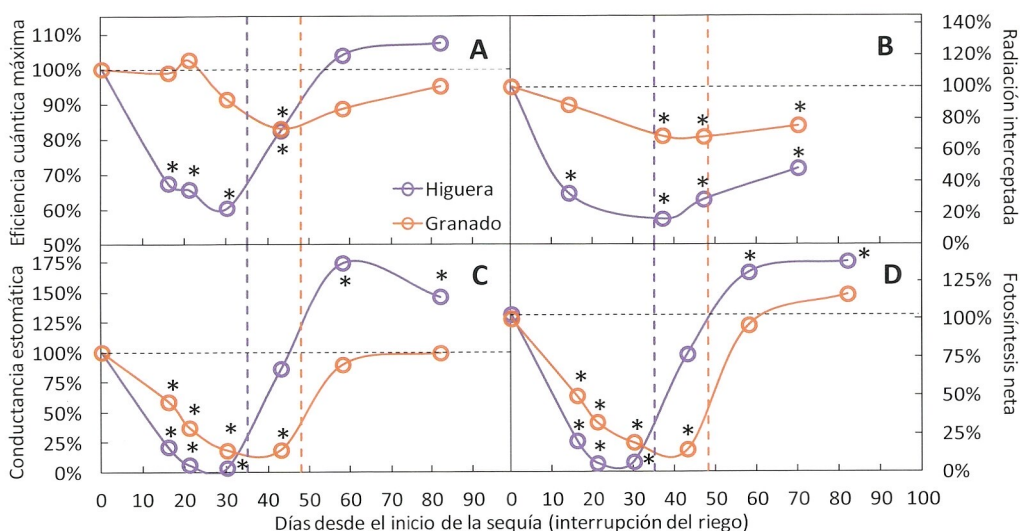


Figura I.6. Variación de la eficiencia cuántica máxima (A), la radiación interceptada (B), la conductancia estomática (C) y la fotosíntesis neta (D) de plantas de higuera y granado sometidas a sequía respecto de plantas regadas (100%) en función del tiempo transcurrido desde el inicio de la interrupción del riego. Las líneas punteadas verticales indican el momento en el que se repuso el riego para cada especie; la línea punteada horizontal indica el 100% correspondiente a las plantas regadas, los asteriscos denotan diferencias significativas con las plantas regadas ($\alpha = 0,05$). Redibujado a partir de datos de Mundaca (2014).

Zonas idóneas de cultivo en Chile

Como parte de las actividades del proyecto FIA PYT-2008-0216, financiado por la Fundación Para la Innovación Agraria (FIA) de Chile, se establecieron huertos pilotos con variedades de las especies que se abordan en el presente libro. Dichas parcelas se establecieron en tres localidades de la Región de Atacama y tres de la Región de Coquimbo ("Norte Chico") en un transecto cordillera mar. Así, en ambas regiones se plantó una parcela en un valle interior, una en la zona media de un valle y una en la zona costera (Figura I.7A).

Para cada especie, y en cada parcela piloto, se calculó un índice vegetativo relativo que se basó en mediciones periódicas de variables de crecimiento (altura, cobertura, largo acumulado de ramas, entre otras) y de desarrollo vegetativo (número de brotes, número de nudos, entre otras) que se realizaron durante dos años desde la plantación (Figura I.7B). Si bien este índice no refleja el potencial productivo (para lo que se debe esperar que las plantas entren en plena producción), entrega algunos indicios acerca de la adaptación de las especies a cada condición edafo-climática. En el caso de la tuna, los mejores resultados se obtuvieron en la Región de Coquimbo y, dentro de la Región de Atacama, en el sector ubicado en el

valle interior. El menor desempeño de las tunas en la zona media de Atacama, y su muerte en la costa, pueden asociarse a la baja tolerancia a la salinidad de la especie. El tamarillo no se adaptó a las condiciones secas y calurosas de Atacama y, en Coquimbo, su desempeño mejoró a medida que las parcelas se ubicaban más cercanas a la costa. Este resultado se ha confirmado, en términos productivos. La pitahaya no se estableció en las zonas interior y costera de Atacama, debido a condiciones no aptas para su cultivo: heladas y suelos salinos, respectivamente. Al comparar el desempeño vegetativo de la pitahaya en el resto de las parcelas, se observa una tendencia a un mejor desempeño en los sectores más cálidos (hacia el interior y hacia el norte), lo que es congruente con su adaptación a zonas de mayor temperatura. La higuera siguió el mismo patrón de mejorar su crecimiento y desarrollo vegetativo hacia zonas más cálidas, lo que es congruente con estudios anteriores en la Región de Coquimbo (Botti *et al.*, 2003). La excepción la constituye el sector interior de Atacama, donde las plantas sufrieron un estrés ambiental al momento de plantarse, lo que incidió negativamente en su establecimiento. El granado, por su parte, presentó mejores índices vegetativos en la Región de Coquimbo y hacia los valles interiores. El mayor desarrollo vegetativo en los valles interiores se condice con los resultados

productivos del granado en Chile, recomendándose plantarlos en zonas con primaveras y veranos cálidos (Franck, 2011). La palma datilera no fue incluida en los huertos pilotos ya que en ninguna de las localidades existe suficiente acumulación de calor (unidades térmicas) para su cultivo. El cultivo de esta especie se adapta a las condiciones de las Regiones de Arica y

Parinacota y Tarapacá, donde las temperaturas son lo suficientemente altas como para asegurar un adecuado rendimiento productivo.

En los capítulos de cada especie se entregan mayores detalles sobre sus requerimientos edafo-climáticos y sobre las zonas adecuadas para su cultivo en Chile.

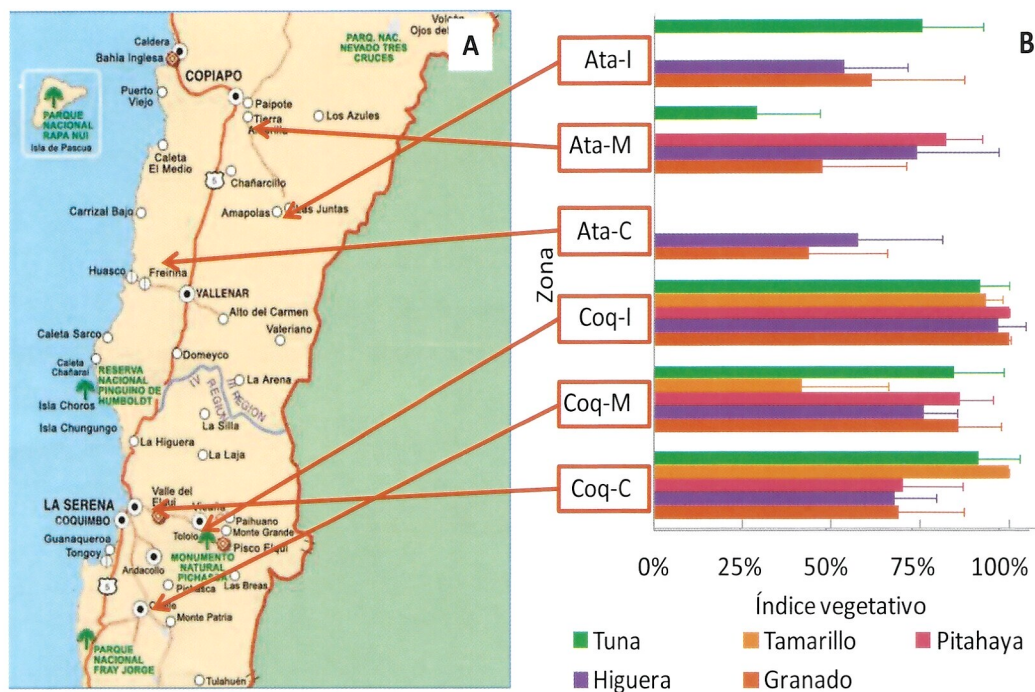


Figura I.7. Ubicación de parcelas piloto en el mapa de las Regiones chilenas de Atacama (Ata) y Coquimbo (Coq) en sectores de valle interior (I), medio (M) y costero (C) (**A**) e índice vegetativo relativo de las especies en cada parcela obtenido a partir de variables de crecimiento y desarrollo vegetativo (**B**); las barras indican una desviación estándar para la media de las variedades presentes en cada parcela. Los resultados presentados corresponden exclusivamente a indicadores vegetativos y deben ser confirmados con datos productivos, una vez que las plantas entren en plena producción.

Propósito

Este libro busca ser un aporte a la diversificación de la agricultura de las zonas áridas y semiáridas en base a frutales que toleren la sequía y tengan menores requerimientos hídricos. El libro contiene seis capítulos, cada uno abocado a una de las siguientes especies: granado, higuera, tuna, tamarillo, pitahaya y palma datilera. En cada capítulo se presenta información sobre la biología,

requerimientos edafo-climáticos, variedades, técnicas de manejo agronómico y subproductos de las especies.

Esperamos que la información presentada en este libro pueda servir como herramienta de consulta para el desarrollo y manejo de proyectos frutícolas que contribuyan a aumentar la adaptación a la aridez de los sistemas productivos de las zonas áridas y semiáridas.



Figura I.8. Variedades de tuna establecidas en un huerto piloto de en las cercanías de Vicuña, Región de Coquimbo, Chile (Figura I.7), en el marco del proyecto FIA PYT 0126-2008.

LITERATURA CITADA

- Bernstein, L. 1980. Salt tolerance of fruit crops. United States Department of Agriculture Agriculture, Information Bulletin N° 292.8 p.
- Benites, J., Saintraint, D., Morimoto, Y.K., 1994. Degradación de tierras y producción agrícola en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay. In: FAO (Ed.), Erosión de suelos en América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe, Santiago, pp. 83-116.
- Botti, C., Franck, N., Prat, L., Ioannidis, D. and Morales, B. 2003. The effect of climatic conditions on fresh fig fruit yield, quality and type of crop. *Acta Horticulturae* 605:37-43
- Dai, A., 2010. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2, 45e65.
- FAO Forest Resources Division. 1989. Arid zone forestry: A guide for field technicians. FAO Conservation Guide no. 20. FAO Publications, Rome, Italy.
- Faúndez, C. 2014. Estimación de la eficiencia en el uso del agua, la eficiencia en el uso de la radiación y parámetro Kd_{pv} en plantas jóvenes de granado (*Punica granatum* L.), higuera (*Ficus carica* L.) y tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Millner). Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 40 p.
- Franck, N., Muñoz, V., Mundaca, P. and Talamilla, M. 2013. Ecophysiological responses to summer drought stress of three fruit trees (*Cyphomandra betacea*, *Punica granatum* and *Ficus carica*) grown in an arid zone. VIII Summer Colloquium on Plant Ecophysiology. January 20-22th, Parque Katalapi, Pichiquillaípe, Puerto Montt, Chile.
- Franck, N., Botti, C., Prat, L., Cánaves, L., Ioannidis, D., Silva, H., Kremer, C., Alfaro, F., Arancibia, D., Muñoz, V y Zamorano, D. 2010. Fruit species with low irrigation requirement and drought tolerance as a water saving strategy in arid zones. *Proceedings of the International Conference: Arid and Semi Arid Development through Water Augmentation*. 13 to 16 december, Valparaíso, Chile. 52-55 p.
- Franck, N. 2011. Growing cv. Wonderful pomegranates (*Punica granatum*) in Chile. *Actas del II International Symposium on Pomegranate*, 19-21 October 2011, Madrid, Spain. 137-140 p.
- Malagnoux, M., Sène, E.H., Atzmon, N., 2007. Forests, trees and water in arid lands: a delicate balance. *Unasylva* 58, 24e29.

Mundaca, P. 2014. Caracterización de las respuestas morfo-fisiológicas al estrés hídrico de dos especies frutales adaptadas a zonas áridas: higuera (*Ficus carica* L.) y granado (*Punica granatum* L.). Memoria Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 52 p.

Muñoz, V., Vega, M.P., Rival, F., Talamilla, M. y Franck, N. 2013. Respuestas morfo-fisiológicas de

plantas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* L.) sometidas a sequía estival. Actas del 64º Congreso Sociedad Agronómica de Chile y XXII Congreso Chileno de Fitopatología. Hotel Enjoy, Viña del Mar, septiembre 23-26, 2013. p. 77.

Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. Irrigation Science 25: 189-207.

Capítulo 1

EL GRANADO

(Punica granatum L.)

DENISSE ZAMORANO Y NICOLÁS FRANCK

Origen y distribución geográfica actual de cultivo

El granado (*Punica granatum* L.) se originó entre Asia y Medio Oriente, en una zona comprendida entre Irán y el norte de la India (Himalayas), desde donde se expandió su producción hasta el Mediterráneo para luego llegar a América. El granado es considerado un excelente árbol para crecer en zonas áridas por su resistencia a condiciones de sequía. Actualmente es ampliamente cultivado en el Mediterráneo, en áreas tropicales y subtropicales (Mars, 2000) y se cultiva en todos los continentes excepto la Antártica (Glozer y Ferguson, 2008) (Figura 1.1).



Figura 1.1. Distribución actual del granado.

En la actualidad se cultivan comercialmente cerca de 310.000 hectáreas a nivel mundial, específicamente en países como: Irán, India, Estados Unidos, España, Egipto,

Israel, Turquía, Marruecos, China, Perú, Argentina y Chile. Cabe destacar que más del 95% de la producción se encuentra en el Hemisferio norte. En el Hemisferio sur las plantaciones han ido aumentando en los últimos años, específicamente en Chile, Perú, Sudáfrica, Australia y Argentina, pero ninguno supera las 1.000 ha.

En Chile, la superficie de granados alcanza las 885,1 hectáreas. (CIREN-ODEPA, 2013), distribuidas entre la región de Atacama y la región del Bío-bío (Tabla 1.1), siendo el Norte Chico (regiones de Atacama y Coquimbo) la zona geográfica que concentra más del 68% de esta superficie.

Tabla 1.1. Distribución regional de la superficie de granados en Chile.

Región y año catastrado	Superficie (ha)
Atacama (2011)	215,5
Coquimbo (2011)	387,7
Valparaíso (2008)	22,8
Metropolitana (2010)	72,7
O'Higgins (2012)	10,5
Maule (2013)	119,7
Bío-bío (2012)	56,2
Total nacional	885,1

Fuente: CIREN- ODEPA, 2013

Clasificación Taxonómica.

- Especies

Punica granatum L. pertenece al orden Myrtales (Hogdson, 1917), familia *Punicaceae*, la que está representada por un sólo género (ITIS, 2006) y por dos especies, *P. granatum* y *P. protopunica*. Sin embargo, estudios moleculares recientes sugieren una reconsideración taxonómica colocando a *Punica* dentro de la familia *Lythraceae* (Graham *et al.*, 2005) lo que no está oficialmente aceptado. De las dos especies del género *Punica*, solamente *P. granatum* se cultiva por sus frutos comestibles (Mohan Kumar, 1990).

- Nombres comunes

Granada; Pomegranate (inglés), grenadier (francés), Granatapfel (alemán), Melograno (italiano), Rimon (hebreo).

- Variedades cultivadas

Se conocen más de 500 variedades y cultivares de granado alrededor del mundo, variando desde los conocidos como “dulces”, de piel y arilos rosados, dulces y de tegumento (conocido como piñón) blando, y los “agrios”, de piel y arilos (parte comestible del fruto) de un color rojo intenso que se caracterizan por ser más ácidos y de piñón más duro. De

estas variedades, solo cerca de 50 son comúnmente cultivadas (IPGRI, 2001), siendo aquellas de epidermis y arilos rojos las que actualmente demanda el mercado, tanto para fruta fresca como para la producción de arilos como mínimo procesamiento y jugos. Por otro lado, si bien existen muchos cultivares nominales de granado, es frecuente que un mismo material genético sea conocido con diferentes nombres, lo que se atribuye a la antigüedad y la amplia distribución del cultivo de esta especie. A esta característica se suma el hecho de que el color de la cáscara y los arilos pueden variar notablemente dependiendo de la región en la que se cultiven. Sin embargo, existe un número determinado de características que varía entre los diferentes genotipos de granados que son claves para la identificación de los cultivares y para determinar su uso comercial: el tamaño del fruto, el color de la cáscara (que va del amarillo al morado, siendo el rosa y rojo los más comunes), el color de los arilos (que va de blanco a rojo), la dureza de la semilla, el contenido de jugo, la acidez, el dulzor y la astringencia.

Entre los cultivares agrios de granado destaca Wonderful, originado en Florida y propagado por primera vez en California en 1896. Wonderful ha llegado a ser la principal variedad cultivada actualmente en California.

Esta variedad también se cultiva en el oeste de Europa, Israel y es la principal variedad cultivada en Chile (Sepúlveda *et al.*, 2000). Wonderful es una variedad de cosecha tardía, sus frutos son sensibles al golpe de sol pero posee buen rendimiento, alto contenido de jugo, buen sabor y alto contenido de polifenoles, lo que la hace una de las preferidas por los consumidores. Sin embargo, presenta grandes variaciones de apariencia debido a su amplia distribución en zonas de producción donde han surgido diversas expresiones genéticas y a cause de la selección de clones llevada a cabo por los propios productores.

En Israel se han desarrollado variedades de diferente precocidad a partir de la variedad Wonderful. Algunas de estas variedades tienen la particularidad de desarrollar el color rojo de cobertura muy temprano en su desarrollo, lo que les confiere resistencia al daño por “golpe de sol”, uno de los principales motivos de descarte de fruta. En Chile ya se han establecido algunas de estas variedades en huertos de privados pero aun no se tienen antecedentes claros respecto de su desempeño ya que recién se están obteniendo las primeras producciones. En general estas nuevas variedades se caracterizan por presentar piñones más blandos; color de piel y arilos rojo

intenso; tabiques delgados y una mayor tolerancia al golpe de sol.

- Variedades Israelitas disponibles en Chile

- Tempranas

Acco: Color de la cáscara rojo a rosado uniforme, que aparece muy temprano en el desarrollo. Arilos rojo oscuro y piñones suaves. Cáscara delgada. En Israel madura a mediados de agosto (equivalente a febrero en el hemisferio sur). Sabor dulce, no ácido, peso de fruto 350g. Rendimiento potencial: 30 ton ha⁻¹. En Chile se ha observado que madura un mes antes que Wonderful.

Shany: Color de la cáscara rojo a rosado uniforme que aparece muy temprano en el desarrollo. Arilos rojo oscuro y semillas suaves. Cáscara delgada. En Israel madura mediados de agosto. Sabor dulce, no ácido, peso del fruto de 350g. Rendimiento: 30 ton ha⁻¹. En Chile se ha observado que madura un mes y medio antes que Wonderful.

Emek: Cáscara de color rojo uniforme. Arilos rojos y piñones de dureza intermedia. Cáscara de grosor medio. Sabor dulce, peso de fruto 400g. En Israel madura a principio de agosto, mientras en Chile se ha

observado que madura dos meses antes que Wonderful.

- Media estación y tardíos

116: Color de cáscara rojo oscuro, muy fuerte y uniforme que aparece muy temprano en su desarrollo. Arilos rojos y piñones de suavidad intermedia. Cáscara de grosor medio. En Israel madura a mediados de septiembre. Sabor agridulce, peso del fruto 550g. Rendimiento potencial: 40 ton ha⁻¹.

Kamel: Cultivar tardío de color rojo similar a Wonderful. Cáscara color rojo oscuro, muy fuerte y uniforme que aparece muy temprano en su desarrollo. Arilos rojos y piñones de suavidad intermedia. Cáscara de grosor mediano a grueso. En Israel madura en octubre. Sabor agridulce, peso de fruto: 500g.

Shir: Cultivo tardío. Muy similar a Wonderful. Color exterior rojo intenso, uniforme; el color aparece temprano en el desarrollo del fruto. Arilos color rojo y piñones de suavidad media. Cáscara de grosor medio. En Israel madura a fines de septiembre. Sabor agridulce, peso del fruto mayor de 500 g. Rendimiento mayor a 40 ton ha⁻¹.

Cabe señalar que los datos proporcionados están dados de acuerdo al comportamiento de cada variedad en el lugar de origen y corresponde al potencial observado.

Sin embargo, estas características, al igual que para Wonderful, variarán dependiendo de las condiciones y localidades en las que se establezcan los huertos.

Desde los años 90' existe en el Centro de Estudios de Zonas Áridas de la Universidad de Chile (CEZA) en el Campo Experimental Agronómico Las Cardas, un banco de germoplasma que reúne diferentes accesiones (clones) provenientes de diferentes localidades del norte de Chile. Dichos clones, evaluados recientemente por Franck y Peña (datos no publicados) a través de un proyecto INNOVA-CORFO mostraron similares, e incluso superiores, características organolépticas (Tabla 1.2) y funcionales (Figura 1.2) que Wonderful, además de estar todos ellos adaptados a las condiciones edafoclimáticas del norte del País.

Descripción morfológica

- Características de la planta

El granado, es un arbusto caducifolio que en zonas costeras pierde parcialmente las hojas en invierno (Sudzuki, 1997). Puede llegar hasta 6 m de altura, con el tronco retorcido. Tiene madera flexible y corteza escamosa de color grisáceo. La sección de las ramillas jóvenes es cuadrada (tetragona) o angostas y de cuatro alas,

posteriormente se vuelven redondas con corteza de color café grisáceo. La gran mayoría de las ramas, especialmente las ramillas axilares, presentan espinas, o terminan en espina aguda (Figura 1.3A).

La copa del granado es extendida (Figura 1.3B) y sus hojas crecen en brotes vegetativos y mixtos, disponiéndose opuestas en los nudos en grupos, generalmente, de tres en tres (Figura 1.4A y B). En cuanto a su morfología, las hojas son oblongas y pequeñas, comprendiendo entre 2 y 9 cm de longitud y de 1 a 3 cm de ancho; son caducas, subcoráceas, lustrosas

por el haz, glabras y de color verde o verde amarillento (rojizas durante la brotación; Figura 1.4A). El ápice es obtuso y, a menudo, redondeado, mientras su base es atenuada y con un corto pecíolo.

El granado carece de raíz pivotante, siendo sus raíces superficiales, y con alta capacidad de exploración de suelo. Estas, además, tienen gran poder de absorción en medios salinos y secos, y no toleran suelos anegados o con mal drenaje. Las raíces son nudosas, consistentes y de corteza rojiza. (Figura 1.5).

Tabla 1.2. Caracterización de los frutos d clones seleccionados por el Centro de Estudios de Zonas Áridas (CEZA) de la Universidad de Chile: peso fresco (PF), rendimiento de arilos (RA), rendimiento de jugo (RJ; en pase a arilos), sólidos solubles (SS), acidez titulable (AT; base ácido cítrico) y relación sólidos solubles/acidez (SS/AT).

	WON*	UCH-AZA	UCH-CHA	UCH-COD	UCH-NG
PF (g)	377	358	364	331	304
RA (%)	46,3 ± 2,8	42,5 ± 0,3	47,4 ± 3,0	44,5 ± 1,0	42,2 ± 4,0
RJ (%)	52,5 ± 0,5 a	63,3 ± 4,4 b	58,7 ± 0,4 b	61,2 ± 2,1 b	62,9 ± 2,0 b
SS (°Brix)	15,6 ± 1,1	18,2 ± 0,3	17,5 ± 0,6	15,4 ± 2,6	17,8 ± 0,1
AT (%)	1,4 ± 0,0 b	1,2 ± 0,0 a	1,2 ± 0,1 a	1,2 ± 0,2 a	1,2 ± 0,0 a
SS/AT	10,8 ± 0,7 a	15,5 ± 0,5 c	14,1 ± 1,3 bc	13,1 ± 1,6 b	15,0 ± 0,6 bc

*WON: Wonderful, variedad de referencia. Letras minúsculas diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05).

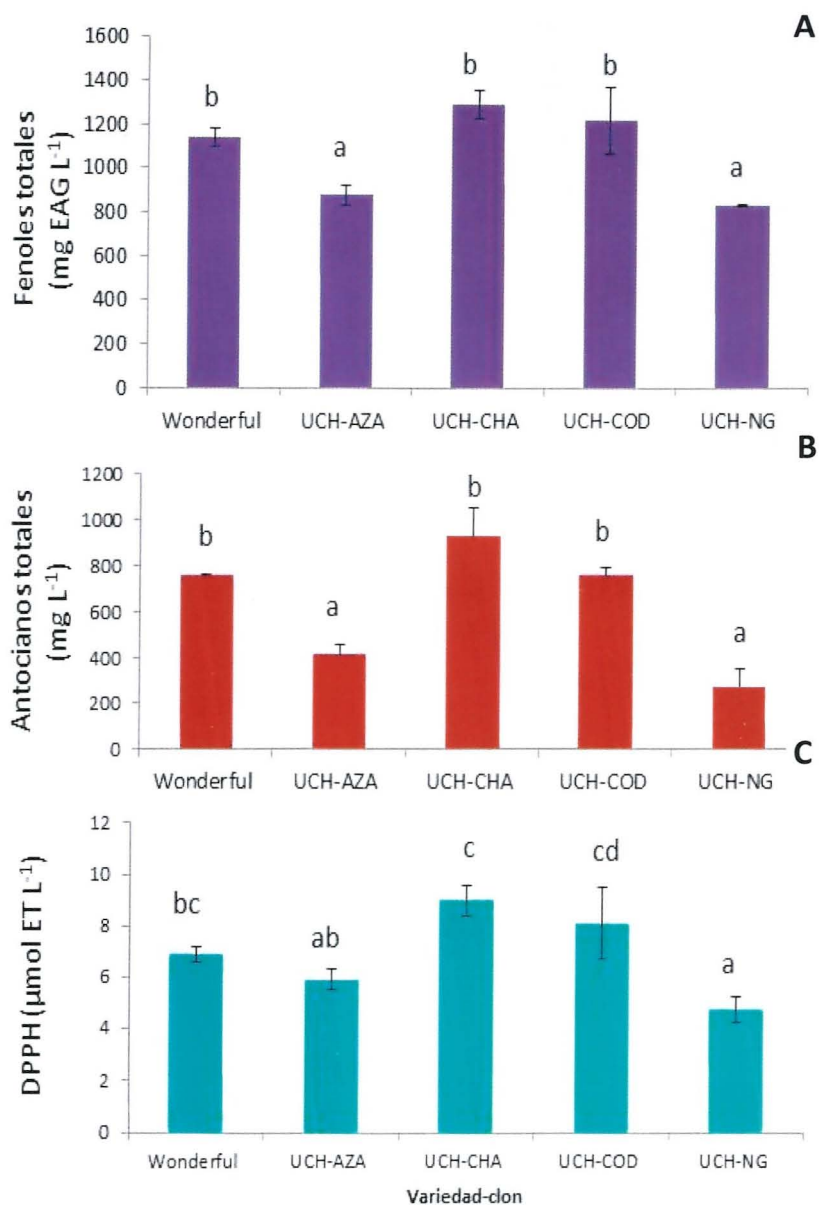


Figura 1.2. Contenido de fenoles totales (A), antocianos totales (B) y actividad antioxidante (DPPH) (C) del jugo de cuatro accesiones locales de granado del banco de germoplasma del CEZA-UCHILE y el clon Wonderful; Letras minúsculas diferentes, indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

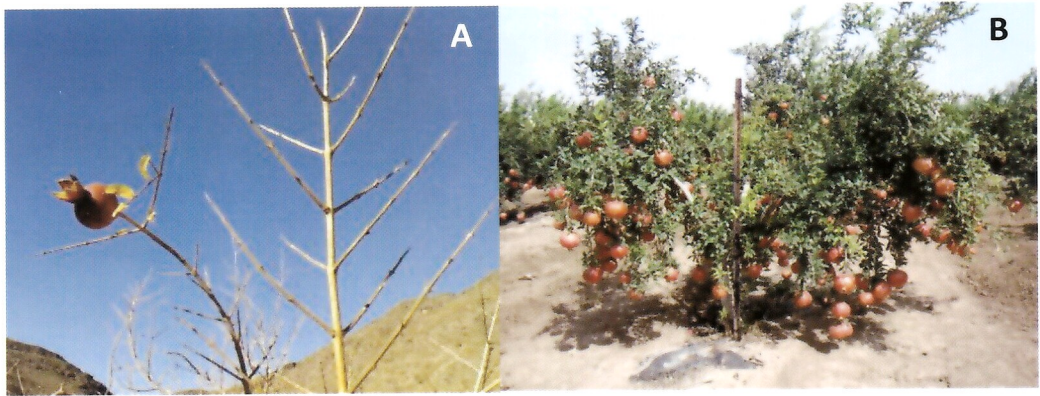


Figura 1.3. Brote con espinas (A) y árbol de granado conducido con un sistema de soporte previo a su cosecha (B).



Figura 1.4. Brotes de granado con hojas al inicio de la brotación en primavera (A) y una vez maduras en verano (B).

El tallo del granado es arbustivo y presenta basitonía (tendencia a ramificar desde la base y emitir sierpes; Figura 1.6) por lo que puede presentar uno o varios troncos, dependiendo de su forma de cultivo. Las ramas son de madera flexible y con espinas, las que normalmente rayan la fruta, característica a tener en

consideración en zonas ventosas, ya que el rayado (russet) es un defecto de calidad cosmética que puede generar altos porcentajes de descarte.

Las yemas del granado se clasifican en vegetativas, mixtas o terminales. Las yemas terminales pueden dar origen a una flor o a una espina.



Figura 1.5. Raíces de un granado de dos años en la que se aprecia la predominancia de raíces laterales y superficiales.



Figura 1.6. Granado formado en copa con abundante desarrollo de sierpes en la base del tronco.

- Biología floral

El granado es una especie andromonoica, que se caracteriza por tener dos tipos de flores en el mismo árbol: flores hermafroditas (bisexuales) y flores funcionalmente masculinas (Wetzstein *et al.*, 2011). Las flores (bisexuales y masculinas) son vistosas, generalmente de color rojo anaranjado. Éstas pueden nacer solas o en grupos. En grupos generalmente presentan una flor terminal sostenida por 2 a 4 flores laterales. El cáliz de las flores es rojo, grueso, coriáceo, fusionado en la base, y usualmente pentámero. Normalmente presentan 5 pétalos y sépalos. El ovario es ínfero y los numerosos estambres están compuestos por anteras amarillas unidas a largos filamentos rojos que se insertan sobre la superficie interior del tubo del cáliz. Las anteras rodean un elongado estilo que, en la base, se ensancha en forma cónica.

Aunque la organogénesis de las partes masculinas y femeninas de la flor ocurre en todas las flores, el grado de desarrollo de los pistilos fluctúa. Las flores bisexuales poseen un pistilo bien desarrollado con un largo estilo que se extiende por sobre la altura de las anteras. Además, presentan un prominente ovario en forma de U que contiene numerosos óvulos. En contraste, las flores masculinas presentan un estilo más corto que las

anteras y el ovario en forma de V (Figura 1.7), con óvulos rudimentarios de mucho menor tamaño y superficie irregular (Wetzstein *et al.*, 2011).

Evaluaciones realizadas por Wetzstein y colaboradores (2011) muestran que las flores masculinas son significativamente más pequeñas que las bisexuales, midiendo desde el ápice de los sépalos a la base un 75% menos, y el pistilo es significativamente más

corto (70% del largo de flores bisexuales). Sólo las flores bisexuales, con óvulos bien desarrollados, son capaces de cuajar fruta. Las flores masculinas, en cambio, caen una vez que liberan el polen y no generan fruta (Holland *et al.*, 2009; Shulman *et al.*, 1984). El porcentaje de flores masculinas es, en general, mayor a 60-70%, dependiendo de la variedad y la fecha (Mars, 2000).



Figura 1.7. Diferentes estados de desarrollo de los botones florales (A), flores masculinas (B) y flores femeninas y frutos cuajados (C) de granado cv. Wonderful.

- Floración

La floración en granados es escalonada, distinguiéndose generalmente 3 olas o cohortes de floración durante la temporada, la primera proviene de brotes cortos, la segunda de brotes largos y la tercera de brotes anticipados; cada una de

ellas es capaz de formar frutos (Figura 1.8).

La intensidad y duración de cada una de la cohortes de floración es variable y depende, fuertemente, de las condiciones climáticas presentes. Los primeros frutos en cuajar son los que logran los mayores diámetros (Sandoval, 2014).

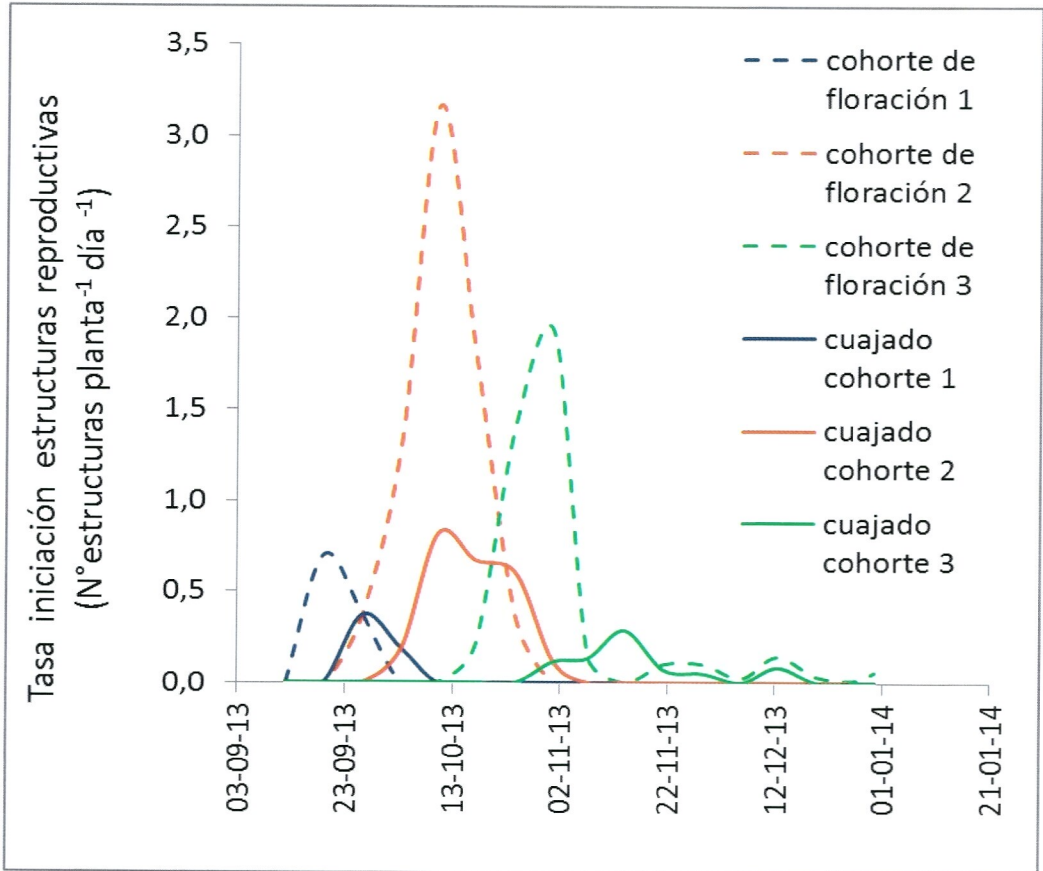


Figura 1.8. Dinámica de floración y cuaje de tres cohortes de floración de un huerto de granados var. Wonderful en Salta, Argentina.

Sudzuki (1997), sostiene que, en valles calurosos, el granado puede dar dos a tres floraciones en la temporada y formar cada una de ellas fruta. Ben Arie *et al.* (1984), Hussein *et al.* (1994) y El Sese (1988), citados por Mars (2000), mencionan que existen tres o cuatro olas de floración y cuajado de frutos, y que el período de plena flor dura alrededor de un mes. Por otro lado, el mismo autor (Mars, 2000) señala que la floración normal del granado se prolonga por 10 a 12 semanas o más, dependiendo de la variedad y de la situación geográfica y, según Sudzuki (1997) y Prat y Botti (2002), tiene lugar en primavera, pero puede prolongarse hasta fines de verano. Bajo condiciones climáticas favorables, el fruto madura 5 a 7 meses después de la floración, lo que en Chile correspondería al período entre marzo y junio, según Prat y Botti (2002), quienes también señalan que los primeros frutos en cuajar son los que logran mayores dimensiones, mientras los frutos provenientes de floraciones tardías no alcanzan a desarrollar un buen colorido. Además, se ha observado que los frutos provenientes de floraciones tardías presentan una mayor proporción de fruta partida.

- Crecimiento y desarrollo del fruto

El crecimiento del fruto presenta una curva del tipo doble sigmoidea

atenuada sin detención del crecimiento hasta cosecha o hasta que el fruto se parte (Figura 1.9 A). El crecimiento del fruto muestra una primera etapa marcada por un fuerte crecimiento (desde floración hasta aproximadamente 100 días después de plena flor (enero en Chile; Figura 1.9 B). En una segunda etapa, se produce una leve disminución en la tasa de crecimiento del fruto entre los 100 y 140 días después de plena flor. Posteriormente el fruto aumenta su tasa de crecimiento hasta la cosecha en abril (193 DDPF), alcanzando un diámetro ecuatorial máximo alrededor de los 10 cm y un 80% de humedad (García, 2012).

Los frutos de granados son no climatéricos, y pueden ser cosechados cuando alcanzan un determinado tamaño y color de la cáscara (mayor al 80% del porcentaje de cobertura de la cáscara de color rojo), lo que indicaría que está maduro. Pero con mayor precisión, se recomienda utilizar como índice de madurez la relación sólidos solubles (SS)/acidez titulable (AT) del jugo. Cada variedad de granada requiere de una determinada relación SS/AT para ser cosechada. En cultivares dulces la AT es menor al 1% cuándo el fruto está maduro, este valor se sitúa entre 1 y 2% en cultivares agridulces, y es mayor al 2% en cultivares ácidos (Onur and Kaska, 1985).

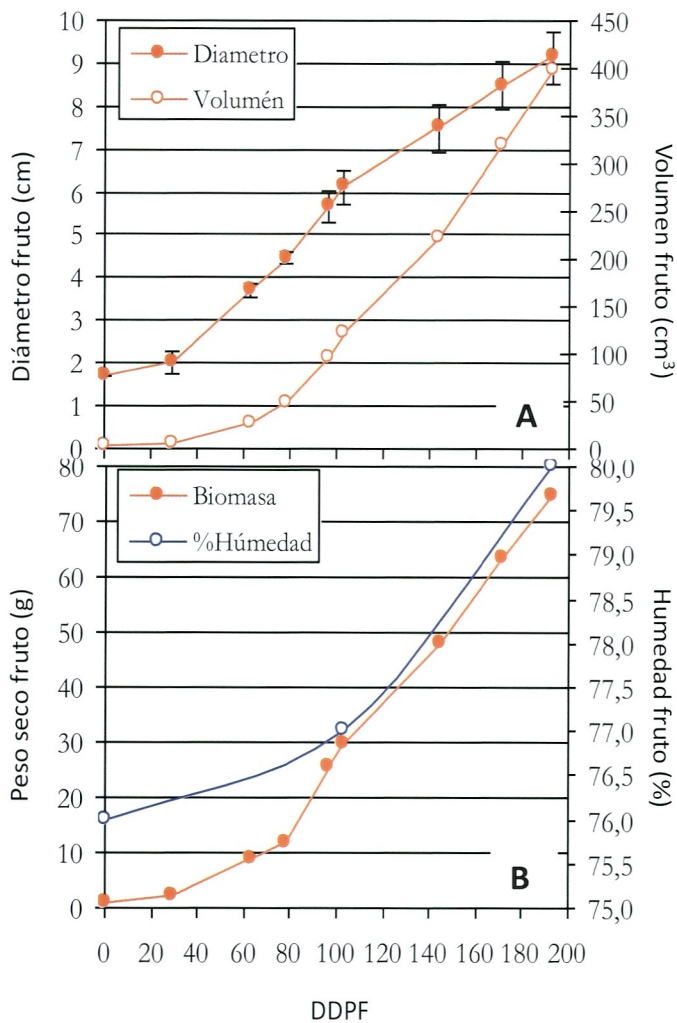


Figura 1.9. Evolución del diámetro y volumen (A); y peso seco y humedad (B) de frutos de granado en función de los días después de plena flor (DDPF) en la localidad de Paihuano, Región de Coquimbo (Chile). Fuente: García, 2012.

Descripción de los frutos, valor nutritivo y propiedades nutricionales

El fruto del granado es una baya gruesa de forma globosa que recibe el nombre de balaústa, de 7 a 15 cm de

diámetro, de piel gruesa, desarrollado a partir de un ovario ínfero y envuelto completamente por el tálam (Figura 1.10 A). El interior del fruto presenta varias cavidades polispermas

separadas entre sí por tenues tabiques membranosos, formados por un tejido blanco, esponjoso y amargo que encierran los compartimentos donde se encuentran las semillas (Figura 1.10 B). Las semillas están compuestas de un tegumento externo o arilo, que corresponde a la porción jugosa y comestible del fruto y un tegumento interno o endopleura, denominado

piñón. Ocupan aproximadamente el 52% del peso total del fruto, y de ese porcentaje, un 78% del peso corresponde a jugo, y un 22% a los piñones. Los cotiledones son de consistencia dura y se enrollan en forma de espiral (de Palma y Novello, 1995; Hogdson, 1917; Melgarejo y Martínez, 1992; Mohan Kumar, 1990; Scortichini, 1990; Sudzuki, 1988).



Figura 1.10. Aspecto exterior (A) e interior, en que se aprecian las cavidades polispermas con arilos (B) de frutos maduros de granado cv. Wonderful cosechados en Copiapó, Región de Atacama, Chile.

La balaústa está coronada en la parte opuesta al pedúnculo por un cáliz carnoso y persistente que aún después de la maduración puede presentar restos de los estambres (Melgarejo y Martínez, 1992; Melgarejo, 1993).

El jugo de granada se constituye en un 85% por agua, conteniendo además considerables cantidades de azúcares totales, azúcares reductores, sucralosa, antocianinas, compuestos fenólicos, ácido ascórbico, vitamina B, pectinas,

taninos y cenizas (El-Nemr *et al.*, 1990). Además, el jugo y la cáscara son importantes fuentes de polifenoles como antocianos, catequinas y flavonoides, revelando su potencial benéfico de uso como aditivo para suministrar color rojo a los alimentos y como agente antibacteriano.

De los principales polifenoles que se encuentran en el jugo de granada, los flavonoides y los taninos hidrolizables (TH) son los predominantes. Los

favonoides, incluyen flavonoles como luteolina, quercetina, y kaempferol encontrados en la cáscara y antocianinas encontrados en los arilos. Las antocianinas son pigmentos solubles en agua responsables del color rojo brillante del jugo. Los TH son encontrados en la cáscara y membranas. Los TH son los polifenoles más abundantes en el jugo y representan el 92% de la capacidad antioxidante, siendo el predominante la punicalagina, responsable en más de un 50% de la capacidad antioxidante total.

Gracias a que posee éstos compuestos funcionales, el árbol de la granada y su fruto han sido empleados ampliamente en la medicina tradicional occidental (Langley, 2000). Su importancia como una planta medicinal está actualmente respaldada por los datos obtenidos de la ciencia moderna.

Investigaciones recientes muestran que los compuestos de esta fruta tienen efectos anti cancerígenos (Adhami *et al.* 2006; Malik *et al.*, 2005), inhiben la incidencia y el desarrollo de tumores (Khan *et al.*, 2007), tienen actividad antioxidante (Cerdeira *et al.*, 2003) y efecto antimicrobiano (Braga *et al.*, 2005). Recientes estudios biológicos han demostrado que ciertos compuestos contenidos en el jugo de granada reducen la presión arterial y

la oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL) (Aviram *et al.*, 2004; Rosenblat *et al.*, 2010). Estas actividades se atribuyen a los altos niveles de antioxidantes en la granada (Gil *et al.*, 2000; Guo *et al.*, 2008). De hecho, el jugo de granada ha demostrado poseer 3 veces más actividad antioxidante que el vino tinto o el té verde, y dos, seis y ocho veces más altos niveles de polifenoles que los detectados en uva, arándano, pomelo y jugo de naranja, respectivamente (Azadzoi *et al.*, 2005; Rosenblat *et al.*, 2006). Por otro lado, estudios epidemiológicos han demostrado que éste tipo de polifenoles disminuyen el riesgo de aterosclerosis y cardiopatías coronarias (Giugliano, 2000; Leifert y Abeywardena, 2008). Los polifenoles estarían involucrados en el reforzamiento de los sistemas antioxidantes a través de sus propiedades de inactivadores de especies oxígeno reactivas, quelantes de metales y moduladores enzimáticos (Pietta *et al.*, 1998).

El ácido elágico, que es uno de los principales polifenoles que contienen los arilos, ha sido probado como iniciador antimutagénico (evita que se produzcan cambios bruscos en el ordenamiento de los genes) y por lo mismo tendría propiedades anticancerígenas (Seeram *et al.*, 2005). Diversas investigaciones han probado

que el ácido elágico disminuye el crecimiento de las células anormales en el colon, previene el desarrollo de células infectadas con el virus del papiloma humano, asociado con la producción de cáncer cérvico uterino, y promueve el crecimiento apoptótico (muerte natural) de las células cancerosas de la próstata (Falsaperla *et al.*, 2005). Por otra parte, la inhibición de la génesis de cáncer por parte del ácido elágico ha sido demostrada en animales con tumores de esófago, lengua, pulmón, colon, hígado y piel (Espín *et al.*, 2007).

Requerimientos del cultivo (clima, suelo)

El granado se adapta a una variada gama de suelos y climas. Crece en climas tropicales, subtropicales e incluso templados prefiriendo los cálidos del tipo mediterráneo y los subtropicales, ya que en los templados no acaba de madurar convenientemente. Aunque es menos importante en superficie cultivada que otros frutales, es capaz de adaptarse a zonas en la que muchos cultivos más importantes serían incapaces de producir de manera rentable. Por este motivo el granado es considerado como una especie “rústica” que es tolerante a la sequía, la salinidad, el déficit de hierro y resistente al carbonato de calcio activo (Mars,

2000), adaptándose bien a suelos pobres y pedregosos. Sudzuki y colaboradores (1997) mencionan el exceso de agua como su única limitante y lo recomiendan como una especie ideal para cultivar en zonas áridas y semiáridas.

Una característica importante a destacar en el granado es su elevada tolerancia al déficit hídrico prolongado, lo que lo hace una buena alternativa en zonas donde prevalecen las sequías, permitiendo priorizar el uso del agua en el riego de especies más susceptibles a la falta de agua. No obstante esta “rusticidad” en términos de agua y suelo, para obtener buenos rendimientos, el granado se debe fertilizar y regar adecuadamente.

El granado requiere de una alta suma térmica estival para asegurar que la mayoría de los frutos provenientes de su prolongada floración alcancen a madurar adecuadamente, por lo que su producción comercial es limitada en las zonas costeras o en zonas con veranos suaves (Melgarejo y Martinez, 1989). Puede ser cultivado en áreas donde las temperaturas invernales llegan a los -15°C, existiendo algunas variedades que toleran temperaturas de -18°C y -20°C. El granado presenta bajas necesidades de acumulación de horas de frío y la duración de la latencia invernal se induce con

temperaturas bajo 16°C (Rozanov y Vorobeva, 1976). No obstante lo anterior, esta especie es sensible a heladas tardías otoñales, antes de que la planta entre en latencia invernal, y a las heladas tardías en primavera durante el período de brotación.

Bajo las condiciones del “Norte Chico” y la Región Metropolitana de Chile, el granado florece entre octubre y diciembre y se cosecha entre mediados de abril y principios de junio (Alfaro y Franck, 2009). En zonas con otoños más fríos y lluviosos, la mayoría de los frutos podrían verse afectados, ya sea por un insuficiente desarrollo de color, o por partidura asociada a la lluvia. Respecto de este último problema, cabe señalar que la partidura de la fruta en granado forma parte de la estrategia de dispersión natural de la especie pues, como se mencionó anteriormente, el fruto crece hasta que se parte, lo que implica que la mejor forma de evitar partidura es cosechar a tiempo. No obstante lo anterior, este proceso, puede ocurrir antes de madurez y se ha asociado a fluctuaciones abruptas del potencial hídrico del suelo, como sucede durante los eventos de lluvia (Malgarejo y Martínez, 1992; Mohan Kumar, 1990). En zonas con alta probabilidad de lluvia durante los meses de cosecha se recomienda, por lo tanto, aumentar paulatinamente el riego de modo de llegar con altos

niveles de humedad en el perfil en otoño, evitando así que las eventuales lluvias resulten en fluctuaciones abruptas del potencial hídrico del suelo. El uso de variedades precoces, como las desarrolladas en Israel y descritas anteriormente, es una buena alternativa en climas con lluvias otoñales como los de la zona centro-sur de Chile.

El viento es un factor a tener en cuenta en esta especie, debido a su naturaleza arbustiva, de madera flexible y presencia de espinas, características que la hacen particularmente susceptible al daño mecánico de la fruta (ramaleo) y al desganche de ramas y descalce de plantas cuando se enfrentan a vientos intensos. En zonas ventosas el uso de cortavientos es, por lo tanto, imprescindible.

En el Norte Chico de Chile, los valles interiores suelen lograr una floración más concentrada que da origen a cosechas más concentradas en el tiempo en comparación a las zonas costeras. Los climas más secos, por otro lado, favorecen la producción de fruta de mejor calidad (Malgarejo y Martínez, 1992; Mohan Kumar, 1990)

Propagación y plantación

El granado, como la mayoría de las especies leñosas, puede propagarse

tanto por reproducción sexual como por multiplicación vegetativa. La reproducción sexual (por semillas) es fácil de realizar, pues las semillas germinan sin necesidad de un período de reposo, pero genera árboles muy heterogéneos, como así también los frutos, que pueden ser o no de buena calidad y características deseadas, lo que lo hace un método inapropiado para propagar cultivares comerciales.

La propagación vegetativa en cambio, genera plantas de características más homogéneas y de mayor precocidad. Los métodos de multiplicación asexual más utilizados son la estaca leñosa o herbácea, para la propagación de patrones y variedades, y el injerto para la propagación de los cultivares (Melgarejo *et al.*, 2003).

- Propagación por estaca leñosa

Se utilizan estacas leñosas de 25-30 cm de longitud y un diámetro de 1-2 cm obtenidas de las ramas vigorosas y verticales (chupones) que todos los años se producen en las ramas principales. Estas estacas se recolectan en invierno de madera del período vegetativo anterior, aunque también pueden tomarse estacas de 2 años. Luego de la recolección se ponen inmediatamente a enraizar, plantadas a una distancia de 25 a 30 cm sobre hilera y 70 cm entre hilera, dejando una o dos yemas al descubierto. De no

existir las condiciones apropiadas para poner las estacas a enraizar inmediatamente, se debe evitar a toda costa su deshidratación para lo que las estacas pueden ser almacenadas en un lugar fresco, a la sombra, recubiertas con un material que mantenga la humedad (ej. tela de saco), rociándolas diariamente con agua. Para facilitar el enraizamiento, Van Den Heede y Lecourt (1981) señalan que debe haber un calor de apoyo en el sustrato de las estacas, debiendo existir una diferencia de calor entre la atmósfera y el suelo. Hartmann y Kester (1987) afirman que, en la mayoría de las especies, el enraizamiento de estacas leñosas es satisfactorio a temperaturas diurnas de 21°C a 27°C y nocturnas de 15°C. Además, se recomiendan aplicaciones de auxinas como ácido indolbutírico (AIB) para estimular la rizogénesis (Weaver, 1976) en concentraciones de 4000 a 8000 ppm sumergiendo los últimos 2 cm de la base de las estacas en la solución hormonal durante 5 segundos (Melgarejo *et al.*, 2003).

Las estacas deben plantarse en lugares abiertos para evitar el incremento de temperaturas locales que puedan llevar a una brotación anticipada, sin que se haya producido el cayo ni la emisión de raíces.

El estaquillado leñoso se realiza en los meses invernales y las estacas

enraizadas están listas para ser transplantadas a suelo definitivo al invierno del año siguiente (Melgarejo *et al.*, 1992).

- Propagación por estacas herbáceas

Este método presenta ventajas con respecto al uso de estacas leñosas pues con el uso de estacas herbáceas se pueden obtener nuevas plantas durante todo el año. En esta técnica de propagación se utilizan pequeñas cantidades de material vegetal, presenta altos porcentajes de enraizamiento y se puede obtener gran cantidad de plantas en un espacio físico reducido y en un mínimo período de tiempo. Esto permite obtener gran cantidad de estacas de una misma planta madre con una notable reducción en los costos de las estacas y de las plantas finalmente obtenidas. El principal inconveniente de las estacas herbáceas es que se necesita un invernadero con sistema de nebulización en la zona de propagación, camas calientes y sistemas automáticos para el control de la temperatura y humedad (Melgarejo *et al.*, 2003). Se utilizan estacas herbáceas de 6 cm de longitud, evitando yemas apicales, plantadas en sustrato inerte con buena retención de humedad como combinaciones de turba (2/3) y vermiculita (1/3) o de

turba (2/3) y perlita (1/3). Una temperatura del sustrato de 25°C favorece el enraizado. Además se recomienda la inmersión de la base de las estacas en AIB en dosis que van de 8000 a 10000 ppm para mejorar la calidad del sistema radical y minimizar el tiempo de enraizado (Melgarejo *et al.*, 2003). Una vez enraizadas las estacas, se trasplantan a bandejas alveoladas de polietileno, trasladándolas a los 3 días a un lugar con sombra para un período de aclimatación de aproximadamente 15 días, antes de ser trasplantadas a suelo.

- Injertación

El injerto puede realizarse en primavera (ojo vivo) o a finales de verano (ojo dormido), aunque el método más utilizado es el de fines de primavera porque a fines de verano la corteza del granado se desprende con mayor dificultad y en ocasiones no puede realizarse bien esta operación. Los brotes suelen recolectarse antes del hinchamiento de yemas y se guardan en frigoríficos a 5-7°C hasta que se ha producido la brotación del patrón en el cuál se van a injertar las yemas (3-4 semanas antes). Las yemas utilizadas suelen tener un grosor de 1 cm para el injerto de escudete que es el más común. Se recomienda que, si se realiza este tipo de injerto, se cubra la

plancha injertada con la corteza que se ha levantado en el patrón, amarrándola posteriormente con rafia o cinta plástica. A los 15 a 20 días de realizado el injerto se debe cortar el plástico y, a los pocos días, el injerto empezará a brotar.

Se recomienda que, antes de injertar, el patrón sea rebajado unos 15 a 20 cm sobre la zona del injerto para favorecer el flujo de savia en dicha zona.

- Preparación del terreno

Lo primero que se hace es una labor profunda de desfonde, entre 50 a 70 cm de profundidad con el fin de romper capas compactas, si las hubiera, y facilitar el drenaje y la aireación del suelo. Esta labor se debe realizar en una época relativamente seca como el verano o principios de otoño para que haya una buena roturación del terreno, evitando los períodos de lluvia. Posterior a esto, un mes antes de la plantación, se abren los hoyos de plantación. Los hoyos pueden tener dimensiones de 50 x 50 x 40 cm, si se realiza manualmente. Se aconseja plantar a nivel del suelo o sobre camellones si no se cuenta con una profundidad de suelo suficiente o si existe riesgo de encharcamiento por mal drenaje o presencia de lluvias abundantes.

Previo a la plantación, y según el contenido de nutrientes del suelo, se

debe realizar una fertilización de fondo para asegurar un buen estado nutricional del cultivo en su establecimiento.

La mejor época para plantar el granado es la comprendida entre los meses de junio y julio e, incluso, hasta principios de primavera ya que, aunque el granado tiene una brotación tardía, es en esta época en la que se obtienen los mejores resultados (Melgarejo *et al.*, 2003).

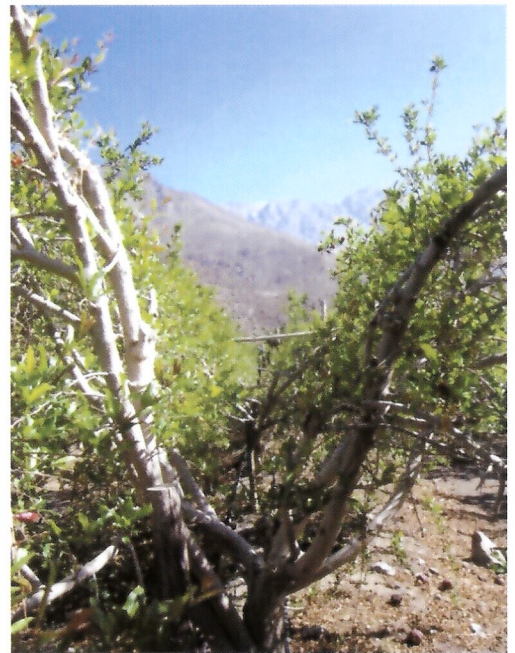


Figura 1.11. Hilera de granados con sistema de soporte bien iluminados en su interior.

Para la plantación de un huerto de granados se recomiendan amplios

marcos de plantación, variando de 3,5 x 4 m a 4 x 6 m, siendo 3 x 5 m muy adecuado si se utiliza un sistema de formación que maximice la interceptación de radiación, como lo es la formación en copa abierta apoyada de un sistema de soporte de alambres que permita una correcta iluminación del interior de la copa (Figura 1.11). Las plantaciones en alta densidad han mostrado tener problemas de emboscamiento por lo que requieren de podas severas y la consiguiente remoción de madera productiva y pérdida de rendimiento (Alfaro y Franck, 2009), aunque también se ha observado que aumentan la entrada en producción de los huertos, obteniéndose mejores rendimientos en los primeros años de plantación.

- Polinización

Las flores del granado pueden ser tanto autopolinizadas o recibir polinización cruzada. Por lo tanto no se requiere mezclar variedades. La polinización puede ser anemófila o entomófila, siendo en este caso la abeja el insecto más efectivo. La polinización de las flores está influenciada por la fertilidad del árbol, el tipo de flores y el clima.

Estudios realizados por Wetzstein y colaboradores (2011) consideran la polinización como un factor crítico para aumentar el tamaño final de la

fruta cosechada, existiendo una fuerte y positiva relación entre el número de arilos presentes por fruto y el peso y volumen total de cada fruto. Las flores del granado producen una gran cantidad de polen, pudiendo encontrarse entre 100 a más de 300 estambres por flor. Reportes sugieren que la viabilidad del grano de polen en granados es alta, pero su germinación está fuertemente influenciada por las temperaturas, con máximas de germinación con temperaturas entre 25 y 35°C. Temperaturas inferiores inhiben significativamente la germinación (Wetzstein *et al.*, 2011). Así, un bajo tamaño final del fruto puede atribuirse a un pobre desarrollo de óvulos, polinización insuficiente, o una inadecuada fertilización.

Manejo del cultivo

- Poda de Formación y Sistemas de Conducción

La poda de formación del granado es un aspecto clave en el manejo productivo de esta especie ya que su ramificación basitónica, madera flexible y fructificación predominantemente distal resultan en que los pesados frutos (peso promedio entre 350 y 500 g) arqueen las ramas y entren en contacto con el suelo. Existen varias escuelas de poda de formación: una recomienda la

formación de plantas con múltiples ejes auto-soportantes (por lo general 4 a 7), las otras preconizan un solo eje (tronco) que puede ser corto (15-30 cm.) o largo (>80 cm.) (Figura 1.12). El tronco largo tiene la ventaja de mantener la madera frutal más distante del suelo pero es más susceptible al descalce de plantas completas a consecuencia de la baja profundidad de enraizamiento y el alto peso de los frutos que presenta esta especie. En todos los casos la recomendación es eliminar todos los frutos que cuajen durante los tres primeros años (pueden aparecer desde el primer año) para permitir el desarrollo de una estructura caulinar resistente (Franck, 2010). Como se indicó, el peso de los frutos suele arquear las ramas por lo que, en los sistemas con un eje se debe considerar el uso de estructuras de soporte.

En el caso de las plantaciones en multi-eje, cada eje es auto-soportante por lo que se manejan sin estructura, apuntalando eventualmente los ejes que se inclinan debido a la alta carga frutal (Figura 1.13A). Además de ahorrar costos de estructura de soporte, el sistema multi-eje tiene la ventaja de que, en el caso de producirse desganche, se pierde un solo eje y no la planta entera, como puede suceder en los sistemas mono-eje. Una técnica utilizada en Israel para evitar la excesiva apertura de las

ramas es el uso de un “cinturón” de lona sintética que se amarra rodeando la totalidad de la copa del árbol a aproximadamente 1,5 m de altura (Franck, 2010) (Figura 1.13 B).

Para todos los sistemas de formación y conducción se recomienda eliminar todas las ramillas ubicadas en el tercio basal de las plantas (bajo 0,8 a 1,0 m) durante la poda de invierno para evitar que los frutos en ramas arqueadas entren en contacto con el suelo. En Israel los abundantes sierpes que produce el granado se controlan con glifosato (a partir del tercer año), glufosinato o urea al 5%, cuando aún no se han lignificado. En caso que los sierpes se lignifiquen deben ser eliminados con tijeras.

Un diseño de huerto adecuado debe buscar maximizar las siguientes variables:

- La interceptación de radiación por el follaje. Esta radiación absorbida está directamente relacionada con el potencial productivo.
- La cuaja de un número adecuado de frutos en posiciones que faciliten su cosecha y favorezcan su calidad.
- La precocidad del huerto, entendida como una rápida consecución de la plena producción.



Figura 1.12. Formación de granados en mono-eje alto (A), Mono-eje de 50 cm terminado en vaso abierto (B), multi-eje sin soporte (C) y multi-eje con soporte de alambres.



Figura 1.13. Sistemas aplicados para evitar el excesivo arqueamiento de ramas de granados cuando no se usa una estructura de soporte: instalación de puntales que sostienen ramas individuales (A) y “cinturón” perimetral confeccionado con material obtenido de carpas de camión (B).

En consecuencia el sistema de formación y conducción debe maximizar la captura de radiación solar por parte de las plantas, mantener la fruta alejada del suelo y en una posición en la copa en que queden bien iluminadas pero no demasiado expuestas a la radiación directa para evitar el golpe de sol. Respecto a la densidad de plantación, ésta debe permitir una buena iluminación del huerto, facilitar el tránsito de maquinaria y, a la vez, favorecer la precocidad en la producción del huerto.

- Poda de Producción

El granado produce principalmente en brotes mixtos procedentes de yemas existentes en madera del año anterior y ubicadas, generalmente, en el tercio distal de las ramas. En consecuencia la poda de producción del granado debe ser suave ya que las podas severas resultan en pérdida de madera frutal, lo que puede constituirse en el principal factor limitante de la producción. En consecuencia, se recomienda realizar podas invernales suaves con los objetivos de despejar la parte interna

de la copa, eliminar los crecimientos bajos ($<0,8-1,0$ m) y retirar madera dañada. Como poda de verano se recomienda despejar periódicamente (3 a 4 veces por temporada) el entorno directo del fruto durante su período de crecimiento, eliminando los brotes vecinos que puedan producir daño por ramaleo.

- Raleo

o Raleo manual

El raleo manual es una labor clave en el manejo del granado. Esta labor tiene como objetivos: (i) eliminar los frutos múltiples, dejando un fruto por nudo, (ii) eliminar los frutos tardíos que no alcanzan buen calibre (y, en algunos casos, no llegan a madurar), (iii) favorecer el calibre de la fruta a cosecha y (iv) reducir la incidencia de añerismo.

Resultados de investigaciones realizadas por el CEZA confirman la importancia de esta labor. En la Figura 1.14 se muestra el efecto que tiene el raleo sobre el rendimiento y el peso promedio de los frutos de granados cv. Wonderful, obtenido en las localidades de Vicuña y Algarrobal en el Valle del Elqui, Región de Coquimbo, Chile. Se aprecia que, a medida que aumenta la carga, aumenta el rendimiento pero disminuye el peso promedio del fruto.

Además se puede inferir un rendimiento potencial superior a las 50 ton/ha y un peso promedio potencial teórico del fruto de 502 g para Vicuña y 631 g para Algarrobal. Respecto a la de carga frutal ideal, esta depende del precio obtenido por las diferentes categorías de calibre de los frutos. En Israel, se recomienda ajustar un número de 50.000 a 80.000 frutos/ha (para saber cuántos frutos dejar por planta se debe dividir dicho valor por el marco de plantación).

En el granado es difícil evidenciar el añerismo a nivel de huerto ya que la incidencia de este fenómeno se produce a nivel de cada planta, no apreciándose a nivel de los huertos completos. Así, en un mismo huerto conviven plantas con baja carga frutal que el año anterior tuvieron alta carga, plantas con alta carga que el año anterior tuvieron baja carga y plantas con carga intermedia.

Cabe señalar que, además de los efectos antes mencionados, el aumento de la carga frutal se asocia a una mayor incidencia de partidura de los frutos (Opazo, 2014). Las recomendaciones para el raleo manual en granado son las siguientes: (i) comenzar cuando los frutos de la primera cohorte de floración tengan un tamaño similar a una pelota de ping-pong (4 cm de diámetro ecuatorial), (ii) raleo con tijeras, (iii)

dejar un fruto por nudo, (iv) eliminar preferentemente los frutos de los sectores altos de la copa (con mayor riesgo de golpe de sol) y ubicados en porciones distales de ramillas débiles (mayor riesgo de quedar en contacto con el suelo por arqueamiento de las

ramas), (v) repasar cada 2 a 3 semanas hasta que no aparezcan nuevos frutos y (vi) favorecer la retención de frutos de la primera cohorte de floración y evitar retener frutos de la tercera cohorte de floración.

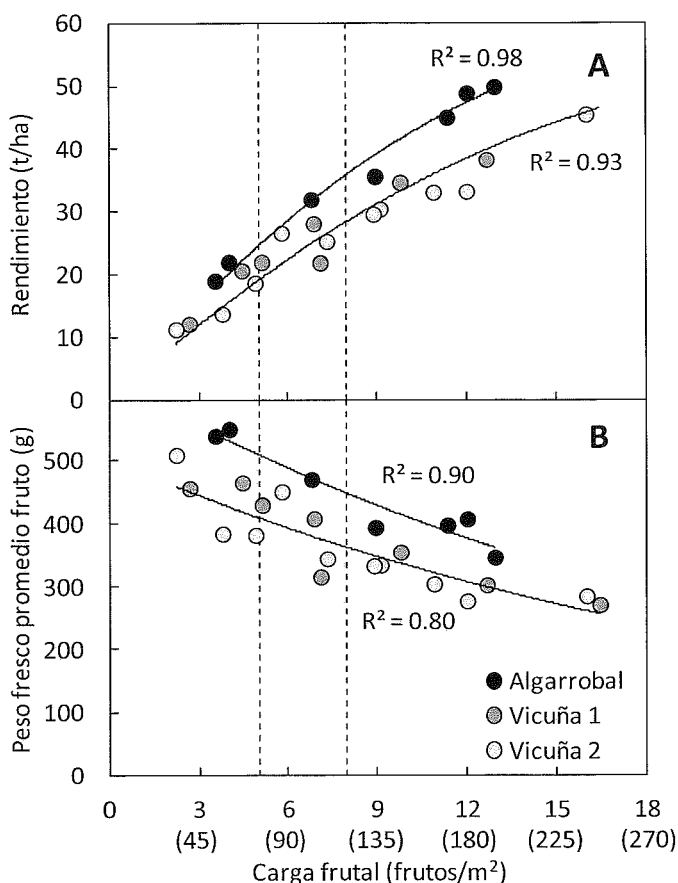


Figura 1.14. Efecto de la carga frutal sobre el rendimiento (A) y el peso fresco de los frutos (B) en dos localidades de la región de Coquimbo, Chile (Algarrobal y Vicuña). Las líneas punteadas indican un intervalo de carga frutal que permite un adecuado compromiso entre rendimiento y peso promedio del fruto según las recomendaciones israelitas; los valores entre paréntesis representan el nivel de carga por planta para un marco de plantación de 3 x 5 m.

Resultados obtenidos durante tres temporadas en tres regiones de Chile indican que la carga frutal no afecta los rendimientos de jugo y arilos ni la composición química de la fruta (sólidos solubles, pH, acidez titulable y relación sólidos solubles/acidez). No obstante lo anterior, al aumentar la carga frutal, aumenta el contenido de fenoles totales y antocianos en la fruta, así como su intensidad colorante (Figura 1.15). Todos estos efectos son positivos para la valoración industrial

y funcional de los productos agroindustriales. Por otro lado, la actividad antioxidante, que actualmente es el descriptor más aceptado en la industria para reflejar el valor funcional de los alimentos, presentó sus máximos niveles a cargas intermedias. Este resultado sobre la capacidad antioxidante va en línea con los niveles de carga que reducen el añerismo y aseguran una buena relación rendimiento x tamaño del fruto (Figura 1.14).

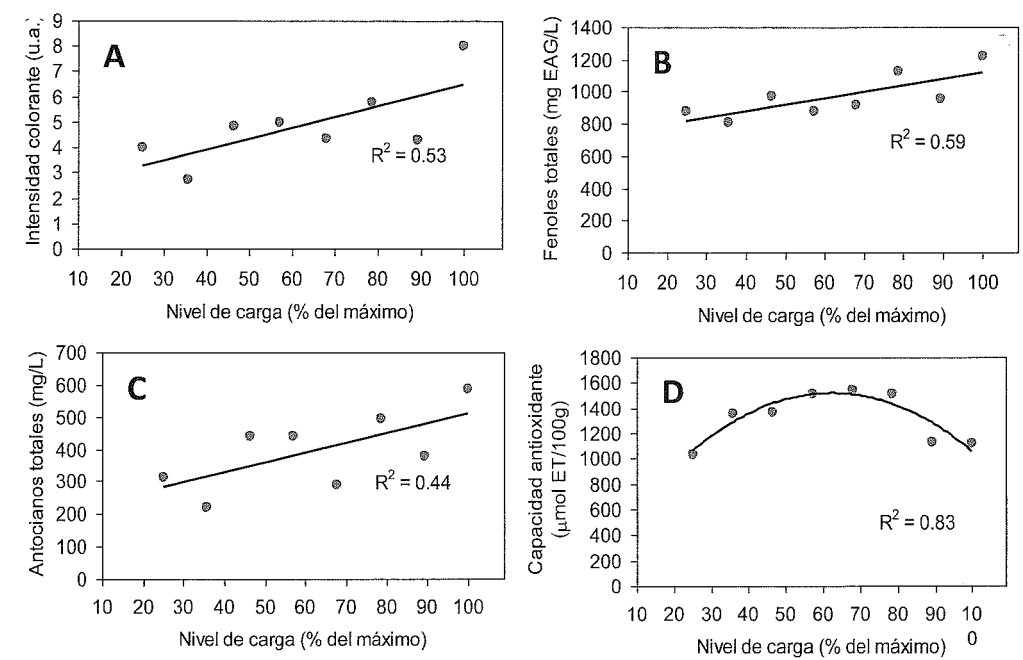


Figura 1.15. Respuesta de la intensidad colorante **(A)**, el contenido de fenoles **(B)** y antocianos totales **(C)**, y la capacidad antioxidante **(D)** del jugo de granada a la carga frutal de las plantas.

○ Raleo químico

El raleo químico en granado se utiliza principalmente para eliminar las flores y/o frutos tardíos que provienen de las últimas cohortes de floración y no alcanzan un tamaño ni desarrollo de color adecuado para su comercialización. Con este fin, en Chile se han probado, durante tres temporadas, cinco productos químicos diferentes: ácido naftalenacético, ethephon, benciladenina, ácido giberélico y aminoetoxivinilglicina en fechas y dosis diferentes. El único producto que ha demostrado tener un

efecto raleador de frutos tardíos aceptable es el ethephon (Vesely, 2011).

Los mejores resultados se han obtenido aplicando ethephon en concentraciones de 400 mgL^{-1} hasta el punto de goteo, con una primera aplicación al momento del comienzo del cuaje de la segunda cohorte de floración y una segunda aplicación 15 días después. Estos resultados se grafican en la Figura 1.16. No obstante lo anterior, cabe señalar que el etileno en concentraciones superiores a 400 mg/L ha generado fitotoxicidad en algunos huertos (Figura 1.17).

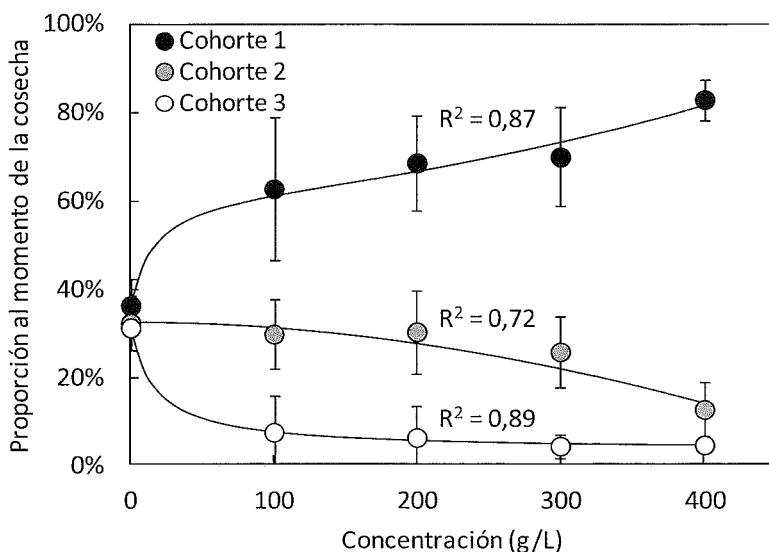


Figura 1.16. Relación entre la concentración de ethephon aplicado a principios de enero y el porcentaje de frutos de granado pertenecientes a la primera, segunda y tercera cohorte de floración presentes al momento de la cosecha. (Redibujado a partir de datos de Vesely, 2011).



Figura 1.17. Estado inicial (A) y avanzado (B) de fitotóxicidad producida al aplicar concentraciones de ethephon mayores a 400 mg L^{-1} . Fuente: Vesely, 2011.

- Riego

Los requerimientos hídricos del granado son relativamente bajos, encontrándose antecedentes en la literatura que fluctúan entre 4.500 y $7.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Para las condiciones de Chile se determinó el nivel de riego óptimo para huertos adultos de granado en plena producción en base a ensayos en

que se varió la frecuencia o el caudal de riego de modo de obtener la respuesta del tamaño de los frutos y el rendimiento a la cantidad de agua aplicada. Se determinó que cuando los incrementos de riego no generaron aumento en dichas variables productivas (peso del fruto y rendimiento) la tasa de riego era excesiva (superior al óptimo económico); cuando la disminución de la tasa de riego redujo el rendimiento y el peso promedio de los frutos se consideró como sub-óptimo. Los riegos se aplicaron por goteo en un suelo arenoso.

Los resultados indican que el riego óptimo se alcanza aplicando un máximo de 103% de la evaporación potencial del sector (ET_p ; $k_c = 1,03$) durante los meses de máxima cobertura foliar (enero-febrero). Como se observa en la Figura 1.18, tasas de riego superiores sólo aumentan el crecimiento vegetativo, sin aumentar el rendimiento, ni el peso promedio de los frutos.

Respecto a tasas de riego inferiores, (equivalentes a 52 y 34 % de ET_p) si bien la reducción a la mitad del valor de la tasa de riego óptima no reduce el diámetro de los frutos, ambas reducen el rendimiento y el peso promedio de los frutos. El aspecto de los frutos también se afecta por el riego como se aprecia en la Figura 1.19.

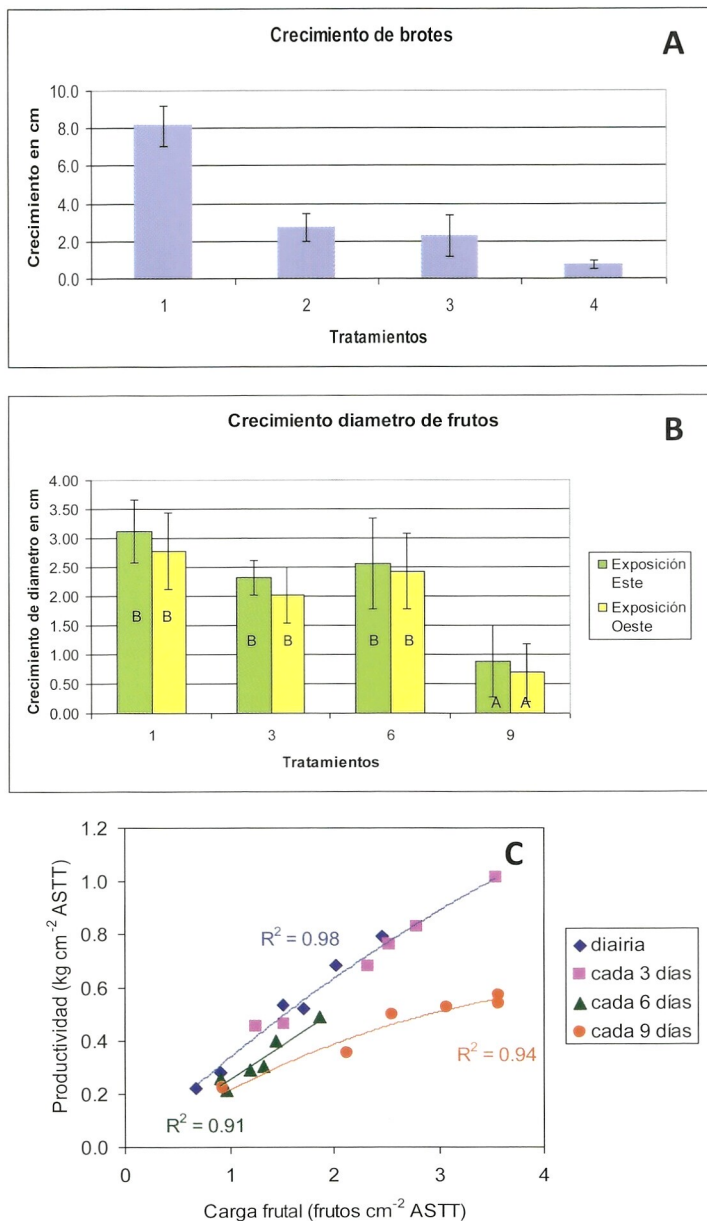


Figura 1.18. Efecto de la frecuencia de riego (1: diaria, 3: cada tres días [tasa que resultó ser la óptima], 6: cada seis días y 9: cada nueve días) sobre el crecimiento de los brotes (A), el crecimiento del diámetros de los frutos (B) y la respuesta del rendimiento expresado como kg de fruta por unidad de área de sección transversal de tronco (ASTT) en función de la carga frutal por unidad de ASTT (C).



Figura 1.19. Efecto de tratamientos de riego con frecuencia diaria (A), cada tres días (B) [tasa que resultó ser la óptima], cada seis días (C) y cada nueve días (D) sobre el aspecto exterior de los frutos de granado.

- **Nutrición mineral**

Para obtener una producción óptima, el granado, como cualquier otro frutal, requiere de fertilización. Existen diferentes y contrastantes referencias de dosis y épocas de aplicación de fertilizantes en la literatura. En Israel se recomienda, como regla simple, aplicar una relación de nitrógeno: fósforo: potasio de 2:1:4. En la Tabla 1.3 se indican las dosis de macro-nutrientes recomendados en Israel.

En la Tabla 1.4 se presenta la cantidad de macro-nutrientes extraídos por tonelada de granadas producidas, estimada por García (2012), y su comparación con otros frutales.

En la Figura 1.20 se presenta la dinámica estacional de extracción de macro-nutrientes de un huerto de

granado en plena producción (rendimiento de 30 t ha⁻¹ año⁻¹).

Tabla 1.3. Dosis de fertilización con los macro nutrientes: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en función de la edad del huerto, recomendadas para huertos de distintas edades en Israel. Cabe señalar que, en Israel, se elimina la totalidad de la fruta durante los primeros 3 años. Gentileza Sr. Yitzhak Kosto.

Dosis (Unidades/ha)			
Año	N	P	K
1°	30-40	0	0
2°	120-150	0	0
3°	150-200	0	0
4°	150-200	37,5-50	75-100
5°	150-200	50-67	100-133
6°<	150-200	75-100	300-400

Plagas y enfermedades

En cuanto a enfermedades, en Chile se han detectado infecciones que producen daños significativos en los frutos (en gran parte detectados en destino) producidas por *Botrytis spp.*, *Alternaria spp.* y *Cladosporium spp.* Los daños por *Alternaria* afectan principalmente el interior del fruto, *Botrytis* afecta tanto la piel como la

pulpa del fruto, mientras que *Cladosporium* se manifiesta por el desarrollo de micelio en la superficie del fruto. En todos los casos el daño suele comenzar por el extremo calicinal por lo que se le asocia al ingreso de los hongos durante floración o por su presencia en los restos florales.

Tabla 1.4. Cantidad de macronutrientes extraída por tonelada de fruta fresca producida para cuatro especies frutales incluyendo el granado.

Elementos (Kg de elemento/t fruta)					
Especie	N	P	K	Ca	Mg
Granado (30 t ha ⁻¹) ¹	5.30	0.63	3.56	5.70	0.35
Durazno (30 t ha ⁻¹) ²	5.14	1.38	5.25	2.22	1.00
Vid (30 t ha ⁻¹) ²	4.00	1.70	5.60	2.22	1.20
Manzano (60 t ha ⁻¹) ¹	1.47	0.50	1.90	1.33	0.75

Fuentes: 1: García (2012) y 2: Vidal (2007).

Dentro de las plagas comunes del granado se encuentran el chanchito blanco (especie cuarentenaria), presente principalmente en el cáliz, nemátodos en el suelo (*Meloydogine sp.*), pulgones, y la polilla del algarrobo, cuya larva perfora los frutos, observándose ocasionalmente en huertos ubicados en zonas altas de los valles del Norte Chico en Chile.

Además de los daños por plagas y enfermedades, los frutos del granado

son muy susceptibles al ramaleo, la partidura y el golpe de sol (Figura 1.21).

Como se mencionó anteriormente, para reducir el ramaleo se recomienda el uso de corta vientos en zonas muy ventosas, así como las podas de verano orientadas a despejar el entorno directo de los frutos. Para evitar la partidura de frutos, las medidas a aplicar son: cosechar a tiempo, eludir el riesgo de lluvias en

los meses de cosecha (zonas libres de lluvias en dichos meses; uso de variedades tempranas) y aumentar paulatinamente el riego a medida que

aumentan las probabilidades de lluvia en otoño. Cabe recordar que la partidura se asocia también a las altas cargas frutales.

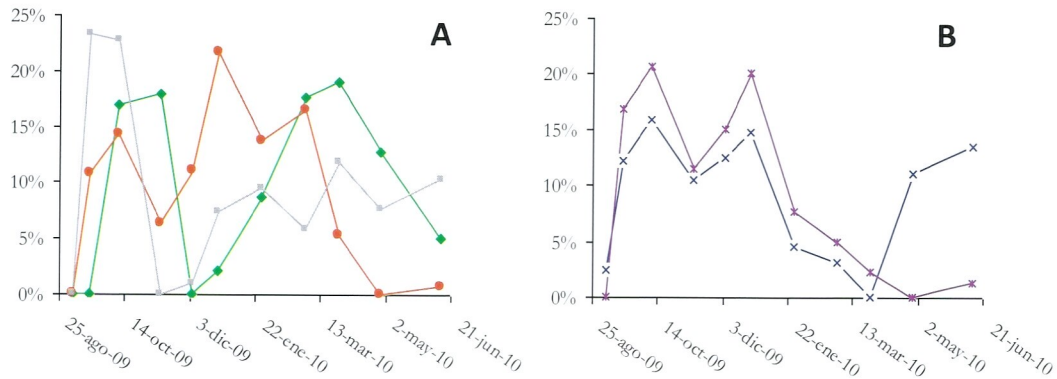


Figura 1.20. Fluctuación estacional de la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio (A); y calcio y magnesio (B) de un huerto de granado var. Wonderful en plena producción (30 t ha⁻¹ año⁻¹) en la localidad de Paihuano, Región de Coquimbo, Chile. Nitrógeno (◆); Fósforo (■); Potasio (●); Calcio (x); Magnesio (*) (Fuente: García, 2012).



Figura 1.21. Defectos de calidad más comunes en granadas: golpe de sol (1ª desde la izquierda), partidura (2ª) y daño por ramaleo (3ª y 4ª).

El golpe de sol es un daño que se produce por la exposición del fruto a

la radiación solar directa, lo que genera un aumento de la temperatura

del tejido expuesto, el que desarrolla manchas pardo-negruzcas (Yazici y Kaynak, 2009a). Este daño es muy frecuente en el granado y afecta también a los arilos ubicados bajo la zona dañada, los que presentan una menor pigmentación roja. Este daño es la principal causa de descarte de fruta para la exportación, pudiendo afectar al 30-40 % de la fruta cosechada. Existen diferentes estrategias para reducir la incidencia del golpe de sol en granado: ralea los frutos ubicados en la parte alta de las plantas, utilizar variedades cuyos frutos desarrollen color rojo tempranamente y/o aplicar métodos que reduzcan la incidencia de radiación solar directa sobre los frutos. Entre estos últimos métodos se encuentran las mallas de sombreamiento, la aspersión de frutos con caolín y el uso de cambuchos de papel en cada fruto. Estudios realizados en España (Melgarejo *et al.*, 2004) y Turquía (Yazici y Kaynak 2009b) con las variedades Mollar de Elche (rosada) e Hicaznar (roja), respectivamente, demuestran que los tres métodos son efectivos en el control del golpe de sol. En el caso de las mallas de sombreamiento, éstas presentan rangos de interceptación de un 10% a un 35% de la radiación y se recomienda desplegarlas 2 a 3 semanas luego de la cuaja y retirarlas 3 semanas antes de cosecha. Fechas similares son recomendadas para la

aplicación de los cambuchos de papel. Las aplicaciones de caolín suelen realizarse en parcialidades a partir del momento en que los frutos alcancen un diámetro de 4 cm, a intervalos de 1 a 3 semanas (Melgarejo *et al.*, 2004; Yazici y Kaynak, 2009b).

Cosecha

Como la floración y maduración del granado se produce de forma escalonada, también la cosecha se efectúa de esta manera, comenzándose a cosechar los primeros frutos, bajo condiciones climáticas favorables, 5 a 7 meses después de la floración, lo que en Chile correspondería al período comprendido entre marzo y junio.

El índice de madurez más utilizado para cosechar las granadas es el contenido de sólidos solubles y la acidez presente en el jugo, siendo también relevante el color y porcentaje de cubrimiento de la cáscara con color rojo.

Para la cosecha de los frutos del cultivar Wonderful se recomienda una acidez titulable (AT) inferior a 1,85% y un contenido de sólidos solubles (SS) superior a 17%, siendo ideal su cosecha cuando la relación SS/AT supera el valor 12. Sin embargo, a nivel nacional, para comercializar en la ventana en que los precios son elevados por falta de oferta y evitar

que la fruta se parta cuando ha alcanzado la madurez fisiológica, se cosecha cuando la fruta alcanza un calibre adecuado y su jugo supera los 14°Brix, tiene una AT inferior al 2% y sobre el 80% de la cáscara está de color rojo.

En la cosecha se debe tener cuidado de no machucar los frutos al sacarlos del árbol y depositarlos en las cajas cosecheras. Esta labor debe realizarse con tijeras de podar, teniendo especial cuidado en cortar el pedúnculo del fruto al ras, para que éste no provoque daños en otros frutos durante el transporte. Una primera labor de descarte se realiza directamente durante la cosecha, descartando los frutos con defectos de calidad marcados (russet, golpe de sol, bajo calibre) y problemas de condición (partidura, pudriciones).

Recibidas las granadas en el packing, comienza el proceso de embalaje, siendo separados los frutos de forma manual por calibre (Tabla 1.5) y aspecto. Una segunda labor de descarte es realizado en este proceso. Existen productores de granadas que, previo al embalaje, realizan una inmersión de las granadas en agua con cloro al 1% como una manera de realizar una desinfección de la fruta, observándose que esta labor no genera problemas para los procesos posteriores.

En la Tabla 1.5 se detallan los calibres en los que son comercializadas las granadas de exportación, estando dado el calibre por el número de frutos que caben en una caja de 4,2 Kg. Los calibres superiores a 16 no son exportados por los bajos retornos que generan y/o porque no son requeridos por los compradores.

Tabla 1.5. Calibres comerciales de granadas (número de frutos por caja de 4 kg).

Calibre	Peso fruto (g)		Diámetro del fruto (mm)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
6	650		112	
8	490	649	101	112
10	390	389	93	101
12	325	388	87	93
14	280	324	83	87
16	245	279	79	83
18	220	244	76	79
20	195	219	73	76
22	180	194	71	73
Pre calibre		179		71

El granado es un fruto no-climatérico. Debido a que presenta numerosas micro-fisuras en la cáscara

que permiten el movimiento libre de la humedad desde el fruto al medioambiente, la deshidratación es sindicado como el principal problema de poscosecha del granado (Mohan Kumar, 1990; Kader, 2006). Para evitar dicha deshidratación, se recomienda el almacenamiento de la fruta a baja temperatura y a humedad relativa de 90 a 95% (Kader, 2006, Kader *et al.*, 1984). El uso de envolturas plásticas y ceras ayuda reducir las pérdidas de agua de los frutos (Artés *et al.*, 2000a).

Otro daño de poscosecha reportado para granado es el daño por frío que se caracteriza por un pardeamiento de los arilos. Según Kader (2006), este problema afecta a la fruta almacenada por más de un mes entre la temperatura de su punto de congelamiento (-3 °C) y 5 °C o almacenada por más de 2 meses a 5 °C. No obstante lo anterior, en Chile se han hecho ensayos de conservación de granadas a 0 °C por 8 semanas que no han inducido daño por frío (Galletti *et al.*, 2000). Otro daño de poscosecha importante que sufre la granada es el escaldado, daño que se manifiesta como una decoloración parda de los tabiques del fruto y un color pálido de los arilos. Este daño comienza por el extremo pedicelar del fruto (Kader, 2006).

Entre los patógenos que causan pudrición en granado durante la

poscosecha se destacan *Aspergillus spp.* y *Alternaria spp.*, asociados a lluvias durante la floración y las fases de desarrollo temprano del fruto. Estas pudriciones se manifiestan al interior del fruto causando un muy leve cambio del color de su piel (rojo más intenso), pudiendo ser reconocidas en el proceso de embalaje por una menor densidad (relación peso/volumen) y un sonido hueco al golpear la fruta con el dedo (Kader, 2006; LaRue, 1980). *Botrytis cinerea* es sindicado por Kader (2006) como el principal patógeno que afecta a la granada en poscosecha. La infección puede comenzar en el campo resultando en la presencia de esporas en el área del cáliz al momento de la cosecha (Kader, 2006). Los síntomas comienzan con un cambio de color de la piel del fruto hacia tonos pardos claros, asociados a un endurecimiento de la piel (aspecto cuerudo) y seguido por el desarrollo del típico micelio gris (Kader, 2006). Las pudriciones se pueden controlar evitando el daño mecánico durante la cosecha y el embalaje y mediante el uso de adecuadas temperaturas y humedades relativas durante el almacenamiento. Kader (2006) señala que las atmósferas enriquecidas en CO₂ son fungistáticas, inhibiendo el desarrollo de *Botrytis cinerea* y agrega que dicho hongo se puede controlar con la aplicación de Fludioxonil en poscosecha.

Entre una amplia gama de métodos para el almacenamiento prolongado de granadas que se han evaluado (Al-Kahtani, 1992; Artés *et al.*, 2000a y b; Hess-Pierce y Kader, 2003; Kupper *et al.*, 1995), Kader (2006) indica que el más efectivo para reducir la incidencia de pudriciones y desordenes fisiológicos es el uso de atmósfera controlada con 5% de O₂ y 15% de CO₂. Al aplicar dichas concentraciones de oxígeno y CO₂ y una temperatura de 7 °C, la vida de poscosecha de la fruta puede alcanzar los 5 meses. El mismo autor (Kader, 2006), señala que temperaturas entre 5 y 8 °C, según la variedad y el área de cultivo (7 °C para Wonderful), y humedades relativas entre 90 y 95 %, permiten un potencial de almacenamiento de 3 a 4 meses en aire y 4 a 6 meses en atmósfera controlada. Sin embargo, existen variadas temperaturas óptimas reportadas en la literatura sobre la poscosecha del granado que varían de 0 a 7 °C. La misma variabilidad en los valores reportados en la literatura se observa para los rangos óptimos de humedad relativa con recomendaciones que fluctúan entre 80 y 90% (Artés *et al.*, 1998; de Palma y Novello, 1995; Galletti *et al.*, 2000). Estos antecedentes indican que, en el caso de Chile, es conveniente desarrollar estrategias de poscosecha adaptadas a las condiciones de cultivo locales.

Otros usos

La granada se consume, generalmente, como fruto fresco. Sin embargo, existe una gran parte de la cosecha que no posee suficiente calidad “cosmética” como para cumplir con los requerimientos de los mercados de fruta fresca. En los frutos con este tipo de defecto la calidad de los arilos, generalmente, no se ve afectada y existen múltiples alternativas para su uso industrial, como:

- Jugos concentrados de granada.
- Arilos en IV gama
- Mermeladas
- Vinos, vinagres y licores
- Arilos deshidratados
- Productos nutracéuticos a partir de extracto de corteza
- Condimento alimentario
- Cosméticos: cremas, aceites, geles, etc.

Por otro lado, se ha descrito su uso como tinte natural, teniéndose noticias de exportaciones que, en ocasiones, han incluido granadas agrias para Francia y Reino Unido, destinados para este fin (Melgarejo *et al.*, 2003). Tamaro (1984) asegura que el pericarpio es rico en taninos y materias colorantes, utilizándose en farmacia por sus propiedades

astrogentes, conociéndose con el nombre de Malicorum. Tradicionalmente, su corteza se utiliza para curtir cuero y se cita la utilización de su madera en ebanistería.

Perspectivas a futuro

El granado es una especie poco explotada en Chile, a pesar de que existen regiones que poseen aptitudes edafoclimáticas ideales para este cultivo (valles interiores de las regiones de Atacama y Coquimbo). Debido a los altos precios comandados por la fruta en la segunda mitad de la década 2000-2010, se realizaron plantaciones en zonas poco óptimas y no se aplicó suficiente tecnología en su manejo. De hecho, con la paulatina baja de los precios (que siguen siendo atractivos para zonas óptimas de producción), muchos huertos han sido arrancados (principalmente en la zona central). En el escenario actual, se hace necesario concentrar los esfuerzos de los actores de este rubro en el desarrollo de una industria del granado que permita absorber la alta proporción de fruta de descarte de exportación. Otra alternativa de comercialización auspiciosa es aumentar el consumo interno de las granadas. A nivel nacional casi no se consume esta fruta a pesar de sus conocidas propiedades funcionales, ya

sea por desconocimiento o por la dificultad de su consumo en fresco. Una campaña a nivel nacional que permita dar a conocer a la población los beneficios de su consumo permitiría desarrollar dicho mercado.

También es prioritario generar protocolos de manejo sanitario del granado ya que, con el tiempo, han ido apareciendo serios problemas de pudrición de frutos en post-cosecha, nematodos y chanchitos blancos.

Otro desafío para Chile es la diversificación del material genético de granadas presentes en el país. Hasta la fecha, Wonderful es casi la única variedad plantada en Chile, pero ya se ha introducido material vegetal de variedades israelitas que podrían ayudar a contrarrestar algunos problemas de bajos rendimientos y calidades que se obtienen con Wonderful. Sin embargo, se hace necesaria una evaluación responsable del comportamiento de estas variedades, establecidas en condiciones locales, para tener una real comparación de sus ventajas. En esta área, el CEZA cuenta con un banco de germoplasma en la región de Coquimbo, con selecciones locales, que han demostrado también ser buenas alternativas al uso de Wonderful, destacándose en algunas de éstas las cualidades funcionales.

LITERATURA CITADA

Adhami, V.M. and H. Mukhtar. 2006. Polyphenols from green tea and pomegranate for prevention of prostate cancer. *Free Radic. Res.*, 40: 1095–1104.

Alfaro, F. y N. Franck. 2009. Efecto de diferentes manejos agronómicos sobre la floración y el cuajado del granado (*Punica granatum* L.) var. Wonderful. *Actas del 60° Congreso Agronómico de Chile*, Talca, 27-31 de octubre.

Al-Kahtani, H.A. 1992. Intercultivar differences in quality and postharvest life of pomegranates influenced by partial drying. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117, 100.

Artés, F., Tudela, J.A. y Gil, M.I. 1998. Efectos de las atmósferas modificadas con elevadas concentraciones de CO₂ en la conservación frigorífica de la granada. pp. 9. En: *I Symposium Internacional sobre el Granado*. Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Universidad Miguel Hernández, Orihuela (Alicante), España. 428 p.

Artés, F., Villaescusa, R., y Tudela, J.A. 2000a. Modified atmosphere packaging of pomegranate. *J. Food Sci.*, 65, 1112.

Artés, F., Tudela, J.A., and Villaescusa, R. 2000b. Thermal Postharvest treatments for improving pomegranate quality and shelf life. *Postharv. Biol. Technol.*, 18, 245.

Aviram, M., M. Rosenblat, D. Gaitini, S. Nitecki, A. Hoffman, L. Dornfeld, N. Volkova, D. Presser, J. Attias, H. Liker, T. Hayek. 2004. Pomegranate juice consumption for 3 years by patients with carotid artery stenosis reduces common carotid intima-media thickness, blood pressure and LDL oxidation. *Clin. Nutr.*, 23: 423–433.

Azadzoi, K. M.; R.N. Schulman, M. Aviram, M. B. Siroky. 2005. Oxidative stress in arteriogenic erectile dysfunction: prophylactic role of antioxidants. *J. Urol.* 174: 386–393.

Ben-Arie, R., N. Segal, and S. Guelfat-Reich. 1984. The Maturation and Ripening of the 'Wonderful' Pomegranate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:898-902.

- Braga, L. C., J. W. Shupp, C. Cummings, M. Jett, J. A. Takahashi, L. S. Carmo, E. Chartone-Souza, A.M. Nascimento. 2005. Pomegranate extract inhibits *Staphylococcus aureus* growth and subsequent enterotoxin production. *J Ethnopharmacol.* Jan 4; 96(1-2):335-339.
- Cerda, B.; R. Llorach, J. J. Ceron, J. C. Espin, F. A. Tomas-Barberan.2003. Evaluation of the bioavailability and metabolism in the rat of punicalagin, an antioxidant polyphenol from pomegranate juice. *Eur. J. Nutr.* 42: 18–28.
- CIREN-ODEPA, 2013. Catastro frutícola. Principales resultados, Región del Maule, Junio 2013. Disponible en: http://www.odepa.cl/wpcontent/uploads/2012/09/catastro_Maule_junio2013.pdf
- De Palma, L., V. e Novelo. 1995. Imelograno: attualità di una colturaantica. *Rivista di Frutticoltura*, 11: 45-49.
- De Palma, L. e Novello, V. 1995. Imelograno: attualità di una colturaantica. *Rivista di Frutticoltura*, 11: 45 - 49.
- El-Nemr, S. E., I. A. Ismail, & M. Ragab. 1990. Chemical composition of juice and seeds of pomegranate fruit. *Die Nahrung*, 34: 601–606.
- Espín J.C., R. González-Barrio, B. Cerdá, C. López-Bote, A.I. Rey, F.A. Tomás-Barberán. 2007. Iberian pig as a model to clarify obscure points in the bioavailability and metabolism of ellagitannins in humans. *J Agric Food Chem.*, 55: 10476-14085.
- Falsaperla M., G. Morgia, A. Tartarone, R. Ardito, G. Romano. 2005. Support ellagic acid therapy in patients with hormone refractory prostate cancer (HRPC) on standard chemotherapy using vinorelbine and estramustine phosphate. *EurUrol.*, 47: 449-454.
- Franck, N. 2010. ABC del cultivo del Granada. Aconex 105. pp 12-19.
- García, K. 2012. Estimación de la acumulación de biomasa, eficiencia del uso de la radiación y extracción estacional de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio por los distintos órganos en plantas de granado (*Punica granatum* L.). Tesis Ingeniera Agrónoma y Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención

- Producción Frutícola. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 95 p
- Galletti, L., H. Berguer, y R. Aguirre. 2000. Estudios de postcosecha realizados en Chile para la exportación de granadas. In: Simposio Internacional Cultivos frutales para zonas áridas. Santiago, 27-28 de abril del 2000. Ed. C. Botti. Depto. Producción Agrícola. U. de Chile. pp.182-192.
- Gil, M. I.; F. A. Tomas-Barberan, B. Hess-Pierce, D. M. Holcroft, A. A. Kader. 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. J. Agric. Food Chem, 48: 4581-4589.
- Giugliano D. 2000. Dietary antioxidants for cardiovascular prevention. NutrMetabCardiovasc Dis. 10: 38-44.
- Glozer, K. and L. Ferguson. 2008. Pomegranate production in Afghanistan. Department of Plant Sciences, College of Agricultural & Environmental Sciences, UC Davis. 32p.
- Graham, S.A., J. Hall, K. Sytsma, and S. Shi. 2005. Phylogenetic analysis of the Lythraceae based on four gene regions and morphology. Int. J. Plant Sci. 166:995-1017.
- Guo, C, J. Wei, J. Yang, J. Xu, W. Pang, Y. Jiang. 2008. Pomegranate juice is potentially better than apple juice in improving antioxidant function in elderly subjects. Nutr Res. Feb; 28:72-77.
- Hartmann, H.T. y D. E. Kester. 1987. Propagación de plantas. Ed. CECSA (Compañía Editorial Continental, S.A.), México.
- Hess-Pierce, B.M. y Kader, A.A. 2003. Responses of 'Wonderful' pomegranates to controlled atmospheres, Acta Hort., 600, 751.
- Hodgson, R. 1917. The Pomegranate. College of Agriculture. Agricultural Experiment Station, Berkeley, California. Boletín N° 276. 102 p.
- Holland, D., K. Hatib and I. Bar-Ya'akov. 2009. Pomegranate: botany, horticulture, breeding. Horticultural Reviews 35: 127-191.

IPGRI, 2001.Regional report
CWANA 1999–2000.International
Plant Genetic Resources Institute,
Rome, Italy. Pp 16-17. Disponible en:
[www.ipgri.org/publications/pdf/821.p
df](http://www.ipgri.org/publications/pdf/821.pdf)

ITIS. 2006. Integrated Taxonomic
Information System. Disponible en:
www.itis.usda.com

Kader, A.A., Chordas, A., and
Elyatem, S.M. 1984. Responses of
pomegranates to ethylene treatment
and storage temperature, Calif. Agric.,
38, 7&8, 14.

Kader, A.A. 2006. Postharvest
Biology and Technology of
Pomegranates. In: Pomegranates
ancient roots to modern medicine. Eds:
NP. Seeram, RN. Schulman y D.
Heber.CRC Press.FL. USA.244 p.

Khan, N., F. Afaq, M. H. Kweon, K.
Kim, H. Mukhtar. 2007. Oral
consumption of pomegranate fruit
extract inhibits growth and
progression of primary lung tumors in
mice. Cancer Res. 67: 3475–3482.

Kupper, W., Pekmezci, M., y Henze,
J. 1995.Studies on CA-storage of

pomegranate (*Punica granatum* L., cv.
Hicaz), Acta Hort., 398, 101, 1995.

Langley, P. 2000. Why a
pomegranate? Br. Med. J. November
4; 321(7269): 1153–1154.

LaRue, J.H. 1980. Growing
pomegranates in California,
University of California Division of
Agricultural Sciences Leaflet 2459.

Leifert, W.R., M.Y. Abeywardena.
2008. Cardioprotective actions of
grape polyphenols. Nutr Res. 28:729-
737.

Malik A., F. Afaq, S. Sarfaraz, VM.
Adhami, DN. Syed and H. Mukhtar.
2005. Pomegranate fruit juice for
chemoprevention and chemotherapy
of prostate cancer. Proc. Natl. Acad.
Sci. U. S. A. 102:14813–14818.

Mars, M. 2000. Pomegranate plant
material: genetic resources and
breeding, a review. Options
méditerranéennes. Série A, Séminaires
Méditerranéens 42: 55-62.

Melgarejo, P. 1993, Tipificación
varietal de granado (*Punica
granatum*). Agrícola Vergel. Pp 260-
262.

Melgarejo, P. y R. Martínez. 1992. El Granado. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 163 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.

Melgarejo, P., J.J. Martínez, F. Hernández, R. Martínez-Font, P. Barrows, and A. Erez. 2004. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100: 349-353.

Mohan Kumar, G.N. 1990. Pomegranate. Fruit of tropical and subtropical origin. Composition, properties and uses. Nagy, S., Shaw, P. y Wardowski, W. (Eds). Florida Science Source. Inc. Lake Alfred, Florida. USA. pp. 329-347.

Onur, C. and N. Kaska. 1985. Akdeniz Bolgesi Narlarinin (*Punica granatum* L.) Seleksiyonu (Selection of Pomegranate of Mediterranean Region). *Turkish J. Agric. For.*, D2, 9(1):25-33.

Opazo, I. 2013. Evaluación de diferentes estrategias de riego deficitario en granado (*Punica granatum* var. Wonderful), que permitan aumentar la productividad del agua y reducir la incidencia de partidura de frutos. Tesis Ingeniero Agrónomo y Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 103 p.

Pietta P., P. Simonetti, C. Gardana, A. Brusamolino, P. Morazzoni, E. Bombardelli. 1998. Relationship between rate and extent of catechin absorption and plasma antioxidant status. *Biochem Mol BiolInt.*, 46: 895-903.

Prat L. y C. Botti. 2002. El granado. Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 7, Santiago, Chile. 66p.

Rosenblat, M., N. Volkova, M. Aviram. 2010. Pomegranate juice (PJ) consumption antioxidative properties on mouse macrophages, but not PJ beneficial effects on macrophage cholesterol and triglyceride metabolism, are mediated via PJ-induced stimulation of macrophage PON2. *Atherosclerosis*. 212: 86-92.

- Sandoval, G. 2014. Efectos de la carga frutal, cohorte de floración y posición en la copa sobre el tamaño del fruto y la productividad en Granado (*Punica granatum* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo y Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 105 p
- Scortichini, M. 1990. Ilmelograno. *Rivista di frutticoltura*, 2: 41-48.
- Seeram N.P., L.S. Adams, S.M. Henning, Y. Niu, Y. Zhang, M.G. Nair, D. Heber. 2005. In vitro antiproliferative, apoptotic and antioxidant activities of punicalagin, ellagic acid and a total pomegranate tannin extract are enhanced in combination with other polyphenols as found in pomegranate juice. *J NutrBiochem.*, 16: 360-367.
- Sepúlveda, E., C. Sáenz, L. Galleti y M. Tapia. 2000. Minimal processing of pomegranate var. Wonderful. *Ciheam-lamz*, 237-242.
- Shulman, Y., L. Fainberestein, and S. Lavee. 1984. Pomegranate fruit development and maturation. *J. Hort. Sci.* 59:265-274.
- Sudzuki, F. 1997. Cultivo de frutales menores. 6ª edición. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, Universidad de Chile. 194 p.
- Sudzuki, F. 1988. Cultivo de Frutales Menores. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 185 p.
- Tamaro, D. 1984. Tratado de Fruticultura. Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona. 944 p.
- Van den Heede y M. Lecourt. 1981. El estaquillado. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Vesely, V. 2011. Prospección de raleadores químicos en granado (*Punica granatum* L.). Memoria Ing. Agrónomo, Escuela de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 37 p.
- Vidal, I. 2007. Fertirrigación cultivos y frutales. Ed. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 117 p.
- Weaver, R. J. 1976. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas, S.A. México.

Wetzstein, H.Y., N. Ravid, E. Wilkins and A. Pinheiro. 2011. A morphological and histological characterization of bisexual and male flower types in pomegranate. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 136(2): 83-92.

Yazici, K. and L. Kaynak. 2009a. Effects of air temperature, relative humidity and solar radiation on fruit surface temperatures and sunburn

damage in pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). Acta Hort. 818: 181-186.

Yazici, K. and L. Kaynak. 2009b. Effects of kaolin and shading treatments on sunburn on fruit of Hicaznar cultivar of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Hicaznar). Acta Hort. 818: 169-173.

Capítulo 2

LA HIGUERA

(Ficus carica L.)

VÍCTOR MUÑOZ-ARAVENA Y NICOLÁS FRANCK

Origen y distribución geográfica actual de cultivo

La higuera es originaria del Asia Menor (Transcaucasia, Irán y Turkmenistán; Figura 2.1A). Los principales productores son los países de la zona del Mediterráneo y del Asia Menor. Esto se relaciona con el área de origen y difusión del cultivo de la higuera, siendo también los principales consumidores. Para Chile, el cultivo de la higuera representa una alternativa muy interesante en zonas semiáridas, pues es una especie que tolera el déficit hídrico, es resistente a la salinidad y es poco exigente en suelo (Botti *et al.*, 2001). En Chile existen alrededor de 100 hectáreas de este cultivo y se ubican entre la IV y la VI regiones, siendo la zona central (RM, V y VI) donde se concentra casi el 80% de la superficie a nivel nacional (Figura 2.1B).

Clasificación Taxonómica

La higuera (*Ficus carica* L.) pertenece a la familia de la Moráceas y al género *Ficus*, que cuenta con más de 600 especies, siendo la gran mayoría de ellas plantas ornamentales (Lavín y Reyes 2004). A diferencia de la higuera, especie adaptada a climas áridos, la mayoría de los *Ficus* se han distribuido en zonas tropicales. La higuera es también conocida como brevera.

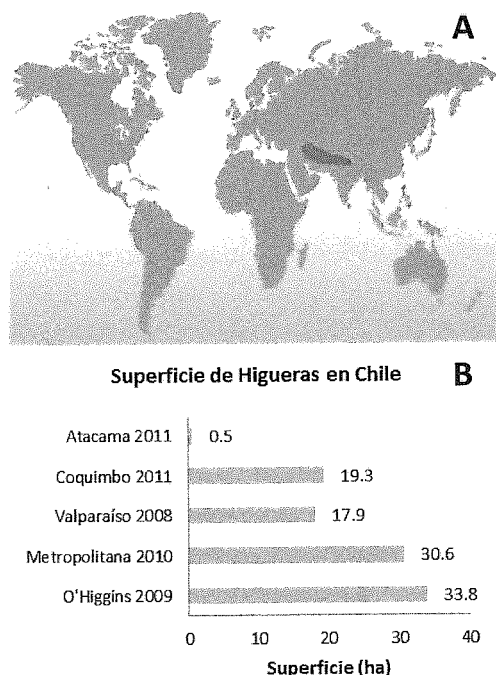


Figura 2.1. Zona de origen de la higuera (A), y superficie de higueras en Chile (Fuente: ODEPA) (B).

Variedades cultivadas

En el mundo existen muchas variedades de higuera, con diferencias en las características de sus frutos en términos de calibre, forma, color de piel y pulpa, sabor, postcosecha, etc.

La variedad más tradicional e importante a nivel mundial es Calimyrna, ampliamente usada en los países de origen del cultivo y en otros lugares del mundo. Es una variedad que requiere polinización y sus frutos son aptos para el secado, así como para el consumo en fresco. Los frutos

tienen la piel de color amarilla y la pulpa rosada y destacan por ser crujientes y por tener sabor a frutos secos, ambas características atribuidas a la presencia de semillas.

La variedad más utilizada para la producción y comercialización de higos como fruta fresca es Black Mission. Se trata de una variedad tardía y poco productiva que produce higos y brevas de piel negra a morada y pulpa rosa pálida (Figura 2.2A). El tamaño de los frutos de la variedad Black Mission es mediano, lo que constituye un problema ya que sólo una pequeña proporción de la fruta cosechada satisface los actuales requerimientos de higos grandes por parte del mercado de exportación. Esta variedad no requiere polinización, por

lo que cuando se utilizan para secado, los frutos no son tan crujientes y son menos apetecidos en comparación con variedades con semilla. En general, las variedades de piel oscura son más utilizadas como fruta fresca, ya que los higos son frutos muy delicados y que se pardean fácilmente, por lo que la piel oscura ayuda a enmascarar estos problemas.

Otra variedad interesante es Kadota, que produce higos y brevas de piel verde amarillenta y pulpa ámbar a rosa pálido. Es más productiva, precoz y de frutos de mayor calibre que Black Mission (Figura 2.2B), sin embargo, los daños y el pardeamiento son más evidentes por el color de su piel, lo que disminuye su aspecto, vida de postcosecha y precio.



Figura 2.2. Higos de la variedad Black Mission embalados para su comercialización en el mercado nacional (A) y frutos de las variedades Kadota (izq.) y Black Mission (der.) envasados para el mercado de exportación (B).

En Chile la variedad más usada es la Black Mission. Otras variedades introducidas a Chile son: Kadota, Kennedy, Brown Turkey, Brown Ischia, Royal Vineyard, Magdalena y Larga de Burdeos. La Universidad de Chile, en el Campo Experimental Agronómico Las Cardas posee un banco de germoplasma con más de 40 variedades de higuera.

Descripción morfológica

- Descripción de la planta

El hábito de crecimiento la especie es diferente según la variedad, desde árboles muy abiertos y con ramas colgantes o incluso rastreras hasta árboles erectos y compactos, aunque normalmente la higuera se desarrolla como un árbol de copa globosa. Una planta adulta puede alcanzar hasta 10 metros de altura en zonas de condiciones favorables, sin embargo, esto no es deseable del punto de vista comercial, ya que dificulta demasiado el manejo de los huertos.

El sistema radical es fibroso, pero se extiende lateralmente hasta por 15 m. Las raíces incluso pueden penetrar por grietas de rocas, lo que permite que la planta pueda sobrevivir en condiciones muy desfavorables, pudiendo adaptarse a suelos pobres, salinos y pedregosos. Al usar riego localizado las raíces se concentran más

superficialmente (80% entre los 20 y 45 cm). Las raíces son frágiles y de fácil deshidratación, por lo que hay que tener cuidado al plantar (Figura 2.3A).

El tronco es de madera suave y blanda. La epidermis es sensible a excesos de radiación y se agrieta fácilmente, lo que favorece el ataque de patógenos. La base del tronco usualmente se llena de sierpes, los que deben eliminarse constantemente para favorecer el desarrollo del árbol.

La higuera es una planta de hoja caduca (Figura 2.3B), en cuyos brotes presenta una yema terminal vegetativa y de forma cónica a puntiaguda y de menor tamaño que las yemas frutales, que son más redondeadas. Las yemas frutales desarrollarán una inflorescencia llamada sícono y la yema vegetativa dará origen a un nuevo brote con yemas axilares y una yema vegetativa apical.

Las hojas de la higuera son grandes (10-20 cm de largo y ancho), palmeadas y alternas, con pecíolo largo (2-5 cm) y grueso. Presentan abundantes tricomas, lo que le da aspereza al tacto. Estas características hacen que interactúen fuertemente con el viento pudiendo producir daño mecánico a los frutos. Tanto las hojas, como los frutos, brotes y ramas de la higuera presentan látex, el cual puede dañar la piel del fruto y provocar fuerte irritación en la piel humana.

- Biología floral

La higuera es una planta rústica y algunas de sus variedades tienen la particularidad de producir frutos en dos épocas diferentes. Al fruto que madura en verano-otoño se le llama comúnmente higo y corresponde al desarrollo de las yemas frutales en madera de la temporada (Figura 2.4A).

Las yemas frutales que no alcanzan a desarrollarse pasan el invierno en la planta y se desarrollan y crecen en la primavera siguiente para madurar a inicios del verano (frutos en la madera de un año, Figura 2.4B). A éstos frutos se les denomina brevas y, generalmente, son de mayor tamaño que los higos.

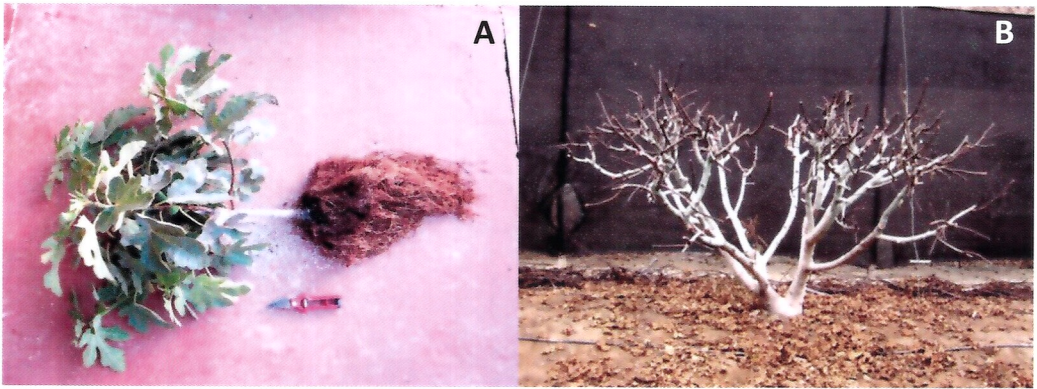


Figura 2.3. Higuera de un año (var. Black Mission) con gran desarrollo de raíces (A) e higuera de 5 años (var. Black Mission) en receso invernal y podada (B).

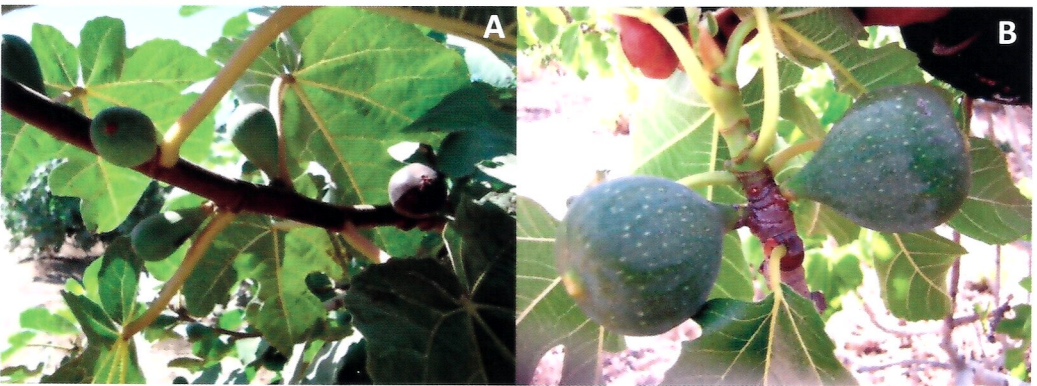


Figura 2.4. Higos creciendo en el brote de la temporada (A) y brevas creciendo en madera de un año, mientras en las axilas del brote nuevo se observan los primeros higos (B).

Las flores, que se producen en forma continua en las axilas de las hojas de los brotes en desarrollo, están dispuestas en una inflorescencia. Originariamente la higuera era una planta monoica que evolucionó a dioica (Sala, 1976).

Las flores de la higuera no se encuentran a la vista, ya que están ubicadas dentro del receptáculo. Este receptáculo, que envuelve tanto a las flores femeninas como a las masculinas, después de la fertilización crece y se vuelve muy carnoso formando el falso fruto o sicono. Durante el desarrollo del fruto se forma una cavidad donde se localizan las flores, y en la parte superior deja una estrecha abertura llamada ostíolo u ojo, tapizada de escamas (Ramos y Vásquez, 1975). En su interior, y ocupando la mayor parte de la cavidad, se ubican las pequeñas flores femeninas; en la entrada superior, cercanas al ostíolo, están las flores masculinas.

Las flores femeninas presentan estambres rudimentarios, mientras que las flores masculinas presentan 3 estambres bien desarrollados y un carpelo atrofiado. Las flores femeninas tienen un perianto de 5 piezas y un carpelo, el que puede tener un estilo largo o corto, según el tipo de higuera, y estigma bifido. Flores con estilo corto son típicas de las cabrahigueras o

higueras masculinas, adaptadas a la entrada y oviposición del microhimenóptero *Blastophaga psenes*, que las poliniza. Las flores femeninas de estilo largo son típicas de las higueras tipo Esmirna, San Pedro y Común, todas con frutos comestibles (Condit, 1947). Las flores femeninas, una vez fertilizadas, se transformarán en pequeños aquenios (frutos verdaderos, secos, indehiscentes, con una sola semilla en su interior que está unida a la pared del ovario en un solo punto; Melgarejo, 1999).

Las “cabrahigueras” se caracterizan por la presencia de flores masculinas y de flores femeninas de pistilo corto (flores no funcionales) en el interior del receptáculo. Estas higueras son usadas como polinizadoras, pues sus frutos no son comestibles. Los higos de este tipo de higuera sirven de hospederos para el ciclo biológico de *Blastophaga psenes*.

Las higueras “Esmirna” tienen flores femeninas de estilo largo que deben ser polinizadas por la avispa para desarrollar sus frutos. Generalmente no producen brevas. Los cultivares de este tipo no son recomendables para plantaciones en Chile ya que no existe el agente polinizante.

Las higueras “San Pedro” necesitan polinización para la producción de higos, pero producen brevas en forma partenocárpica. Generalmente la

producción de brevas es abundante, por lo cual podrían ser recomendables para cultivarlas en Chile con este solo objetivo.

Las higueras "Comunes" pueden producir ambas cosechas (brevas e higos, variedades "Comunes Bíferas" o reflorescientes) o sólo higos (variedades "Comunes Comunes" o uníferas) sin necesidad de polinización. Se han descrito más de 470 cultivares de este tipo. Por otra parte, si estos cultivares son caprificados (polinizados), se puede alterar fuertemente el color de la piel y la pulpa de los frutos, así como incrementar su tamaño. Los cultivares de este tipo de higuera son los más recomendables para las condiciones de Chile ya que pueden producir abundante cosecha de ambos tipos de fruta sin la presencia de la avispa para la polinización.

- Crecimiento y desarrollo del fruto

El fruto o sicono, después de la fecundación, e incluso sin la necesidad de este proceso en higueras partenocárpicas, crece y se hace más caroso, formando el higo o la breva. Los higos se desarrollan en las axilas de las hojas sobre el brote o rama del año, mientras que las brevas se desarrollan sobre las ramas del año anterior (Prataviera y Godoy, 1985).

Las yemas que dan origen a las brevas se inducen y diferencian a fines del verano, cuando las temperaturas declinan y cesa la posibilidad de continuar el desarrollo de los higos; estas yemas frutales se mantienen en reposo durante todo el otoño e invierno, para iniciar su crecimiento a inicios de la nueva primavera y madurar como brevas a inicios del verano. Los higos, en cambio, se inducen, diferencian y crecen entre la primavera y verano, para ser cosechados a fines de ese mismo verano e inicios de otoño. Entre higos y brevas hay, por tanto, sólo una diferencia de tiempo en su desarrollo y maduración, asociado a las condiciones climáticas. Ya que la higuera florece y fructifica en forma continua, desde inicios de primavera hasta casi fines de otoño, es usual observar, en un mismo brote, brevas en madera del año anterior e higos en desarrollo en la rama de la temporada, que madurarán a inicios del otoño, y yemas de higos que no alcanzarán desarrollo, las que producirán la cosecha de brevas del año siguiente. Morfológicamente, tanto higos como brevas presentan diversas formas, tamaños y colores de piel y pulpa (amarillo, verde, negro, morado, marrón, rojizo) que se han tomado como base para definir los descriptores para la clasificación de las variedades. En general, las brevas son

de mayor tamaño que los higos, menos dulces y más jugosas. En un mismo árbol, la cosecha de brevas (primera cosecha) es siempre menos abundante que la de higos (segunda cosecha). Esto se debe a la caída natural de yemas de brevas, y a que el número de yemas florales que queda en latencia por condiciones de temperaturas más bajas u otros factores climáticos es generalmente menor que el número de yemas que logra desarrollarse durante todo el período de crecimiento.

Descripción de los frutos: valor nutritivo y propiedades nutricionales

Los higos y las brevas corresponden a falsos frutos llamados siconos. Los verdaderos frutos son aquenios muy pequeños al interior del sicono (Lavín y Reyes, 2004). Los frutos se pueden caracterizar usando múltiples parámetros tales como: color de la piel

y pulpa, forma del fruto, forma del cuello y del pedúnculo, diámetro del ostiolo, tamaño del fruto, entre otros (Figura 2.5A, B y C).

El higo es muy apreciado por su valor nutricional como fruto fresco o seco y por la alcalinidad y acción laxante que confiere a fármacos de preparación. Los higos son ricos en azúcares y vitaminas, hierro, potasio, fibra y betacaroteno. El fruto también presenta altos contenidos de benzaldehído, agente anticancerígeno, y contiene enzimas y flavonoides que ayudan en el proceso digestivo. En la medicina tradicional mediterránea se recomiendan para el tratamiento de la tos y enfermedades respiratorias. En muchos lugares de Asia el higo es considerado un poderoso afrodisíaco. Por otro lado, el látex de la higuera se emplea para combatir las verrugas. La Tabla 2.1 muestra la composición nutricional de 100 g de higos en fresco.



Figura 2.5. Diferencias en forma, tamaño, color de cáscara y pulpa, tamaño de ostiolo y cavidad interna de higos de las variedades Toulouse (izq.) y Cometa (der.) (A), brevas de la variedad Sauco Morado, de cavidad interna sólida (B) y brevas de la variedad Prasini de cavidad interna hueca (C).

Tabla 2.1. Composición nutricional de 100 gramos de higos (USDA, 2011; U: unidad).

Compuestos	U	U/100 g	Vitaminas	U	U/100 g
Agua	g	79.11	Riboflavina	mg	0.05
Energía	kcal	74	Niacina	mg	0.4
Proteínas	g	0.75	Vitamina B-6	mg	0.113
Lípidos totales	g	0.3	Folato, DFE	µg	6
Carbohidratos	g	19.18	Vitamina B-12	µg	0
Fibra dietética	g	2.9	Vitamina A, RAE	µg	7
Azúcares total	g	16.26	Vitamina A, IU	IU	142
Minerales			Vitamina E	mg	0,05
Calcio	mg	35	Vitamina D (D2 + D3)	µg	0
Hierro	mg	0.37	Vitamina D	IU	0
Magnesio	mg	17	Vitamina K	µg	4.7
Fósforo	mg	14	Lípidos		
Potasio	mg	232	Ác grasos saturados	g	0.06
Sodio	mg	1	Ác grasos monosaturados	g	0.066
Zinc	mg	0.15	Ác grasos poliinsaturados	g	0.144
Vitaminas			Colesterol	mg	0
Vitamina C	mg	2	Otros		
Tiamina	mg	0.06	Cafeína	mg	0

Requerimientos del cultivo

La higuera normalmente es una especie que casi no tiene receso invernal en los climas tropicales o subtropicales, pero que entra en receso en climas donde el invierno es frío, pudiendo soportar temperaturas de hasta -9°C, siempre que no existan periodos cálidos intermedios que determinen una brotación. Si eso sucediera, la madera puede ser muy sensible incluso a heladas no muy intensas (-3°C) las que, bajo estas condiciones, provocan severos daños incluso en la madera. Las distintas

variedades no requieren más de 100 a 400 horas de frío (< 7°C) lo que es bastante bajo comparado con otras especies frutales (Lavín y Reyes, 2004).

La higuera soporta muy bien los calores de verano y es tolerante a la sequía. Sin embargo su producción está directamente relacionada con la disponibilidad de agua durante el ciclo de crecimiento por lo que en zonas áridas o semiáridas deben regarse para cultivarlas comercialmente. La higuera requiere de una alta acumulación térmica durante la primavera y verano para

alcanzar una buena maduración de los frutos y un alto rendimiento (Lavín y Reyes, 2004). La mayor suma térmica estival se relaciona con una mayor velocidad de emisión de nuevos nudos en los brotes fructíferos y, como en cada nuevo nudo se produce un higo, la mayor suma térmica se relaciona con un mayor rendimiento. Esto queda de manifiesto en la Figura 2.6 en la que

se observa una fuerte correlación entre el rendimiento y el peso de los brotes (indicador del largo y cantidad de nudos) para tres variedades de higuera cultivadas bajo condiciones de valle interior (El Palqui; alta suma térmica estival) y costeras (Cerrillos de Tamaya: baja suma térmica estival) de la Región de Coquimbo, Chile.

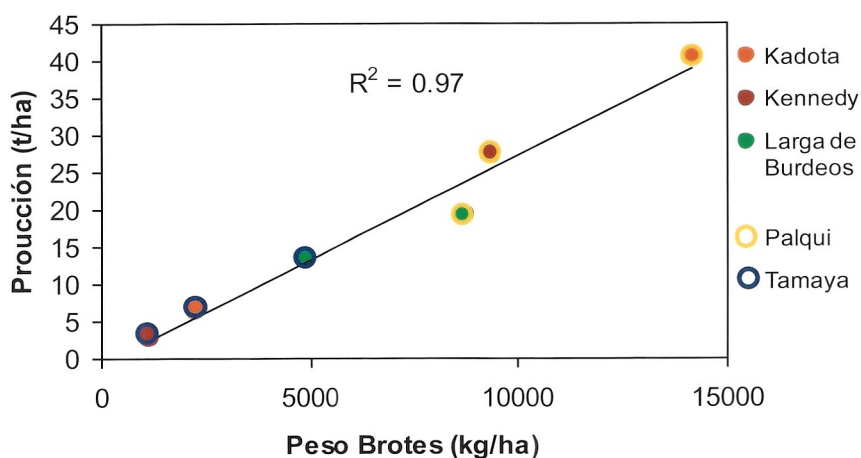


Figura 2.6. Producción de higos en función del peso de los brotes fructíferos para tres variedades de higuera (Kadota, Kennedy y Larga de Burdeos) cultivadas bajo las condiciones de valle interior (El Palqui) y costeras (Cerrillos de Tamaya) en la Región de Coquimbo, Chile. Re-calculado a partir de datos de Botti *et al.* (2003).

La higuera se cultiva en zonas con precipitaciones entre 300 a 1.200 mm anuales, ubicadas entre 300 y 2.800 msnm. Los vientos fuertes pueden ser perjudiciales durante la época de fructificación ya que las hojas (grandes, ásperas y de largo pecíolo),

al moverse con el viento, se frotan con los frutos provocando daños mecánicos en la superficie de estos.

Respecto al suelo, crece mejor en suelos franco-arenosos, profundos, sueltos y fértiles. En los suelos arenosos puede crecer bien siempre

que no existan nemátodos, los que pueden hacer improductivos a los árboles. Es muy sensible a suelos con alto contenido de calcio y boro (Lavín y Reyes, 2004), lo que fue corroborado en los primeros resultados de un ensayo realizado por la Universidad de Chile en el Valle de Lluta, Región de Arica y Parinacota. Se deben evitar los suelos pesados, arcillosos y en exceso húmedos (Soler, 1993) ya que, como la mayoría de las especies adaptadas a zonas áridas y semiáridas, es sensible al anegamiento. La higuera es tolerante a la salinidad del suelo, tolerando conductividades eléctricas de hasta 6 mmohs/cm de conductividad eléctrica en el extracto de suelo saturado (Bernstein, 1980). El rango de pH del suelo ideal para el cultivo de la higuera es de 6,5 a 7,5.

Propagación y plantación

La higuera se propaga por estacas, acodos e injertos, prefiriéndose el primero de los 3 métodos, ya que es una técnica efectiva y sencilla (Soler, 1993). Para esto se deben obtener las estacas de plantas madres durante el invierno, eligiendo ramas bien lignificadas de 1 a 3 años y cortándolas en estacas de 20-30 cm. de largo con al menos 4 nudos. Las estacas deben enterrarse perpendicularmente y se recomienda dejar 2-4 yemas bajo el sustrato y 2-3 yemas sobre éste. El

sustrato ideal para la propagación por estacas es una mezcla de tierra de hojas y perlita o arena (1:1), la que debe estar siempre húmeda, pero no saturada. El proceso de enraizamiento toma entre 25 y 45 días. Es frecuente que el prendimiento de las estacas sea des-uniforme y no todas logren dar origen a una planta, por lo que se recomienda colocar las estacas en bandejas con perlita húmeda y una vez que hayan producido raíces, se llevan a bolsa con la mezcla de tierra de hojas y arena o perlita (Figura 2.7A, B y C).

Otra técnica utilizada para propagar plantas es la micropropagación mediante el cultivo de tejidos, lo que permite obtener grandes cantidades de material clonal, en corto tiempo y con un mayor control sanitario, facilitando además el transporte de material dentro y fuera del país de origen (Flores y Jiménez, 2007).

La plantación del cultivo se realiza con plantas completas provenientes de estacas enraizadas en vivero. Para decidir los marcos de plantación se deben conocer las características de las variedades a establecer ya que, como se mencionó anteriormente, varían mucho en su hábito de crecimiento. También hay que considerar a qué tipo de fruta (higos o brevas) se va a orientar la producción. Los marcos de plantación utilizados van desde 6 x 6

m (278 plantas/ha) hasta 5,5 x 1,8 m (505 y 1.010 plantas/ha) o incluso de 3 x 2 m (1.666 plantas/ha) en plantaciones comerciales en Brasil (Figura 2.8A y B). Estos marcos de plantación a tan alta densidad

evidentemente obligan a mantener árboles más pequeños, con menor cosecha por planta, pero con menores costos de cosecha y producción, y mayor precocidad del huerto.



Figura 2.7. Propagación de higueras por estaca: estacas enterradas en perlita húmeda (A), estacas de higuera con brotes (B) y estaca de higuera con brote y raíces, lista para ser transplantada a bolsa (C).

La preparación del terreno incluye el paso de arado y rastra como para cualquier otro frutal. Si se usan plantas enraizadas en bolsa se recomienda hacer un hoyo un poco más grande que el pan de raíces de la planta de vivero, colocar la fertilización de base, cubrir con un poco de tierra el fertilizante, y luego ubicar la planta. Si se usan plantas a raíz desnuda, el hoyo de plantación debe ser lo suficientemente grande como para que las raíces queden estiradas. Es importante que, al plantar, el suelo esté húmedo y regar inmediatamente después, pues las raíces de la higuera

son sensibles a la deshidratación. La época de plantación dependerá de si el material viene a raíz desnuda o en bolsas. En el primer caso deberá hacerse en período de receso (invierno), antes de la brotación; en el segundo caso puede realizarse en cualquier época, asegurando un correcto aporte hídrico si se realiza en meses de mucho calor. Se recomienda evitar posibles heladas de primavera, ya que los brotes son más sensibles a las bajas temperaturas. Por otro lado, al plantar en pleno verano, el establecimiento de la plantación se ve dificultado.

- Polinización

Como se mencionó anteriormente, en Chile no existe el insecto responsable de la polinización de las higueras, por lo que esta labor, y el uso de algunas variedades de higuera, no aplican bajo las condiciones de nuestro país.

En plantaciones comerciales en lugares donde está presente *Blastophaga psenes*, las higueras tipo

Cabrahiguera son cultivadas separadas de las tipo Esmirna, y en la época de floración se cuelgan 5 frutos de cabrahiguera en cada planta de Esmirna, renovándose cada 2-3 días por 2-3 semanas. Esto se hace para evitar la endosepsis, enfermedad fungosa transmitida por *Blastophaga psenes*, y para evitar la sobre caprificación, la que redundaría en fruta con un excesivo contenido de “semillas” (aquenios).

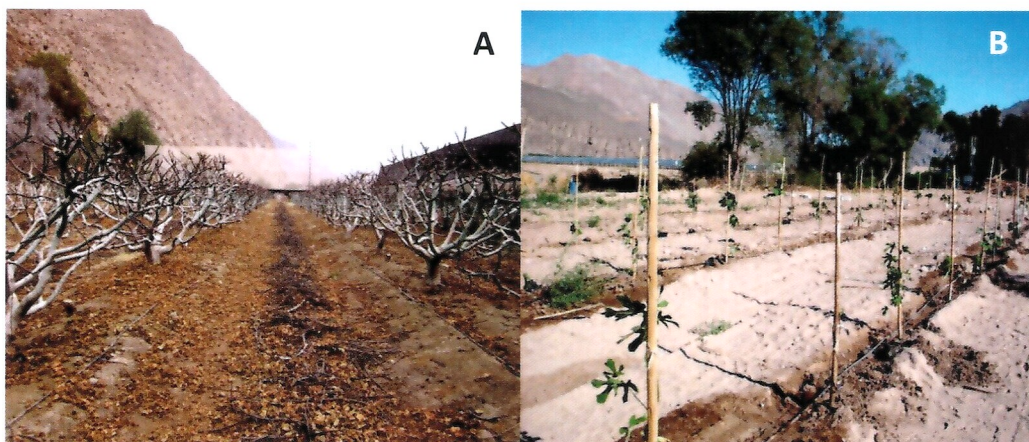


Figura 2.8. Huerto de higueras a baja densidad (6 x 5 m; 333 plantas/ha) en receso invernal en (A), y plantación de higueras a alta densidad (4 x 2 m; 1250 plantas/ha) (B).

Manejo del cultivo

- Poda de Formación

La poda de formación es un manejo clave en los huertos de higuera y puede marcar la diferencia a la hora de evaluar la rentabilidad de proyectos frutícolas en huertos que han sido bien formados y otros que no, ya que la

forma del árbol determina la eficiencia en que se utiliza el espacio y la facilidad para realizar la cosecha. Quienes no conocen el hábito de fructificación y no han estado en huertos de higuera bien manejados, asocian la producción de higos a los árboles de jardines de casas, muy comunes en Chile, los que no son

podados y alcanzan alturas de más de 6 metros. Estos árboles son prácticamente inmanejables comercialmente, producen la fruta muy arriba y tiene una gran cantidad de madera improductiva. Así, los objetivos de la poda de formación y producción son generar plantas de una altura y forma apropiada que faciliten las labores generales de terreno y, en particular, la cosecha.

La higuera usualmente se forma como un vaso abierto. Para esto hay que rebajar el eje central en invierno a 40-50 cm para inducir la formación de ramas madres. Al llegar la primavera, serán muchos los brotes que aparezcan a lo largo del eje. De ellos, se deben escoger 3 o 4 brotes, separados 5 a 10 cm uno de otro y ubicados de tal manera que formen una copa equilibrada (Figura 2.9A). Estos brotes serán las ramas madre primarias (RM1). Eventualmente, si las plantas vienen ramificadas desde vivero, se pueden conservar esas ramificaciones y utilizarlas como ramas madre. Producto del crecimiento y desarrollo de las ramas madres habrá una pequeña producción de fruta el primer año.

En la segunda temporada la poda considera rebajar las RM1 a 15-25 cm de largo (Figura 2.9B y C), para dar paso a la formación de las ramas madres secundarias (RM2), labor que se realiza en invierno. Es importante

realizar el corte en un punto donde al menos 1 yema esté ubicada lateralmente en el sentido de crecimiento de la RM1, ya que los brotes que producirán esas yemas generalmente siguen el mismo sentido de crecimiento y son ideales para seguir formando la planta. Cuando la yema terminal, luego de la poda, está en posición inferior, generalmente no brota o el brote o es poco vigoroso, mientras que si está en posición superior, es demasiado vigoroso y erecto, transformándose en un chupón.

En cada RM1 se deben seleccionar dos o tres brotes que estén bien distribuidos de modo de asegurar una óptima utilización del espacio (Figura 2.10A), los que también producirán fruta en verano. El árbol se debe inducir a crecer en altura y hacia fuera, de modo que adopte la forma de un vaso abierto.

En la tercera temporada se deben rebajar las RM2 usando el mismo criterio que se aplicó con las RM1 (Figura 2.10B y C) y, posteriormente, seleccionar dos o tres brotes por RM2 (Figura 2.10D). Estos brotes producirán fruta en verano y, en invierno, se deben podar empleando la misma regla, generándose así las ramas madres terciarias (RM3) y terminando con la formación de la estructura definitiva de la planta (Figura 2.10E y F).

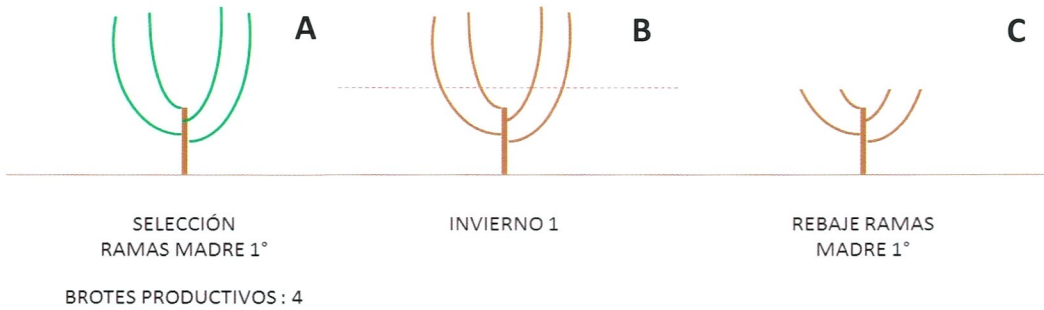


Figura 2.9. Selección de 4 brotes productivos (A); rebaje de brotes productivos en invierno (B); y ramas madre resultantes de la primera poda de invierno (C).

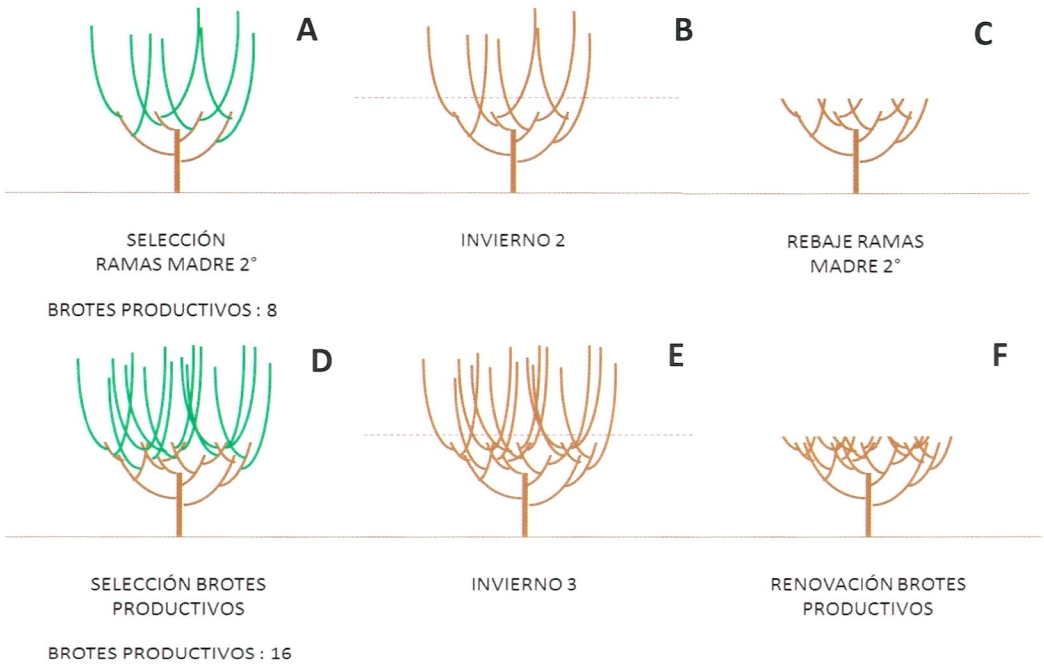


Figura 2.10. Selección de 2 brotes productivos por rama madre primaria (A); rebaje de brotes productivos en invierno (B) y ramas madre secundarias resultantes de la segunda poda de invierno (C); y Selección de 2 brotes productivos por rama madre secundaria (D); rebaje de brotes productivos en invierno (E) y ramas madre terciarias resultantes de la tercera poda de invierno (F).

Como regla general, en la poda de la higuera hay que tener en cuenta que las ramas madre (RM) deben tener al menos 3 yemas, y si esto no se cumple en los primeros 25 cm, se deberá podar dejando RM más largas. Además, al momento de podar las RM, deben tener al menos 1 cm de diámetro. Finalmente, luego de seleccionar los brotes productivos (que serán RM a partir del invierno próximo), se deben eliminar periódicamente el resto de los brotes que vayan apareciendo y los sierpes, ya que competirán fuertemente con el desarrollo de los brotes seleccionados que formarán la estructura de la planta.

- Sistemas de Conducción

Para la producción de higos se busca propiciar la formación de plantas pequeñas que puedan cosecharse sin requerir de escaleras (Figura 2.11). En dicha línea, actualmente se están probando nuevos sistemas de formación tipo espalderas (Figura 2.12A), con ramas estructurales a muy baja altura. Su objetivo es generar brotes productivos a baja altura, a los cuales se pueda acceder sin la necesidad de escaleras (Figura 2.12B), lo que aumenta la eficiencia de la cosecha en comparación con huertos tradicionales (Figura 2.13A).



Figura 2.11. Huerto de higueras en alta densidad con plantas de baja estatura que se cosechan sin la necesidad de usar escaleras en Tambillos, Región de Coquimbo, Chile.

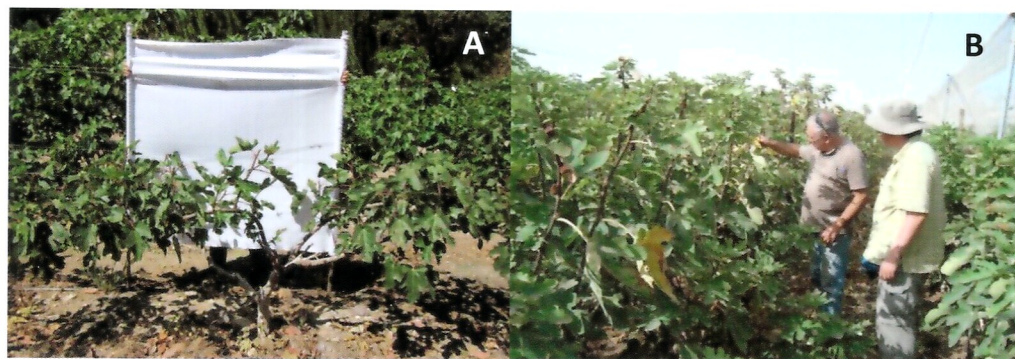


Figura 2.12. Higueras en formación y conducidas en espaldera en Chile (A) e higueras adultas conducidas en espaldera en Israel (B).

El uso de alambres permite distribuir los brotes productivos en la sobre hilera, generándose verdaderos setos de producción de higos (Figura 2.13B).

Esto permite el uso de densidades de plantación súper-intensivas, lo que favorece la entrada en producción del huerto.



Figura 2.13. Huerto tradicional de higueras en noviembre. Los brotes tuvieron 2 m de largo y las ramas madre estaban a 1,5 mts, por lo que fue necesario usar escalera para cosechar (A). Higueras en espaldera en Israel: detalle de ramas madre, sistema pitón-cargador y alambres, lo que permite generar brotes productivos a baja altura (B).

- Poda de Producción

En árboles en plena producción, la poda de la higuera implica una

renovación de la madera productiva ya que la higuera produce la fruta (higos) en los brotes de la temporada.

En consecuencia, para la producción de higos, se utiliza un sistema de producción de pitón-cargador (Figura 2.14A y B), donde los brotes que produjeron la temporada anterior se rebajan a 2 o 3 yemas (pitón), de las cuales brota al menos una, generando lo que será el brote productivo de la siguiente temporada (cargador; Figura 2.14C). La cantidad de cargadores por planta y yemas por cargador se determina fijando la cantidad de brotes por hectárea requeridos para obtener una adecuada producción.

En zonas de altas temperaturas, el desarrollo de los higos se acelera, generándose varias cohortes de frutos que crecen al mismo tiempo sobre el brote. La competencia entre dichos frutos y entre los frutos y el

crecimiento del brote, redundan en el aborto de higos y en un menor tamaño de estos. Una labor que permite reducir la competencia entre los frutos y el brote en crecimiento es el despunte. Dicha labor se puede realizar sobre la yema que porta el último higo que, según los registros históricos del huerto, alcanza a madurar en otoño, antes del reeso invernal. El despunte también puede realizarse algunos nudos más abajo ya que los últimos frutos en madurar en otoño no alcanzan un tamaño suficiente como para cumplir con los requerimientos del mercado. En la Figura 2.15 se muestran los resultados productivos de dos tipos de despunte de brote obtenidos en la localidad de Paihuano, Chile.

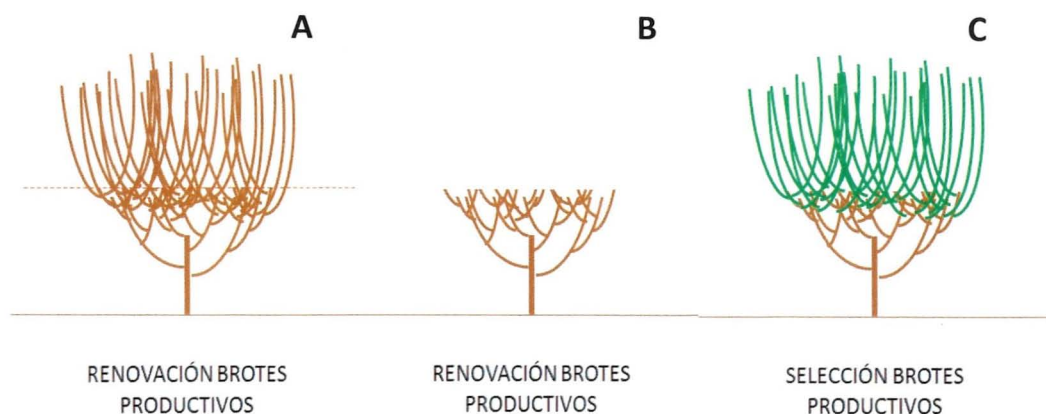


Figura 2.14. Higuera con brotes productivos (de la temporada) en invierno (A); poda de dichos brotes en forma de pitones con dos o tres yemas (B); y planta con nuevos brotes productivos que se seleccionan en la primavera siguiente entre aquellos que se generaron a partir de las yemas de los pitones (C).

A mayor intensidad de despunte (nudo 12) se incrementa el peso promedio de los frutos en las primeras semanas de cosecha y en los nudos basales del brote (Figura 2.15 A y C). Esto se traduce en un mayor rendimiento en dichas condiciones. A pesar que el despunte reduce la cantidad de nudos productivos

(Figura 2.15 B y D), el aumento del peso individual de los frutos compensa dicha reducción en el número de frutos cosechados, por lo que el rendimiento se mantiene (Tabla 2.2). En resumidas cuentas, el despunte permite incrementar el tamaño y peso promedio de los frutos, sin afectar el rendimiento (Tabla 2.2).

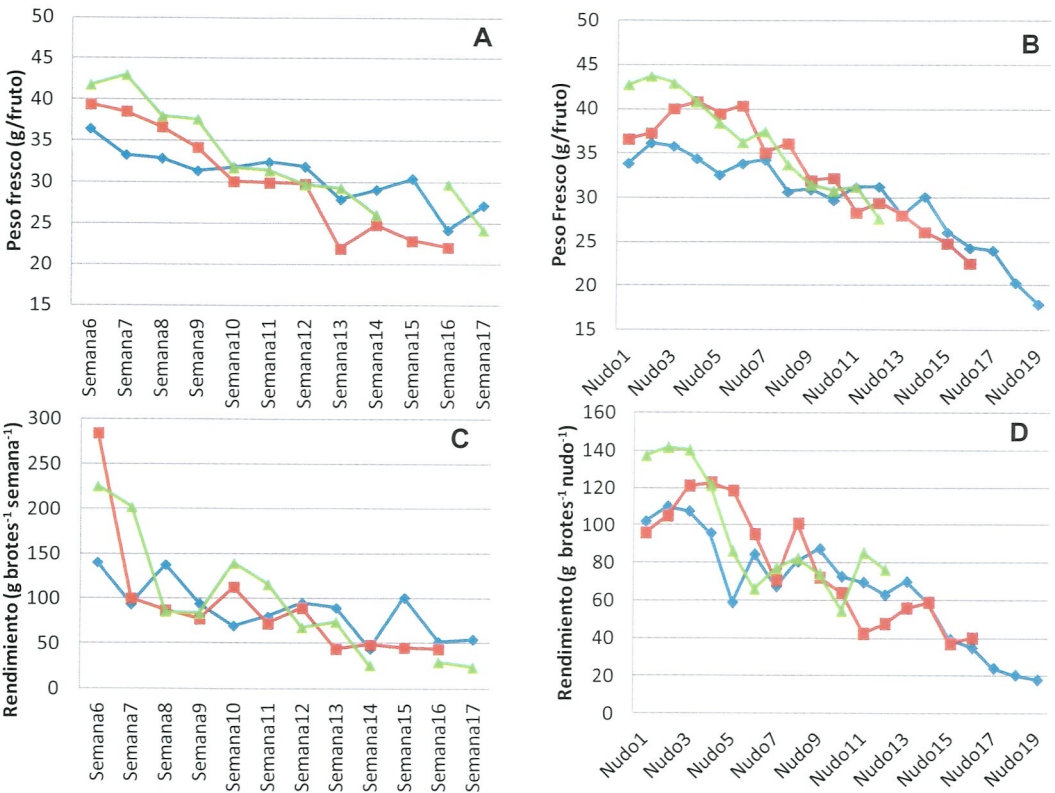


Figura 2.15. Efecto del despunte de brotes sobre el nudo 12 (verde), 16 (rojo) y sin despunte (celeste) sobre el peso fresco de los frutos (A y B) y el rendimiento de cuatro brotes (C y D) en función de la semana de cosecha (A y C) y el nudo sobre el brote (B y D; nudo 1 = nudo basal) de higueras cv. Black Mission cultivadas en la localidad de Paihuano, Región de Coquimbo, Chile.

Para producir brevas, que se producen en la madera de un año, no hay que podar en invierno, ya que los frutos estarán en los ápices de los brotes (2 a 3 nudos terminales). Pensando en el ejemplo de poda de formación expuesto anteriormente, lo que se debería hacer en el caso de querer producir brevas es rebajar las ramas madre en verano, después de cosecha las brevas, lo que producirá un retraso en la maduración de los higos. Otra alternativa para el caso de la producción de brevas es realizar un despunte de los brotes productivos en primavera (cuando el brote tiene unos 10 cm de largo). Esta labor permite (i) disminuir la competencia entre el brote y las brevas, reduciendo el aborto de brevas y favoreciendo su crecimiento, (ii) estimular la

ramificación del brote al eliminar la dominancia apical (esto genera una mayor cantidad de ápices para la producción de brevas en la temporada siguiente) y (iii) reducir el tamaño de la planta. Cabe señalar que al realizar este despunte, se castiga la producción de higos. Inevitablemente, al producir brevas, se generan plantas más grandes que, eventualmente, deberán ser rejuvenecidas. Esta labor consiste en rebajar la planta con podas a nivel de las ramas madres. Debido a que esta poda genera una pérdida significativa en la producción de brevas, se puede hacer escalonadamente, comenzando, por ejemplo, con la mitad o un tercio de la planta un año y siguiendo con el resto de la planta en los años siguientes, hasta rebajar la copa completa.

Tabla 2.2. Efecto del despunte de brotes sobre el nudo 12, 16 y sin despunte (testigo) sobre el diámetro ecuatorial, el peso fresco de los frutos, la producción de los brotes y el rendimiento de higos cv. Black Mission cultivadas en la localidad de Paihuano, Región de Coquimbo, Chile. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $\alpha < 0,05$).

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso fresco (g/fruto)	Producción (g/brote)	Rendimiento (kg/planta)
Testigo	3.75a	32.0a	276.6a	48.2a
16 nudos	3.85a	34.3b	302.2a	47.8a
12 nudos	4.03b	37.1c	280.9a	43.7a

- Raleo

En el caso de la higuera no se hace un raleo de fruta propiamente tal, pero sí se ha probado aplicar despuntes de brotes para aumentar el calibre de los frutos (Figura 2.15, Tabla 2.1). Lo que se debe considerar en este caso es la cantidad de frutos que alcanzan a madurar en un brote sin despuntar, y en base a ese número de frutos se toma la decisión de despunte. Idealmente esta práctica se debe realizar con poda mecánica, para lo cual se necesitan huertos uniformes.

- Riego

En algunos lugares del mundo, y bajo condiciones específicas, la higuera puede producir fruta sin la necesidad de riego, pero la cosecha será reducida y la fruta de menor calidad. En un sector del banco de germoplasma del Campo Experimental Agronómico Las Cardas (pluviometría de aproximadamente 100 mm/año) que se encuentra sin riego, las plantas de higuera brotan en septiembre, producen brevas en diciembre y en enero comienzan a botar las hojas, pero la producción es marginal.

La cantidad de agua requerida por la higuera, así como los momentos de riego, dependerán de la edad de los árboles, la variedad, el clima y el tipo de suelo. Se señala que un huerto adulto de higueras debería recibir alrededor de 600 a 700 mm de agua

por año (Melgarejo, 1996). En huertos comerciales plantados en Chile, en la Región de Coquimbo, la cantidad de agua aplicada varía, según la ubicación, desde 2.800 m³/ha en zonas costeras hasta 5.000 m³/ha en partes altas del Valle del Elqui.

En zonas muy áridas es necesario regar a salidas de invierno para asegurar una buena partida del crecimiento anual a comienzos de la primavera. Durante la primavera y el verano el riego es fundamental para asegurar el desarrollo de los brotes y, por ende, un buen crecimiento y madurez de los frutos. Algunos autores señalan que se necesitan al menos 15 a 20 cm de crecimiento de brotes para producir una buena cosecha, normalmente cada brote tendrá 5 frutos. Un exceso de agua durante el verano puede hacer que se reanude el crecimiento de los brotes en detrimento de la fruta, afectando la cantidad y calidad de la cosecha (Lavín y Reyes, 2004). Cabe recalcar que la higuera es una planta muy vigorosa que responde rápidamente al riego, aumentando su crecimiento vegetativo. Un excesivo riego durante el período de crecimiento de brevas e higos puede resultar en una fuerte competencia del crecimiento vegetativo con los frutos, produciéndose el aborto de estos últimos. En huertos comerciales de la Región de Coquimbo, los brotes

pueden alcanzar un largo de 50 a 200 cm y una producción de 8 a 16 frutos, siendo el largo del brote y la producción de frutos mayor en valles interiores que en sectores costeros (Botti *et al.*, 2003).

En el marco del proyecto FIA PYT-2008-0216, la Universidad de Chile realizó un ensayo durante dos temporadas para evaluar la tolerancia a la sequía en plantas de higuera de la variedad Black Mission. Las higueras fueron establecidas en macetas de 1 m³ en una mezcla de suelo con tierra de hoja y se regaron durante primavera. En pleno verano se aplicó una sequía (interrupción del riego en ausencia de precipitaciones) de 35 días a la mitad de las plantas, manteniendo la otra mitad con un riego adecuado. Se utilizó una sonda Diviner para determinar el contenido de agua en el suelo y se cubrió la superficie del suelo con un plástico para evitar pérdidas de agua por evaporación. Periódicamente se evaluaron las respuestas fisiológicas y morfológicas de las plantas. Luego de 15 días de sequía, con una humedad del suelo bajo el punto de marchitez permanente, se observó que las plantas empezaron a perder sus hojas, lo que se tradujo en una rápida reducción de la transpiración (Figura 2.16A y B). Transcurridos 36 días sin riego, la conductancia estomática, y por ende la tasa transpiratoria

instantánea y la fotosíntesis, se redujeron en más de un 90% en relación a plantas bien regadas. El área foliar se redujo en proporciones similares. Esto se tradujo en una drástica reducción de la transpiración y consiguiente consumo de agua de las plantas. Al cabo de los 36 días se repuso el riego a las plantas sometidas a sequía y estas rebrotaron a inicios de otoño y se mantuvieron con hojas casi todo el invierno, pero no alcanzaron a producir fruta.

- Nutrición mineral

Una fertilización adecuada para la higuera debe suplir las carencias del suelo, pero también debe asegurar que no se aplique fertilizantes en exceso. Por lo tanto, los fertilizantes a aplicar y sus cantidades dependerán de las condiciones bajo las cuales estén creciendo las plantas. En general, para plantas adultas, se recomienda aplicar 290 g de nitrógeno, 210 g de fósforo y 230 g de potasio por planta; en plantas nuevas se recomienda aplicar 15,6 g de nitrógeno, 16,2 g de fósforo y 28,4 g de potasio por planta y para plantas de 2 años 32 g de nitrógeno, 28 g de fósforo y 38 g de potasio por planta. En huertos comerciales en Chile se usan dosis referenciales de nitrógeno, fósforo y potasio de 80-100/50-60/200, las que varían según la fertilidad basal de cada suelo.

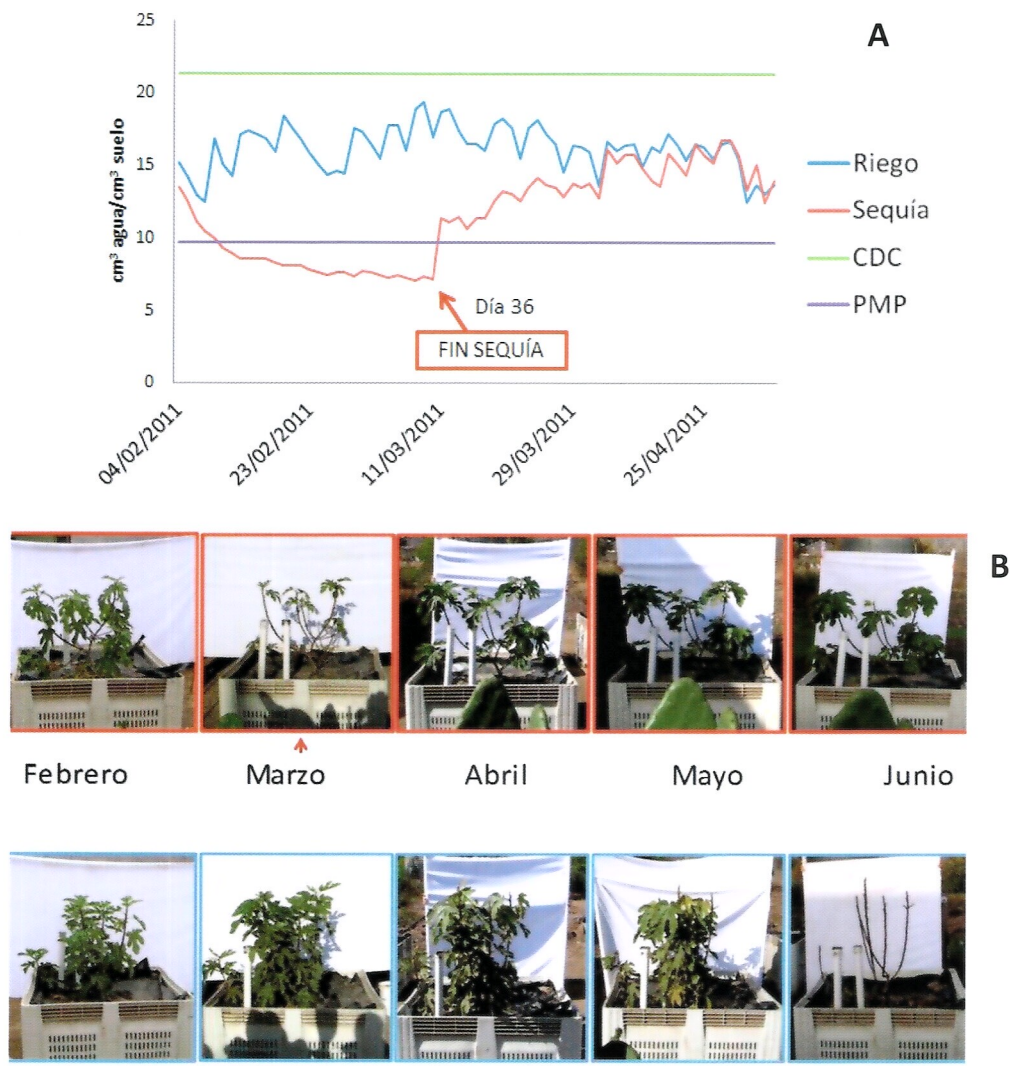


Figura 2.16. Evolución estacional del contenido de agua del suelo de higueras sometidas a 36 días de sequía estival (interrupción del riego; rojo) y regadas (azul); la línea horizontal verde indica el contenido de agua a capacidad de campo (CDC) y la línea horizontal morada el contenido de agua en el punto de marchitez permanente (PMP) (A) y efecto de dichos contenidos de agua sobre la evolución de la cobertura foliar y el crecimiento de los brotes para el tratamiento de sequía (arriba) y riego (abajo) a lo largo de la temporada; la flecha roja indica el momento en que se repuso el riego (B).

Plagas y enfermedades

El thrips daña a los frutos en su fase inicial, causando un russet que afecta sensiblemente la apariencia y calidad del fruto maduro (Figura 2.17A). Además, acarrea hongos hacia el interior de los frutos causando pudrición interna.

Las arañitas atacan hojas y frutos, causando manchas e incluso la defoliación. Entran en los frutos y atraen a ácaros, depredadores y thrips que, a su vez, atraen a hongos que producen pudriciones internas.

Escamas y conchuelas atacan el follaje, reduciendo la superficie fotosintéticamente activa y además pueden producir daños cosméticos en frutos. También producen una pérdida de vigor de la planta y enaniza los frutos.

Los hongos *Armillaria mellea* y *Phytophthora sp* (hongos de la raíz) penetran por heridas en ramas y troncos formando canchales que debilitan las ramas afectadas. *Phomopsis sp* penetra por heridas invernales en frutos y hojas pudiendo causar la muerte regresiva de los brotes. Además puede infectar frutos mostrando daño en almacenamiento.

Los pájaros también constituyen una de las principales plagas de la higuera, especialmente en las brevas, ya que se alimentan de ellas cuando están maduras. Además, en la fecha en que

maduran las brevas existen pocos frutales con fruta madura, por lo que constituyen casi la única alternativa de alimentación. Para esto se recomienda cosechar un poco antes de la madurez.

Un problema generalizado en las higueras de Chile y el mundo son los virus que se traducen en manchas cloróticas tipo mosaico en hojas y, en casos severos, también en frutos (Figura 2.17B). En Chile se ha reportado la presencia de siete virus que afectan a la higuera. En una prospección de 120 muestras provenientes de cuatro regiones de Chile por Ubidia *et al.* (2013), el virus detectado con mayor frecuencia fue FBV-1, con 100 muestras positivas (84,03%), seguido por FMV, que se encontró en 83 muestras (69,75%), FLMaV-1 en 74 muestras (62,18%), FMaV en 25 muestras (21,01%), FLMaV-2 en 13 (10,92%), AFCV-2 en 9 (7,56%) y FFkaV en 4 muestras (3,36%).

Cosecha

La producción se inicia el primer año, aunque es sólo una muestra, mientras que la plena producción se puede alcanzar al 4° año. Lavín y Reyes (2004) señalan que un árbol adulto puede producir entre 50 y 70 kg fruta por año. La maduración de los frutos es prolongada y se puede extender por 2 meses o más

dependiendo principalmente de las condiciones climáticas, ya que en cada metámero (unidad básica del brote consistente en un nudo, una hoja y una yema) es posible tener un fruto. Por ello es necesario cosechar continuamente durante el período de maduración de los higos para evitar la sobre-maduración de la fruta. Los higos son frutos delicados, lo que se debe tener en cuenta en la recolección (Soler, 1993). La cosecha de brevas, por su parte, es más concentrada y se realiza durante diciembre. En Chile la cosecha de higos se extiende desde

marzo a mayo en sectores costeros de la Región de Coquimbo y Región Metropolitana, mientras que, en condiciones interiores del Valle del Elqui, la fruta puede comenzar a madurar a mediados de enero y la cosecha prolongarse hasta el mes de junio. Los rendimientos de huertos adultos de higuera van desde las 5 a las 20 toneladas de brevas por hectárea y 12-30 toneladas de higos por hectárea, dependiendo de la variedad, las condiciones climáticas y si la producción está orientada a higos o brevas.



Figura 2.17. Daño por thrips (izquierda y arriba) y por ramaleo (derecha) en un higo cv. Kadota (A) y síntomas de virosis en frutos de higuera cv. Kadota severamente afectada por virus (B).

El fruto no se desprende naturalmente hasta que esta sobremaduro, por lo que hay que sacarlo a mano y con mucho cuidado,

ya que es un fruto blando y muy delicado. Al momento de su máximo aroma y sabor el fruto todavía se encuentra fuertemente adherido al

brote. Además, la higuera desprende látex cuando las hojas, frutos o ramas presentan cortes, el cual puede causar irritaciones en la piel, por lo que al cosechar se recomienda el uso de guantes (Figura 2.18A). El látex también provoca daños en el fruto, por lo que luego de cosecharlos se deben sacudir suavemente para evitar que el látex entre en contacto con la epidermis del fruto. Por otra parte, la epidermis del fruto es muy delicada, con pruina, pero sin ceras protectoras, por lo que debe manipularse cuidadosamente, depositando los frutos cosechados en canastos o en bandejas acolchadas en una sola capa ya que los daños mecánicos rápidamente se traducen en pardeamiento, sobretodo en variedades de piel clara. También hay que evitar la incidencia de radiación directa del sol sobre la fruta cosechada, por lo que contar con un sector protegido donde dejar la fruta previo a llevarla a la sala embalaje ("packing") es fundamental (Figura 2.18B).

El índice de cosecha utilizado es la disminución de la firmeza del fruto, sumado a la aparición de la coloración que desarrollan los higos a madurez (frutos "pintones"). A fines de temporada hay higos que, si bien alcanzan el color requerido para su cosecha, su firmeza no disminuye y son insípidos (Figura 2.18C).

Manejo de post-cosecha

- Almacenamiento y transporte

Los higos y las brevas son frutos que tiene una corta vida de postcosecha, por lo que las decisiones que se tomen a partir de la cosecha deben ser adecuadas al destino que se le quiera dar a la fruta. Respecto a la temperatura y humedad relativa de almacenamiento, diversos autores señalan que el ideal es conservar los frutos a 0°C y 90% de H.R., pudiendo llegar hasta los 15 días de almacenaje. Además, el uso de atmósferas modificadas, en las que se aumenta la concentración de CO₂ y se reduce la de O₂ (combinaciones 3% y 3%; 5% y 5%; 15% y 5% respectivamente de CO₂ y O₂), permite aumentar en una semana la vida útil de los frutos, ya que se disminuye la tasa respiratoria, la incidencia de pudriciones y se mantiene por más tiempo la apariencia de los frutos (Berger y Galleti, 2000, Colelli y Kader, 1994, Colelli *et al*, 1991; Türk *et al.*, 1994).

Otros usos

Ya que los higos son frutos con una reducida vida de postcosecha, la posibilidad de desarrollar productos agroindustriales que permitan extender los tiempos de comercialización y, además, agregar valor, resulta una alternativa atractiva. En los países en que está presente el

insecto que poliniza los higos, el secado de los frutos es ampliamente utilizado, ya que la polinización favorece el tamaño del fruto y la producción de semillas viables, lo que determina que los higos sean crocantes. En Chile se utilizan los

frutos para hacer mermeladas, tortas, deshidratados (higos secos) y conservas, alcanzando precios interesantes. Además, se usan para secado y para elaborar tortas, pero la calidad del producto es reducida y heterogénea.



Figura 2.18. Cosecha de higos usando guantes y bandeja (A), sector de acopio de la fruta protegido con malla de sombra (B) e higos que no alcanzaron a madurar (C).

Perspectivas a futuro

Durante los últimos años las exportaciones de higos al extranjero han aumentado progresivamente, ya que los precios han sido satisfactorios, tanto en el mercado del Reino Unido como en el de otros países de Europa y en Canadá. Hace dos años se permitió el ingreso de higos chilenos al mercado estadounidense, lo que ha favorecido el aumento de las exportaciones. Sin embargo, se requiere la fumigación con bromuro de metilo de la fruta, lo que afecta negativamente la condición de los

higos. Actualmente se están haciendo gestiones para aplicar el bromuro de metilo en destino, lo que ayudaría a prolongar la condición de los higos por algunos días. Se prevé que la demanda de higos chilenos desde Estados Unidos y Europa siga en aumento durante los próximos años sin embargo los envíos de la temporada 2012-2013 fueron un poco menores a los de la temporada anterior, lo que probablemente estuvo relacionado con los problemas de sequía que ha sufrido la zona productora en Chile.

LITERATURA CITADA

- Berger, H. y Galletti, L. 2000. Estudio de postcosecha realizado en Chile para la exportación de higos. 170-181. En: (ed. C. Botti) Cultivos Frutales para Zonas Áridas. Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 232 p.
- Bernstein, L. 1980. Salt tolerance of fruit crops. United States Department of Agriculture Agriculture, Information Bulletin N° 292.8 p.
- Botti, C., Franck, N., Prat, L., Ioannidis, D., y Morales, B. 2003. The effect of climatic conditions on fresh fig fruit yield, quality and type of crop. *Acta Horticulturae* 605: 37-42.
- Botti, C., coautores: Carrasco, O., B. Escobar, A.M. Estévez, N. Franck, D. Osses y L. Prat. 2001. La Higuera (*Ficus carica* L.). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Colelli, G. y A.A. Kader. 1994. CO₂ - Enriched atmospheres reduce postharvest decay and maintain good quality in highly perishable fruits. Estados Unidos.
- Colelli, G., F.G. Mitchell y A.A. Kader. 1991. Extension of Postharvest Life of "Mission" Figs by CO₂ - enriched Atmospheres. Estados Unidos.
- Condit, I.J. 1947. The Fig. Crónica Botanica. Estados Unidos.
- Flores, D. y V. Jiménez. 2007. Desarrollo del cultivo del higo (*Ficus carica*) para consumo fresco y procesado, como una alternativa de diversificación para el sector agrícola. Costa Rica.
- Lavín, A. y M. Reyes. 2004. Frutales: Especies con potencial en el secano interior. Higuera (*Ficus carica* L.). Boletín INIA n°120 capítulo 4, p. 81-94. Chile.
- Melgarejo, P. 1996. La Higuera (*Ficus carica* L.). España.
- Melgarejo, P. 1999. El cultivo de la higuera (*Ficus carica* L.). España.
- Prataviera, A.G. y R.A. Godoy. 1985. El cultivo de la higuera. Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuarias, Centro Regional Catamarca, La Rioja, Argentina.

- Ramos, J. y D. Vásquez. 1975. La Higuera. Hojas divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Madrid, España.
- Soler, R. 1993. Fruticultura moderna. Imp. Albatros. Buenos Aires, Argentina. 294p.
- Turk, R., Eris, A., Ozer, M.H., Tuncelli, E. and Henze, J. 1994. Research on the Ca storage of fig cv. Bursa Siyahi. *Acta-Horticulturae*, N°368, 830-839.
- Ubidia, P., Zamorano, A., Franck, N., Fiore, N. 2013. Virus que infectan a la higuera (*Ficus carica* L.) en Chile. p O.31. In: Libro de Resúmenes. 64° Congreso Sociedad Agronómica de Chile. XXII Congreso Chileno de Fitopatología. Viña del Mar, Chile. 23-26 Septiembre, 2013. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Viña del Mar, Chile.
- USDA. 2011. USDA National Nutrient Database for standard reference. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/>. Leído en Julio de 2014.

Capítulo 3

LA TUNA

(Opuntia ficus-indica L. Mill)

VALENTINA VESELY Y NICOLÁS FRANCK

Origen y distribución geográfica actual del cultivo

La tuna, *Opuntia ficus-indica*, es la especie cactácea con mayor importancia económica en el mundo (Kiesling, 1999). Perteneció a la familia *Cactaceae*, endémica del continente americano, y se desarrolla principalmente en regiones áridas y semiáridas (Flores *et al.*, 1995). El centro primitivo de diferenciación de las cactáceas fue el Golfo de México y el Caribe, desde donde emigraron para constituir las dos zonas geográficas actuales: América del Norte y América del Sur. Originaria de América tropical, en el siglo XVIII los navegantes la distribuyeron a gran parte del mundo, siendo actualmente cultivada en América, África, Asia, Europa y Oceanía (Barbera *et al.*, 1992).

Las *Opuntias* son nativas de diversos medioambientes, desde zonas bajo el nivel del mar en los desiertos de California hasta elevaciones por sobre los 4700 m en las montañas de Perú; desde regiones tropicales de México, donde las temperaturas se encuentran siempre por sobre los 5°C, a regiones en Canadá que alcanzan temperaturas que descienden por debajo de los 0°C cada invierno (Nobel, 1988; Nobel 1994). Sus características han permitido la adaptación a zonas áridas, con lluvias esporádicas y suelos pobres expuestos a la erosión. Esta diversidad ecológica sugiere una amplia variabilidad dentro del género,

el cual tiene alrededor de 170 especies (Nobel, 2001).

Opuntia ficus-indica, especie de metabolismo CAM domesticada en México (Bravo, 1978; Griffith, 2004), donde se encuentra la mayor riqueza de cultivares tradicionales (Benson y Walkington, 1965; Bravo, 1978), actualmente se produce en 32 países, en cuya mayoría el fruto es un producto secundario de la producción de forraje o de plantaciones orientadas a la conservación de suelos. En muchos países las plantaciones con fines frutícolas corresponden a superficies pequeñas, por lo que los frutos son consumidos localmente y no participan en el mercado mundial de exportación. Entre los países productores de fruta de *Opuntias* destacan México, Túnez, Argentina, Italia, Sudáfrica, Chile, Israel y EE.UU. (Álvarez, 2007).

Clasificación Taxonómica

La taxonomía de las tunas es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre las que destaca el hecho de que los fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales. Además, es frecuente encontrar casos de poliploidía, ya que se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos inter-específicos, lo que complica más su clasificación (Sáenz, 2006a).

En su forma silvestre (sin espinas) de la que se obtuvieron los cultivares frutícolas *Opuntia ficus-indica*, fue descrita como *Opuntia megacantha* Salm-Dick (Kiesling, 1999). Muchos otros nombres específicos de las series *Streptacanthae* y *Ficus-indicae* (Britton & Rose, 1919) corresponden a variaciones morfológicas menores de *Opuntia megacantha*. Benson (1982) considera *O. megacantha* como sinónimo de *O. ficus-indica*, mencionándola como la “forma con espinas”, pero sin distinguirla a nivel de variedad ni de forma. Varios otros autores siguen este criterio.

Uno de los pocos autores que considera bajo *O. ficus-indica* sólo a la forma inerme, es Bravo (1978), utilizando criterios exclusivamente morfológicos y no biológicos. En la misma publicación el autor diferencia seis “variedades frutícolas” de *O. ficus-indica*, basándose, principalmente, en características de los frutos. También Scheinvar (1995) distingue como especies separadas a *O. ficus-indica*, *O. streptacantha* y *O. amyclaea*; sin embargo, también considera que *O. ficus-indica* es una forma frutícola originada de *O. streptacantha* y que distinguirlas a nivel específico es conveniente por razones prácticas.

No obstante estos desacuerdos y diferencias, puede acordarse de que la nomenclatura científica de la tuna es la siguiente: reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, clase: *Magnoliopsida*,

La tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.)

orden: *Caryophyllales*, familia: *Cactaceae*, tribu: *Opuntiae*, género *Opuntia*, especie *ficus-indica*.

Dentro del género *Opuntia* existen distintas especies y variedades destinadas a la producción de tunas, en tanto que otras se destinan a la producción de forraje, biomasa para producción de energía, o cochinilla del carmín (*Dactylopius cacti* Costa) para obtener un tinte rojo que se utiliza como colorante desde la antigüedad.

De acuerdo a Sudzuki *et al.* (1993), dentro del género *Opuntia* se encuentra el subgénero *Opuntia*, el que incluye numerosas especies de las cuales, en Chile, se cultiva exclusivamente *Opuntia ficus-indica*, de frutos verdes. Nobel (2001), señala que el género *Opuntia* tiene alrededor de 170 especies; este capítulo está enfocado únicamente en *Opuntia ficus-indica*.

Las tunas reciben distintos nombres según el país en que se encuentren, y es México el país que registra la mayor cantidad de nombres comunes para *O. ficus-indica*, aunque el más común es *nopal*. El nombre original de la tuna en lengua náhuatl es *nochtli*. Los españoles la rebautizaron con el nombre de chumbera y la fruta como higo de Indias. En Italia se le conoce como *fico d'India*, *figo morisca* y *figo della barbarie*; en Francia le llaman *figue d'Inde* y *figue de Barbarie*, *Kaktusfeigen* en Alemania y *Turksupurug* en Sudáfrica; en Israel se conoce como *sabras* o

tzabar, que significa “espinoso por fuera, pero dulce por dentro”. En Brasil la llaman *palma forrageira*, ya que se cultiva principalmente para la producción de forraje. En Eritrea y Etiopía se le conoce como *beles*, y en India como *nagphani*, *anda torra* y *chapathi balli*. Algunos de los nombres comunes en inglés son *indian fig*, *barbary fig*, *cactus pear*, *cactus fruti*, *prickly peary mission cactus*. En español le llaman chumbera, pala chumba, palera, higuera de chumbos, nopal, nopalera, higuera de indias e higuera de pala. En Chile y otros países de Latinoamérica se le conoce como tuna.

Variedades cultivadas

O. ficus-indica puede diferenciarse de todos los otros miembros del género por presentar la combinación de las siguientes características: cladodios usualmente elípticos, de gran tamaño, carentes total o casi totalmente de espinas; con frutos grandes, dulces y carnosos, y por encontrarse exclusivamente en ambientes modificados.

Las variedades se diferencian, principalmente, en cuatro grupos según el color de la cáscara y de la pulpa de los frutos: cáscara verde amarilla y pulpa blanca, cáscara amarilla anaranjada y pulpa naranja, cáscara verde-roja y pulpa roja; y cáscara y pulpa púrpura (Álvarez, 2007; Figura 3.1).

Los nombres comunes de las variedades más populares varían según el país. Así, en México se conocen las variedades “Reina”, “Rojo Pelona”, “Esmeralda”; mientras que en Italia las mismas variedades reciben los nombre de “Gialla”, “Rosso” y “Bianca” y en España las llaman “Verdales”, “Morados”, “Sanguíneos” y “Blancos” (Álvarez, 2007). En el mercado internacional las variedades más apetecidas son las de color (distinto al típico color verde), sobre todo las rojas, amarillas, rosadas y púrpuras, atribuyéndose esta preferencia al color atractivo de la fruta y a su bajo contenido de azúcares. Dos variedades muy demandadas son “Rosso” y “Gialla” (Álvarez, 2007).



Figura 3.1. Frutos de nueve accesiones de tuna importadas de México (morada, salmón, naranja y mexicana) y recolectadas en diferentes valles del norte de Chile. Este material se mantiene en los bancos de germoplasma de la Universidad de Chile.

En Chile se cultiva un ecotipo de tuna con un fruto de color verde-amarillento que no corresponde a una variedad propiamente tal, sino a una selección local que varía de localidad a localidad. A estas se les suele clasificar según las características del fruto, por ejemplo su coloración, forma y presencia de espinas (Reyes y Lavín, 2004). Si bien esta es la única “variedad” cultivada comercialmente en Chile, Sáenz (2006b) señala que existen estudios e interés por parte de los productores para plantar ecotipos de otros colores, siendo de gran atractivo la tuna púrpura y la anaranjada.

Descripción morfológica

- Descripción de la planta

Pese a que algunos autores han señalado que la tuna es un arbusto, Melgarejo (2000) señala que, aunque en el género *Opuntia* pueden encontrarse desde formas rastreras a arborescentes, esta especie debe ser clasificada como un árbol debido a que posee un solo tronco claramente diferenciado que se ramifica muy cerca del suelo, puede superar los 4 m de altura y, a medida que envejece, su tronco se va endureciendo y su forma aplanada va adaptando una forma cilíndrica.

Si la planta proviene de semillas, sus raíces son pivotantes y alcanzan una mayor profundidad. Si la planta ha

sido obtenida mediante propagación vegetativa, en cambio, sus raíces son superficiales y fasciculadas (Melgarejo, 2000). Este sistema radical es muy extenso y superficial, alcanzando una profundidad cercana a los 80 cm, pero se extiende horizontalmente por varios metros. Es un sistema densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales (Sudzuki *et al.*, 1993; Sudzuki, 1995; Sáenz, 2006b). En general, en un suelo que no ha sido preparado, sus raíces se encontrarán de forma mayoritaria a una profundidad entre 0 y 30 cm, pudiendo alcanzar longitudes de hasta 15 metros alrededor de la planta (Melgarejo, 2000).

La tuna presenta numerosos tallos modificados denominados cladodios (conocidos vulgarmente como “paletas” o “pencas”). Los cladodios tienen forma ovoide, elíptica u oblonga, similar a una raqueta de tenis; alcanzan una longitud de 33 a 60 cm y 18 a 25 cm de ancho; son aplanados, con un grosor de 1,8 a 2,3 cm; color verde pálido a oscuro, con o sin espinas, dependiendo de la variedad. Los cladodios están unidos unos a otros, formando numerosas ramificaciones que pueden llegar a alcanzar una altura de 3 a 5 m. Además, los cladodios se posicionan de tal forma de aprovechar al máximo la luminosidad, por lo que los que crecen en invierno tienen una orientación este-este (para maximizar

la interceptación de la radiación solar proveniente del norte o del sur, según el hemisferio) diferente de los que crecen durante el verano que se orientan en el sentido norte-sur para. Sobre ambas caras del cladodio hay yemas llamadas “aréolas” que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores o raíces, dependiendo de las condiciones ambientales. Las aréolas presentan, en su cavidad, espinas de dos tipos: unas pequeñas, agrupadas en gran número (conocidas como “gloquídios”) y otras grandes que son hojas modificadas y están ausentes en las variedades inermes. Los cladodios desarrollados tienen 52 a 69 areolas por cada cara. La epidermis de la tuna está cubierta de una gruesa cutícula que la protege de una amplia gama de insectos y patógenos y evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas. Además, la cutícula es de color blanquecino, lo que le permite reflejar gran parte de la radiación, evitando el calentamiento excesivo del vegetal. Es así como puede tolerar temperaturas superiores a los 40°C. La cutícula está interrumpida por la presencia de estomas, los que permanecen cerrados durante el día evitando la deshidratación. Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo (Sudzuki *et al.*, 1993; Granados y Castañeda, 1996;

Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Sáenz, 2006b; Álvarez, 2007).

Las flores son hermafroditas, solitarias y sésiles. Presentan una longitud de 6 a 7 cm y se desarrollan preferentemente en la parte apical del margen superior del cladodio. Las flores de la tuna presentan ovario ínfero y numerosos estambres (más cortos que los pétalos y el pistilo). Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, blanco, entre otros colores, mientras que los sépalos son de color amarillo claro a rojizo o blanco. Sus flores son de antesis diurna y puede haber hasta 25 flores por cladodio. Estas abren a los 35 a 45 días desde su brotación y aparecen en los cladodios cuando estos tienen más de 60 días de edad.

En la mayor parte del mundo la tuna florece una vez al año. Sin embargo, bajo ciertas condiciones ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta “inverniza”. Este fenómeno sucede naturalmente en Chile (Pimienta, 1990; Sudzuki *et al.*, 1993; Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Berger *et al.*, 2006; Álvarez, 2007). La polinización es principalmente autógama (autopolinización) y puede ser ayudada por abejas, abejorros y algunos coleópteros (Reyes y Lavín, 2004), o por el viento (Melgarejo, 2000).

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero, uniloculado y carnoso, en que la cáscara corresponde a la envoltura del ovario y la pulpa corresponde al lóculo desarrollado. Esta última presenta numerosas semillas y, en su conjunto, conforman la parte comestible, representando aproximadamente el 54% del peso del fruto (Reyes y Lavín, 2004). La forma y tamaño de los frutos son variables (los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos) aunque en promedio presentan 7 a 9 cm de largo, 5 a 6 cm de diámetro y 80 a 140 g de peso. Los colores de los frutos también son diversos: cáscaras de colores rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes con pulpas, en general, de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, con areolas y abundantes gloquídios y, en variedades que no son inermes, espinas. La cáscara de los frutos varía en grosor, siendo variable la cantidad de pulpa entre las variedades. El fruto presenta semillas de 4 a 4,5 mm de longitud, las que se consumen junto con la pulpa. También se presentan semillas abortivas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible. Debido a que existen preferencias por frutos con pocas semillas o sin semillas en los mercados, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten esta característica (Scheinvar, 1995;

Mondragón-Jacobo *et al.*, 2001; Ochoa, 2003; Sáenz, 2006b; Álvarez, 2007).

- Biología floral

Alrededor del 90% de las yemas florales se ubican en la parte superior de cladodios de entre uno y seis años de edad. El potencial reproductivo de estas yemas varía con la especie y la variedad (Nerd y Misrahi, 1995). La gran mayoría de estas yemas florales cuajan adecuadamente y el número de frutos producido por planta es función de la fertilidad del cladodio y el número de yemas florales por cladodio (Pimienta, 1990). La floración puede extenderse por varias semanas y, en este periodo, las plantas pueden producir nuevas yemas, flores y cladodios (Wessels y Stewart, 1990) e incluso madurar sus frutos al mismo tiempo.

Diversas características morfológicas de la flor la convierten en una estructura particular: un número de segmentos del perianto débilmente diferenciados como pétalos, numerosos estambres dispuestos en espiral, un pistilo de cuatro o más carpelos, fusionados y encerrados en la copa de la flor, y un ovario unilocular, cuyo receptáculo despliega hojas y areolas perfectas que más tarde conformarán la piel del fruto (Sudzuki, 1995).

La diferenciación floral se extiende desde 50 a 60 días después de que el

meristemo comienza su actividad hasta la antesis. Este comportamiento se contrasta con otras especies frutales de climas templados, donde la diferenciación floral ocurre el año anterior. Al inicio de la antesis, los estambres están cerca del estilo y las anteras están en contacto con la base del pistilo (Pimienta, 1990). Los estambres poseen una alta sensibilidad al tacto y se doblan hacia el estilo cuando se tocan (Grant *et al.*, 1979). Los tubos polínicos crecen rápidamente, alcanzando la base del estilo y al micrópilo del óvulo 24 y 72 horas después que la flor abre, respectivamente (Rosas y Pimienta, 1986).

Las flores poseen un ovario ínfero que en su interior contiene numerosos óvulos. El tejido comestible se desarrolla a partir de la envoltura funicular (masa que envuelve a las semillas), mientras que la piel se desarrolla a partir del receptáculo. La fruta contiene semillas viables y abortadas que, junto con la envoltura funicular, conforman el tejido de la pulpa (Pimienta, 1990). Según Barbera *et al.* (1992), el desarrollo de la semilla se completa entre 30 y 70 días después de la antesis.

- Crecimiento y desarrollo del fruto

El desarrollo del fruto, en términos de acumulación de materia fresca,

describe una curva de tipo doble sigmoidea, con tres etapas marcadas de crecimiento: Comienza con una importante ganancia de peso seco en piel y pulpa (etapa I), luego le sigue un período de endurecimiento de las semillas e incremento del peso fresco (etapa II) y, finalmente, viene el período de maduración del fruto y acumulación de azúcares en la pulpa (etapa III) (Barbera *et al.*, 1992; Figura 3.2). El período desde floración a madurez del fruto se extiende por 100 días, sin embargo su duración dependerá de las condiciones climáticas de la zona, específicamente de la temperatura (Inglese *et al.*, 1999), en tanto que la fecha de cosecha puede variar de acuerdo a la carga frutal del cladodio (Inglese *et al.* 1995). En este sentido, la época de maduración también puede variar. Así, en Chile e Israel existe producción de fruta en verano e invierno, donde los frutos de verano tardan 80-85 días entre flor y fruto maduro, mientras que en invierno el proceso toma 130-135 días. Debido a su coloración verde durante un largo período de su maduración, se estima que el fruto fotosintetiza el 8-10% de los asimilados que consume (Sudzuki *et al.*, 1993).

La composición de los frutos varía con la madurez. Es necesario tener en cuenta que la tuna es un fruto no climatérico, por lo que es fundamental cosecharlos con madurez de consumo (Cantwell, 1995). Los sólidos solubles

totales (SST) aumentan rápidamente cuando la pulpa comienza a crecer (40-50 días después de cuaja); cuando se inicia el cambio de color de la cáscara, el contenido de SST alcanza un 85-90% del valor que alcanza un vez maduro. Los SST aumentan ligeramente en frutos

completamente maduros pero en esta etapa ya no son adecuados para almacenamiento y están muy blandos para el manejo. Los SST y la vitamina C aumentan considerablemente durante el proceso de maduración, mientras que la firmeza y la acidez se reducen.

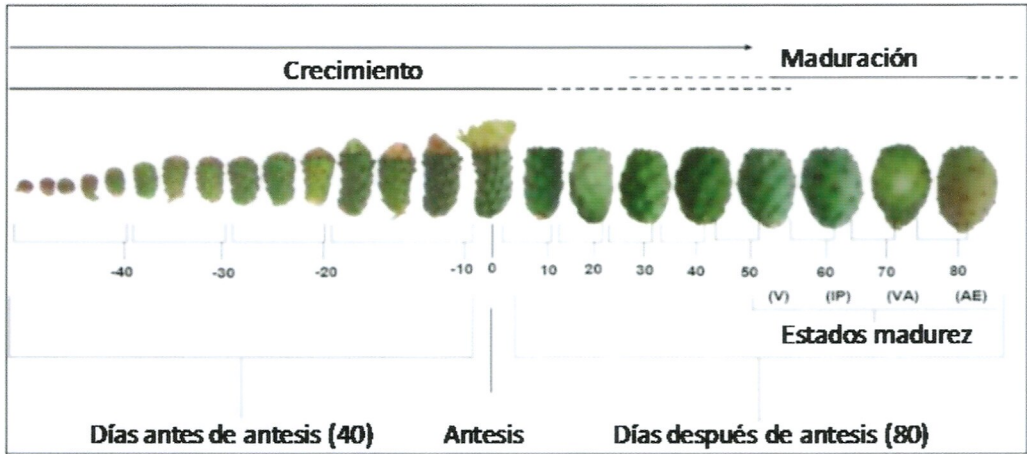


Figura 3.2. Evolución del crecimiento y la maduración del fruto de tuna en función del tiempo (días desde antesis).

Descripción de los frutos, valor nutritivo y propiedades nutricionales

El fruto se compone de tres estructuras que determinan su calidad: cáscara, pulpa y semillas.

La cáscara corresponde a la parte no comestible del fruto por lo que a menor peso de esta, mayor será la calidad del fruto. Durante la primera semana después de floración, el crecimiento de la cáscara es mayor que el del tejido que origina la pulpa, situación que luego se revierte y el lóculo empieza a expandirse,

especialmente los últimos 30 días del desarrollo del fruto, motivo por el cual es fundamental el aporte hídrico en esta etapa (Sudzuki *et al.*, 1993).

La pulpa corresponde a la porción comestible del fruto y se origina de células papilares de la epidermis dorsal de la envoltura funicular y el funículo. La envoltura funicular contribuye con 90% de la parte comestible y el funículo con el 10%. Los ácidos orgánicos están presentes en rangos muy bajos y, prácticamente, no influyen en el sabor (0,01-0,12% de

ácido cítrico y 0,02-0,06% de ácido málico). La pulpa se compone mayoritariamente de agua (83%). Durante la cosecha los rangos de sólidos solubles fluctúan entre 10 y 17 °Brix, siendo el óptimo 13 a 15° Brix.

Las semillas tienen forma discoidal, poseen testa reticulada y arilo lateral angosto. Se pueden encontrar en cantidades desde 100 hasta más de 400 semillas por fruto, con un diámetro de 3 a 4 mm (Cerezal y Duarte, 2005). Se diferencian en semillas viables y abortivas; estas últimas corresponden aproximadamente a un 35 a 40% del total de semillas. Una de las características más importantes que presenta la semilla abortiva es que su envoltura funicular es capaz de desarrollar pulpa, al igual que la envoltura de semillas normales. En un fruto maduro las semillas abortivas se distinguen por su tamaño pequeño y color pardo claro, en contraste con las semillas normales que son de mayor tamaño y de color oscuro (Pimienta, 1990; Scheinvar, 1995). Se han encontrado correlaciones positivas entre el contenido de semillas (número y peso) y el peso total de la fruta, indicando que el mayor tamaño de la fruta está relacionado con el mayor número de semillas (Barbera *et al.*, 1994).

Naturalmente, el contenido de nutrientes y otros compuestos de los

frutos variará con el nivel de madurez. Por este motivo, y debido a que, como se mencionó, se trata de frutos no climatéricos, es importante cosecharlos en el punto de madurez óptima para su consumo (Sáenz, 2006b).

El valor calórico de la pulpa de la tuna varía entre 31 y 50 kcal/100 g, comparable con el de otros frutos como la pera, la manzana, el durazno y la naranja, y el contenido total de aminoácidos libres (257,24 mg/100 g) es mayor que el promedio de otros frutos (Sáenz, 2006b). La tuna presenta un alto nivel de ácido ascórbico que puede llegar a valores de 40 mg/100 g (contenido mayor que el de la manzana, la pera, la uva y el plátano).

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud. En el caso de la tuna, Sáenz (2006b) señala que, tanto los frutos como los cladodios, son una fuente interesante de tales componentes, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), pigmentos (betalainas y carotenoides), minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, buscada, entre otros motivos, por sus propiedades antioxidantes. Los flavonoides y carotenoides presentes en la pulpa y piel de la fruta, respectivamente, le confieren la

cualidad de ser considerada un alimento funcional (Kuti, 2004).

La composición química y mineral de la pulpa de la tuna ha sido estudiada por diferentes autores. A partir de los resultados reportados por Sáenz (2006b) se puede concluir que los diferentes parámetros evaluados pueden fluctuar en los rangos presentados en el Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Composición química y mineral de la pulpa de tuna. Fuente: Sáenz (2006b), modificado.

Parámetro	Rango
Humedad (%)	83,8-91
Proteína (%)	0,6-1,6
Grasa (%)	0,1-0,7
Fibra (%)	0,1-3,16
Ceniza (%)	0,4-0,51
Azúcar total (%)	8,1-17
Vitamina C (mg/100g)	4,6-25
β-Caroteno (mg/100g)	0,53
Calcio (mg/100 g)	12,8-49
Magnesio (mg/100 g)	16,1-98,4
Hierro (mg/100 g)	0,4-2,6
Sodio (mg/100 g)	0,6-5
Potasio (mg/100 g)	78,7-220
Fósforo (mg/100 g)	15,4-32,8

Fisiología de la planta

La tuna, al igual que las demás especies vegetales, requiere de la incorporación de CO₂ atmosférico en

sus tejidos para generar la energía necesaria para su crecimiento y desarrollo. La incorporación de CO₂ se realiza a través de poros microscópicos en la superficie de las hojas y tallos que regulan el intercambio de gases entre la planta y su ambiente, denominados estomas. De acuerdo a Nobel (2001), el éxito agroecológico de esta especie radica en su modalidad diaria de apertura de estomas. La mayoría de las plantas tienen un patrón diurno de apertura estomática, de tal manera que el ingreso de CO₂ se produce simultáneamente con la fotosíntesis, la cual usa la energía de la luz para incorporar el CO₂ de la atmósfera en la formación de carbohidratos. Las plantas como *Opuntia ficus-indica*, sin embargo, abren sus estomas en la noche y los cierran en durante el día. En consecuencia, la entrada de CO₂ y la pérdida de vapor de agua asociada, ocurren en la parte más fresca del ciclo de 24 horas. Este patrón de intercambio de gases es conocido como Metabolismo del Ácido Crasuláceo (CAM por su sigla en inglés) debido a que ha sido estudiado extensamente en las *Crasuláceas*, aunque, aparentemente, se haya reconocido primeramente en las *Cactáceas* (Ting, 1985). Las plantas CAM son nativas de regiones áridas y semiáridas, así como de aquellos microambientes sujetos a sequías

recurrentes tales como el de las epifitas que crecen en los árboles de selvas tropicales (Winter, 1985). La fluctuación diurna del flujo de CO₂ (que depende del patrón de apertura estomático) y la fotosíntesis (que depende de la luz) se grafica claramente en la Figura 3.3, que muestra valores medidos y modelados por Franck *et al.* (2013) para cladodios en crecimiento bajo condiciones de sol y de sombra. En dicha Figura 3.(3) se aprecia que la absorción de CO₂ se produce durante la noche y la fotosíntesis durante el día; y que ambas son mayores en los cladodios expuestos al sol que aquellos que crecen en la sombra.

La apertura estomática nocturna, cuando la evaporación es baja debido a la menor temperatura y la mayor humedad del aire, les permite a las especies CAM incorporar mayor cantidad de carbono por unidad de agua transpirada (Acevedo, 1983). Lo anterior implica que la tuna posee una alta eficiencia en el uso del agua (esto es: producen mayor cantidad de materia seca por unidad de agua consumida). Esto transforma a esta especie en una alternativa ideal para las zonas áridas y semiáridas.

El CO₂ que entra por los estomas de las opuntias durante la noche se une a un compuesto de tres carbonos, el fosfoenolpiruvato (PEP) en una

reacción catalizada por la enzima Fosfoenol Piruvato Carboxilasa (PEP carboxilasa); esto conduce a la formación de un ácido de cuatro carbonos, oxaloacetato, que se convierte rápidamente en ácido málico que finalmente se almacena en las vacuolas. Durante el día los estomas de las plantas CAM tienden a estar cerrados, el ácido málico se difunde fuera de las vacuolas y se descarboxila liberando CO₂ al citosol de las células. El CO₂ se fija en productos fotosintéticos en los cloroplastos iluminados por la luz utilizando la enzima RubisCO, de la misma manera que las plantas C3 (Nobel *et al.*, 2002).

- Nutrientes y salinidad

El crecimiento de la tuna es influenciado por los contenidos de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (alrededor de 12 elementos requeridos en pequeñas cantidades por las plantas) del suelo. Por otra parte, aumentos en los niveles de salinidad del suelo (boratos, cloruros, sulfatos, etc.), inhiben la absorción neta de CO₂ y el crecimiento de las opuntias. Aunque las respuestas de las plantas suculentas CAM a los elementos en el suelo depende de la textura y pH de este, cuatro son los elementos que muestran el mayor efecto sobre el crecimiento de *Opuntia*: el nitrógeno, fósforo, potasio y boro.

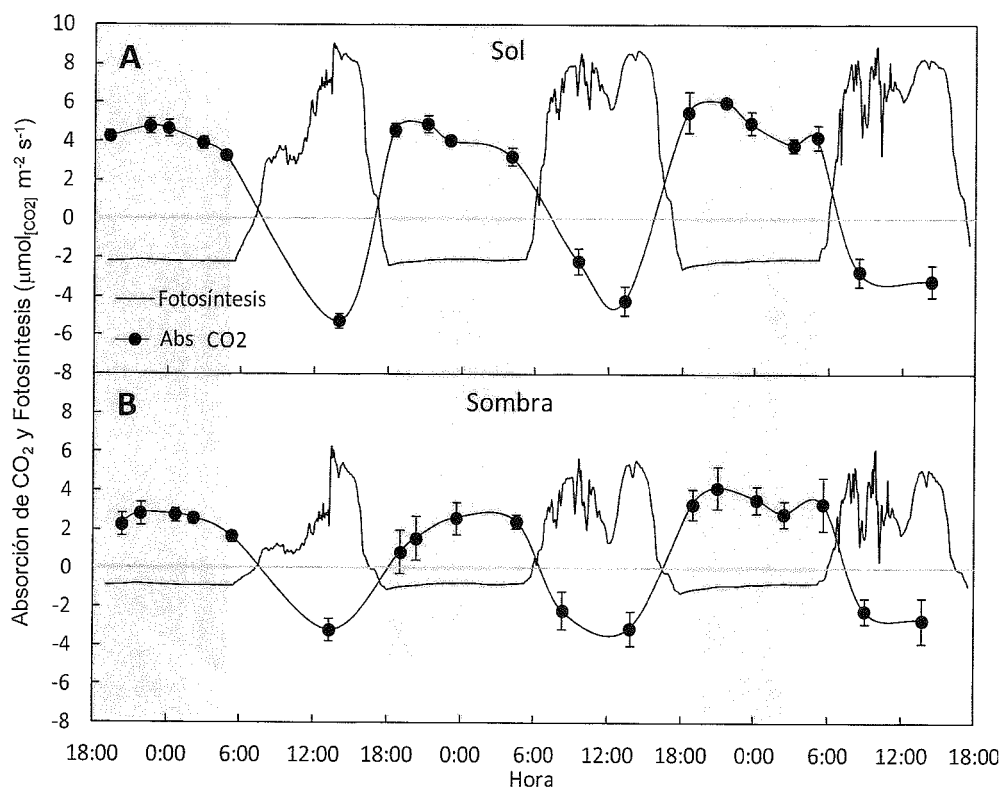


Figura 3.3. Absorción de CO₂ medida (Abs) y fotosíntesis modelada de cladodios en crecimiento de *Opuntia ficus-indica* a lo largo de tres días bajo condiciones de sol (A) y de 50 % de sombra (B). Las franjas grises indican la noche; las barras verticales indican $\pm$ una desviación estándar.

Por su parte, la salinidad del suelo inhibe la absorción neta de CO₂ y el crecimiento de las *Opuntias*, repercutiendo principalmente en la absorción de agua y afectando a su vez la entrada de otros elementos por las raíces. Por lo general las raíces de *Opuntias* se ven más afectadas que los brotes por la salinidad. La tuna se clasifica como una especie de moderada tolerancia a la salinidad por

lo que se debe evitar su plantación en los suelos salinos que se encuentran frecuentemente en zonas áridas y semiáridas. Nerd *et al.* (1991) reportaron que concentraciones de 50 ppm de NaCl redujeron en un 40% el crecimiento de los cladodios, mientras con concentraciones de 200 ppm se redujo significativamente la relación raíz/tallo. La reducción del crecimiento de los cladodios reportada por estos

autores se relacionó con una reducción de la asimilación de CO₂ y del contenido de agua de los tallos (Nerd *et al.*, 1991).

Eficiencia del uso del agua (EUA)

Según Nobel (2001) la EUA de esta planta CAM es aproximadamente de 0,022 mol de CO₂ fijados por mol de agua transpirada. Bajo condiciones ambientales similares, este valor de EUA es tres veces mayor al observado en plantas C4 altamente productivas, tales como el maíz o caña de azúcar. Esta alta EUA le permite a las plantas CAM perder 3 a 5 veces menos agua que las plantas C3 o C4, para una apertura estomática determinada. Esta es la característica clave para su utilidad como cultivo asociado a zonas áridas y semiáridas (Nobel, 2001). La alta eficiencia en el uso del agua en *Opuntia*, se debe principalmente a sus características metabólicas mencionadas anteriormente y a ciertas características morfológicas propias de las suculentas. Entre estas características cabe mencionar sus cutículas relativamente gruesas y una capa cerosa sobre la superficie vegetal que ayudan a prevenir la pérdida de agua (Nobel *et al.*, 2002). La densidad estomática es también relativamente baja para plantas CAM maduras, silvestres o cultivadas, alcanzando en el caso de *Opuntia ficus-indica*,

alrededor de 20 estomas por mm² (Nobel *et al.*, 2002), cuyo valor es muy bajo en comparación a los 150 a 300 estomas por mm² observados en hojas de plantas C3 y C4. Por otro lado, *Opuntia* presenta raíces bastante cortas que profundizan entre 10 a 30 cm. Esta característica favorece la respuesta a las ligeras lluvias que caracterizan a las regiones áridas y semiáridas. El crecimiento de raíces finas se gatilla rápidamente ante la incidencia de lluvias lo que les permite un óptimo aprovechamiento de las precipitaciones, incluso si son muy leves (Nobel *et al.*, 2002).

Requerimientos del cultivo

- Requerimientos climáticos

De acuerdo a Pimienta-Barrios *et al.* (1993), la tuna es una especie que se adapta bien a regiones templadas y subtropicales, en condiciones áridas o semiáridas, aunque también puede desarrollarse en zonas subhúmedas. Sus características pueden hacer de esta especie un recurso genético de interés para zonas ecológicas muy diversas, pues es muy eficaz para adaptarse y crecer donde confluyen mayor número de factores limitantes que no son favorables para la mayoría de las especies vegetales (Robles y Julio, 2009).

Esta especie puede desarrollarse en zonas con un rango de precipitaciones anuales entre 116 y 1800 mm (Melgarejo, 2000). Crece bien en zonas con precipitaciones entre 267 y 685 mm (Barrientos, 1983). El óptimo de precipitación anual, de acuerdo a Granados y Castañeda (1996), está alrededor de los 400 mm. Se ha señalado que precipitaciones mayores a 1000 mm o menores a 200 mm limitan el crecimiento del cultivo. Niveles apropiados de agua durante la fructificación permitirán la producción de mayor cantidad de frutos y de mayor tamaño. Los excesos de humedad pueden provocar enfermedades fungosas y favorecer daños por insectos (Álvarez, 2007; Sudzuki *et al.*, 1993). Nobel y Hartsock (1984) han señalado que la asimilación neta de CO₂ se reduce a cero cuando se presenta un período de sequía (nº de días sin lluvia) de 45 días en adelante, bajo un régimen de temperatura diurno/nocturno de 25°C/15°C y sin restricciones de luz.

La tuna se adapta de mejor manera a atmósferas secas a moderadamente secas. Esta especie se desarrolla bien con temperaturas medias anuales entre 12-34°C, con un rango óptimo de 16-23°C. Bajo condiciones no restrictivas de humedad y luz, la asimilación neta de CO₂ es máxima cuando el régimen térmico

diurno/nocturno es de entre 20°C/10°C y 27°C/17°C. Por su parte, la asimilación neta de CO₂ es cero a regímenes térmicos de 44°C/34°C y de aproximadamente 5°C/-4°C. La tuna puede mantenerse viva aún a temperaturas de 65°C, mientras la exposición a dicha temperatura no sea por más de una hora. Es una especie sensible a heladas, especialmente en tejidos nuevos. Se ha podido observar que temperaturas de -10°C afectan severamente al cultivo y, en plantaciones jóvenes, acarrear su muerte. A nivel del mar, se apreciarán daños con temperaturas inferiores a -4°C. Las plantas adultas pueden sobrevivir a las heladas pero pierden muchos cladodios. La brotación y floración requieren una temperatura mínima de 15-16°C; temperaturas diarias promedio menores disminuyen el número de flores y alargan el período de maduración del fruto pudiendo prolongarlo hasta después del invierno. Durante la fructificación, cuando el promedio de temperatura diario llega a 25°C, el período de maduración de los frutos es muy corto, lo que obliga a una rápida cosecha para evitar que pierdan su calidad comercial (Nobel y Hartsock, 1984; Sudzuki *et al.*, 1993; Ríos y Quintana, 2004; Álvarez, 2007).

En cuanto a los requerimientos de radiación solar, cuando las plantas son

mantenidas en la oscuridad, solamente ocurre respiración, y hay una pérdida ligera de CO₂. A medida que aumenta la intensidad luminosa, se incrementa la absorción neta de CO₂, alcanzando un punto de saturación de la luz alrededor de los 25 molm⁻²día⁻¹. Debido a la naturaleza opaca de los cladodios, algunas de sus caras no se orientan favorablemente con respecto a la intercepción de luz solar; también el sombreo entre plantas reducirá la absorción neta de CO₂. Así, la absorción neta de CO₂ es mayor cuando las plantas se encuentran distanciadas evitando el sombreamiento entre ellas y podadas para reducir el auto-sombreamiento. Para orientar el diseño de plantaciones y la intensidad de poda es conveniente considerar que la interceptación de luz de *O. ficus-indica* es máxima cuando el área total de los cladodios (incluyendo ambos lados) es de 4 a 6 veces la unidad de superficie, vale decir: 4 a 6 m² de área de cladodios por m² de suelo (García de Cortázar y Nobel, 1992).

El viento es un factor limitante para el crecimiento de la tuna: vientos moderados inhiben su desarrollo, en tanto que vientos severos pueden llegar a derribar las plantas debido a su sistema radical superficial y frágil, el elevado peso de sus cladodios y el bajo aerodinamismo de su copa.

- Requerimientos edáficos

La tuna es una especie que puede crecer en suelos muy pobres (o incluso donde apenas existe suelo) con un alto potencial de establecimiento. Esta característica, sumada a su alta resistencia a la sequía, hace de *Opuntia ficus-indica* una especie de gran interés para zonas amenazadas por el avance de la desertificación o para frenar la erosión. Se adapta bien a suelos con diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos arenosos, de origen calcáreo y pH neutro a alcalino, con valores entre 6,5 y 8,5 (Ríos y Quintana, 2004). La tuna se desarrolla bien en un rango de pH entre 6,8 y 8,2, con un óptimo de 7,5 sin embargo se han obtenido altos rendimientos también en suelos ligeramente ácidos. El pH del suelo suele influir en el color de las flores, obteniéndose coloraciones rojizas en suelos alcalinos y coloraciones azules en suelos ácidos (Granados y Castañeda, 1996). Debido a que posee raíces superficiales, no es exigente en relación a la profundidad del suelo, sin embargo se observa un mejor desarrollo en suelos con al menos 30 cm de profundidad. Debido a su alta sensibilidad al anegamiento requiere suelos con buen drenaje, y se adapta bien a suelos pedregosos. Es un cultivo ligeramente tolerante a la salinidad, y se ha observado que las arcillas

expansibles producen daños severos en las raíces (las raíces se cortan al agrietarse el suelo).

Propagación y plantación

La tuna puede propagarse de forma sexual o vegetativa, siendo esta última práctica la más utilizada debido a que es más sencilla y se logra mantener las características de la planta madre, mientras que la propagación por semillas se utiliza para el mejoramiento genético. Los huertos comerciales son la fuente de material vegetativo, aunque existe el riesgo de propagar enfermedades y no existe certificación genética.

Desde el punto de vista botánico, las areolas son tejidos meristemáticos capaces de producir nuevos brotes, flores o raíces. Es por esto que, tanto cladodios como flores y frutos en desarrollo son capaces de originar una nueva planta, ya que todos estos órganos poseen areolas; aunque sólo los cladodios se usan para la propagación de la tuna. La propagación vegetativa de la tuna se puede realizar usando paletas individuales, brazos de dos o más paletas (cladodios múltiples; generalmente un cladodio de un año que porta dos cladodios del año), fracciones de paletas o areolas para la micropropagación. En el caso de usar

paletas individuales, brazos o fracciones de paletas, se deben seleccionar cladodios de 1-3 años, sanos, libres de daño por insectos y sin deformaciones. Las plantas madres, además de ser de la variedad deseada, deben haber tenido altas producciones de forma sostenida. Se deben coleccionar paletas de las plantas seleccionadas y no de los restos de poda (Mondragón y Pimienta-Barrios, 1995). Es mejor seleccionar paletas de tamaño mediano a grande, las que producirán brotes vigorosos que competirán mejor con las malezas durante la etapa inicial del establecimiento. Las paletas pueden obtenerse después de la cosecha, pero antes de que produzcan los brotes de la siguiente temporada.

El trabajo de obtención de material de propagación debe ser cuidadoso, realizando el corte con un cuchillo bien afilado un poco más abajo del punto de unión entre los cladodios, tratando de cortar una pequeña porción de la paleta que origina el cladodio a utilizar para no dañar el mismo, e intentando que la herida sea del menor diámetro posible de manera de disminuir el riesgo de ataque de enfermedades y acelerar la cicatrización. Luego de esto, la zona de corte debe ser desinfectada. Las paletas se colocan en un lugar sombreado por dos semanas para que cicatrice el corte, lo que ayuda a evitar

podriciones, operación conocida como “curado”. Debe evitarse la exposición directa al sol, pues esta puede provocar quemaduras y deformación de las paletas. Si el cladodio comienza a torcerse en este proceso es necesario voltearlo (Mondragón y Pimienta-Barrios, 1995; Legaspi, 2006).

La plantación de paletas individuales se usa cuando existe suficiente material, el huerto proveedor y receptor están cercanos entre si y la superficie de plantación no es muy grande. Esto permite evitar altos costos en transporte y mano de obra para la plantación. El uso de dos o más paletas para la plantación permite acelerar la formación de la estructura vegetativa de la planta y la producción de fruta, pudiendo incluso tener algunas tunas durante la primera temporada (Mondragón y Pimienta-Barrios, 1995; Caloggero y Parera, 2004; Legaspi, 2006). Sin embargo, los costos en transporte y mano de obra aumentan y la manipulación del material se hace más complicada debido a su tamaño. Otro inconveniente de esta técnica es que se requiere mucho material, lo que podría ser una limitante cuando se quieren plantar grandes superficies. La propagación con cladodios múltiples tiene la ventaja de adelantar la entrada en producción del huerto pero requiere de una mayor cantidad de

material y su transporte se complica ya que no se pueden apilar con la misma eficiencia que en el caso de usar cladodios simples.

El uso de fracciones de paleta consiste en dividir las paletas en varias partes dependiendo de su tamaño, donde paletas de mayor tamaño permitirán obtener un mayor número de trozos. Este método se usa cuando existe escasez de material vegetativo o cuando hay grandes distancias entre el huerto madre y el nuevo huerto con el objetivo de evitar grandes costos en transporte (Mondragón y Pimienta-Barrios, 1995; Legaspi, 2006). El trozo de paleta debe tener al menos una areola por cada lado, aunque trozos más grandes producirán un mayor número de brotes y brotes de mayor peso. Por este motivo, no se recomienda usar esta técnica cuando las paletas son pequeñas. Los cortes deben ser desinfectados y los fragmentos dejados en sombra por 15 días (Figura 3.4A). Luego, los trozos se traspasan a bandejas con sustrato húmedo (perlita o arena), cubriéndolas parcialmente. Las bandejas deben ser regadas ligeramente hasta que se inicie el enraizamiento a partir de las areolas (Figura 3.4B). Las areolas producirán raíces (Figura 3.5A y 5B) y brotes, y cuando los nuevos cladodios alcancen 10-12 cm de altura se debe cubrir completamente los trozos de paleta

para que terminen de enraizar (Figura 3.6A y 6B). Los plantines deben mantenerse en almácigo por 6

meses. Transcurrido este tiempo, las plantas están listas para ser llevadas a terreno (Figura 3.7A y 7B).

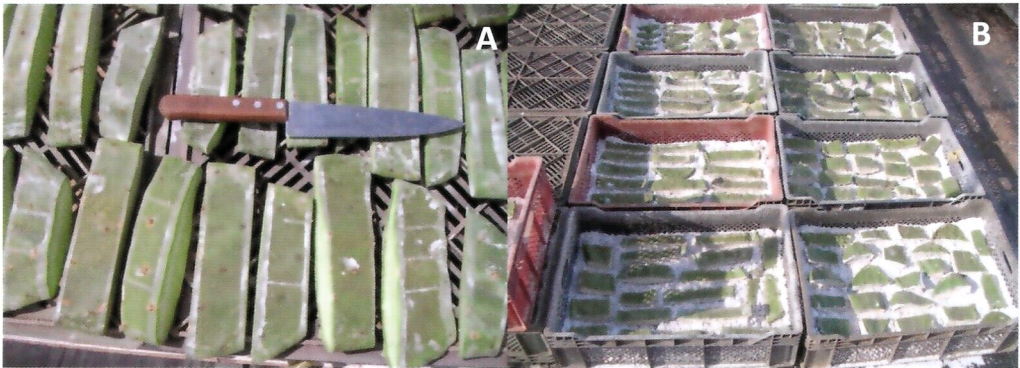


Figura 3.4. Fracciones de cladodio en proceso de “curado” (A) y posterior enraizamiento en perlita (B).

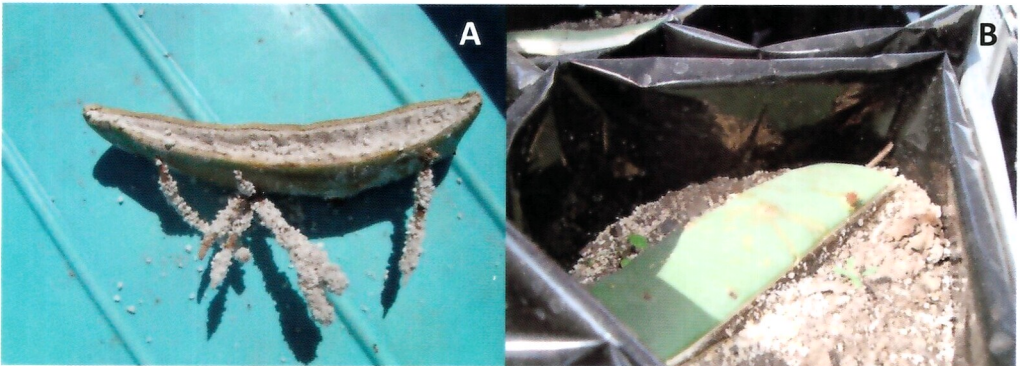


Figura 3.5. Fracción de cladodio con raíces (A) en condiciones para trasplantarla a una bolsa (B).

La micropropagación (*in vitro*) consiste en obtener plantas a través de embriones vegetativos, formación de brotes de raíz sin penetrar al suelo y pequeños brotes de las paletas (Legaspi, 2006). Este método permite obtener plantas rejuvenecidas, vigorosas y productivas, además de

producir un gran número de plantas a partir de escaso material. Sin embargo, el costo del proceso es elevado y las plantas son muy sensibles a la sequía. No se recomienda realizar más de cuatro repiques, ya que el período de juvenilidad de las plantas aumentará mucho (Sudzuki *et al.*, 1993). Las

plantas obtenidas por micropropagación generalmente vienen enraizadas y requieren un suelo mejor preparado para su

establecimiento en terreno, especialmente en lo que respecta a la humedad (Sudzuki *et al.*, 1993).

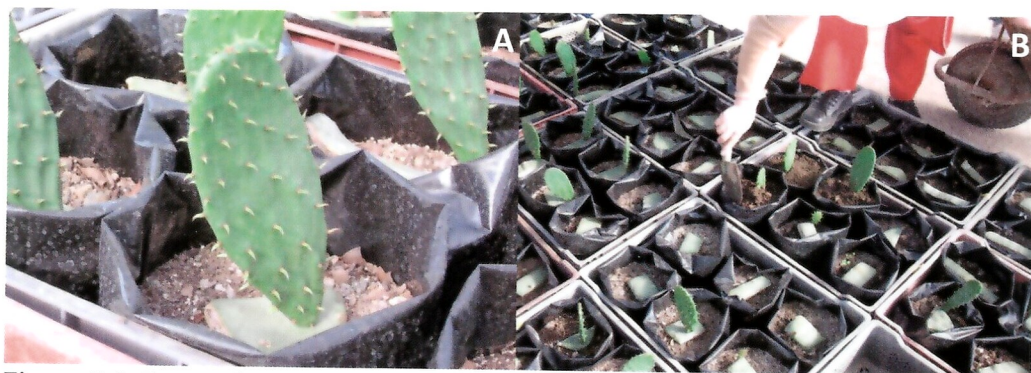


Figura 3.6. Brotes de tuna propagados por fragmentos des 10 cm (A), tamaño al que puede cubrirse el fragmento con sustrato (B).



Figura 3.7. Plantines de tuna a tres (A) y seis meses (B) de colocados en bolsa.

El marco de plantación dependerá del objetivo de la plantación (producción de frutos, de forraje, cochinilla, etc.). Para un cultivo enfocado en la producción de fruta, los marcos de plantación más comúnmente usados según Melgarejo (2000) son 4 x 4 m, 4 x 2,5 m y 3 x 2 m.

En Chile se solía plantar la tuna en un sistema conocido como “casillero” en el que se plantan cuatro paletas por posición, en las esquinas de “casilleros” de 1 x 1m separados a 4 x 4m entre sí, sin embargo este es un sistema que origina plantas muy grandes, difíciles de cosechar, con un

gran espacio interior sombrío en el que no se produce fruta y al que los productos fitosanitarios acceden con dificultad (Figura 3.8A). Además, las plantas suelen tener gran cantidad de paletas en contacto con el suelo que sirven de apoyo, pero favorecen el ataque de plagas y enfermedades (Franck, 2010). Para evitar estos problemas se ha recomendado plantar las tunas sobre camellones de 80 cm de ancho, en marcos de plantación de 2-3 metros sobre hilera por 4-5 metros entre hileras. También pueden establecerse usando un sistema de borde a 1,5-2 metros sobre hilera y 5-7 metros entre hileras. Evaluaciones recientes del Centro de Estudios de Zonas Áridas de la Universidad de Chile indicarían que un marco de plantación de 4 m entre hilera y 2 m sobre hilera es lo recomendable para una producción semi-intensiva, el cual, con un sistema de conducción en seto, permitiría una rápida cobertura de la hilera y un manejo del cultivo óptimo (Figura 3.8B). Es recomendable orientar las hileras en dirección Norte-Sur para aprovechar mejor la luz y la distancia entre hileras debe considerar evitar el sombreado entre plantas y permitir el paso de maquinaria (Sudzuki *et al.*, 1993; Inglese, 1999). En este caso, al momento de plantar, la orientación de los cladodios en la hilera debe ser con sus caras enfrentadas hacia el Este y Oeste, lo

cual permitirá el crecimiento de la planta en la línea de la hilera formando una especie de seto o muro, facilitando así el manejo del huerto. Además, esta orientación maximiza la absorción de luz e incrementa la asimilación de CO₂ (Nobel, 1995).

En Chile la época adecuada para la plantación de un tunal es inicios de primavera (septiembre), cuando la temperatura comienza a subir y las lluvias han disminuido (Sudzuki *et al.*, 1993). Plantar antes de esta fecha es un riesgo, principalmente por las lluvias, lo que puede provocar la pudrición y muerte de las plantas. Si se planta a fines de verano, el crecimiento de las raíces y el desarrollo aéreo de la planta será menor por efecto de la baja temperatura (Inglese, 1999). Cuando se usan plantas enraizadas, la fecha de plantación puede ser más flexible, siendo las bajas temperaturas y las heladas los factores limitantes (Sudzuki *et al.*, 1993).

La plantación de la tuna se realiza enterrando dos tercios de la paleta, con el corte basal hacia abajo y compactando bien el suelo a su alrededor. Si las paletas se plantan superficialmente pueden verse afectadas por el viento y su sistema radical será también muy superficial; si se entierra más del 70% de la paleta, no habrá buena brotación ni desarrollo de raíces, pues la superficie

fotosintéticamente activa será muy reducida.

En el caso de usar brazos de paleta para plantar un tunal, se recomienda enterrar la mayor parte del cladodio basal para darle estabilidad a la planta (Inglese, 1999; Álvarez, 2007). Para el

caso de plantas obtenidas a partir de fracciones de paleta basta con enterrar el pan de raíces, cuidando que el terreno tenga la humedad suficiente para no provocar un estrés al sistema radical y evitando que las raíces se tuerzan (Sudzuki *et al.*, 1993).



Figura 3.8. Planta de tuna en una sistema de plantación tradicional en casillero (cuatro plantas que forma una gran planta con alto nivel d auto-sombreamiento) en El Noviciado, Región Metropolitana, Chile (A) y plantación en sistema de formación en vaso en el desierto del Negev, Israel (B).

Un terreno bien removido favorece el crecimiento y fructificación de las plantas, mientras que suelos compactos inducen un crecimiento lento y escasa fructificación. Considerando que la tuna es sensible al anegamiento es necesario nivelar el terreno para evitar el estancamiento del agua. Debido a que la plantación de los cladodios se realiza antes de que estos emitan raíces, la plantación debe realizarse en seco (Figura 3.9A, B y C). Es importante recalcar que no se debe

regar ya que, mientras los cladodios no hayan emitido raíces, no absorberán agua y correrán riesgo de pudrirse. Las reservas de agua al interior de los cladodios permiten sustentar el desarrollo inicial de las raíces sin necesidad de absorber agua del suelo. Por eso es preferible atrasarse con el primer riego que anticiparse ya que el impacto negativo de un déficit hídrico es menor que aquel de las pudriciones. Así, el primer riego debe realizarse

aproximadamente un mes después, una vez que se haya evidenciado la aparición de raíces. Una forma práctica de determinar si los cladodios ya han desarrollado raíces suficientes, es excavar, cuidadosamente, en torno a algunos cladodios para detectar si hay raíces presentes (Figura 3.10A, B y C). Otra alternativa es levantar suavemente los cladodios con la mano; si estos ya están enraizados se sentirán fuertemente anclados al suelo.

Polinización

Opuntia ficus-indica es una especie autocompatible y presenta una polinización principalmente autógama (autopolinización) la que es ayudada por abejas, abejorros y algunos coleópteros (Reyes y Lavín, 2004), siendo las abejas las principales visitantes de sus flores.

Manejo del cultivo

- Poda

La poda es una práctica clave en el manejo de la tuna, ya que permite dar forma a las plantas, evitar el añerismo, mejorar la calidad de los frutos y facilitar labores tales como la cosecha y el control fitosanitario del cultivo.

La poda de formación implica la eliminación de paletas que estén muy juntas o tiendan a cruzarse, las paletas ubicadas horizontalmente o en sentido perpendicular a la hilera, dejando idealmente dos paletas por paleta madre. Se recomienda que la altura de la planta no exceda 1,8-2,0 metros para facilitar las labores de raleo y cosecha (Figura 3.11 A, B, C y D). Una vez iniciada la producción de fruta, deberá combinarse tanto la poda de formación como la poda de producción.

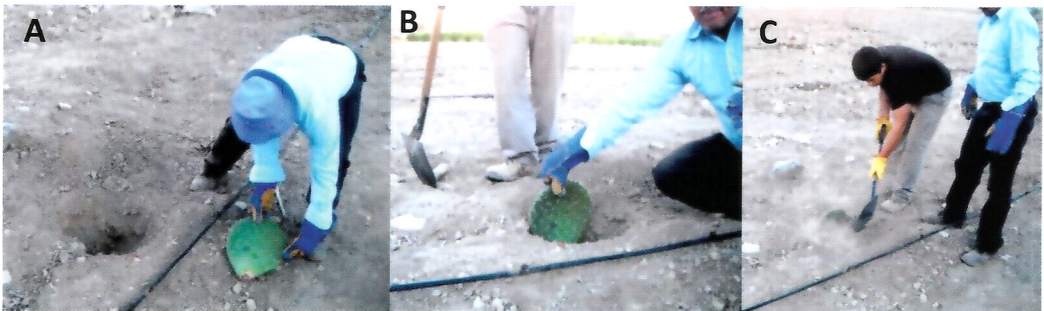


Figura 3.9. Plantación de tuna: se excava el hoyo de plantación en un suelo en seco (A) en el que se introducen dos tercios del cladodio utilizado para la propagación (B) rellenando, posteriormente, con tierra (C).

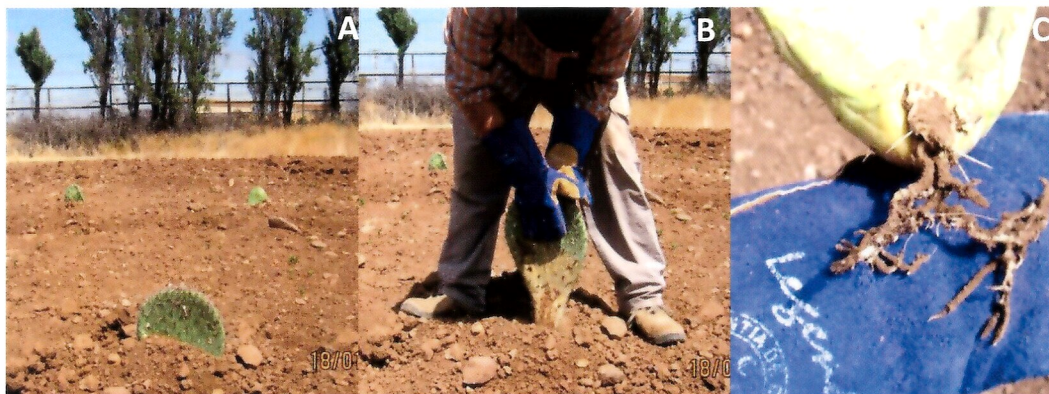


Figura 3.10. Paletas de tuna a un mes de plantadas (A), extracción de paleta para verificar su enraizamiento (B), paleta con raíces, en condiciones de recibir primer riego (C).

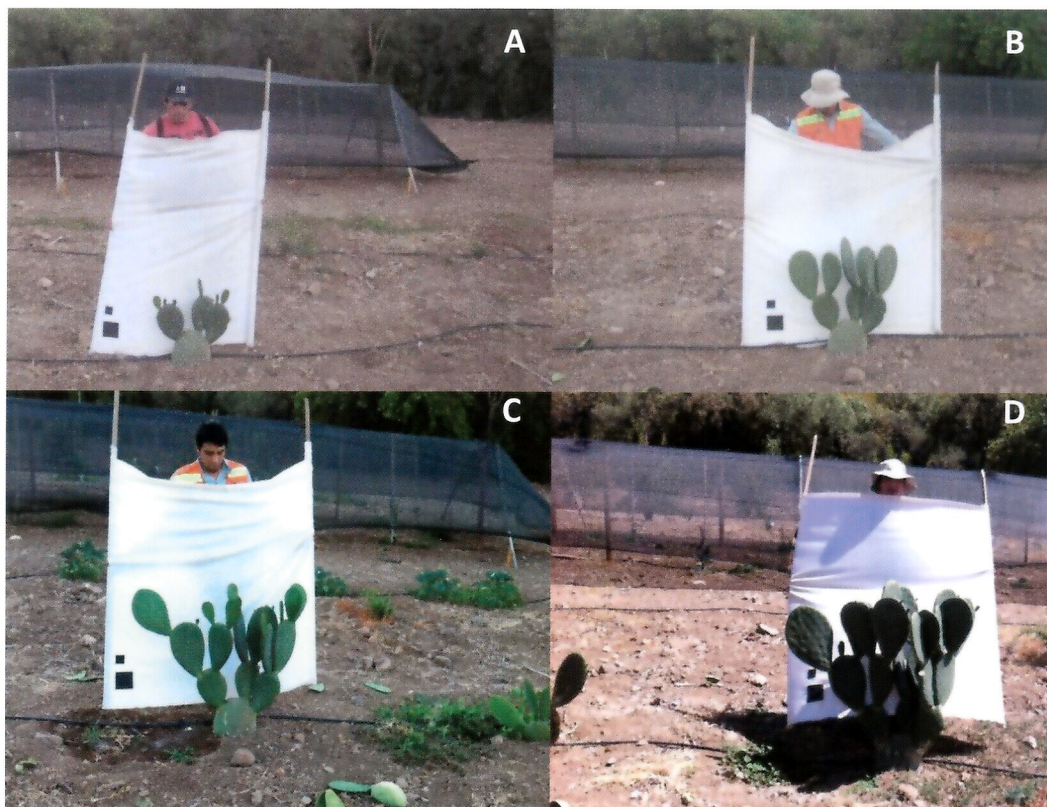


Figura 3.11. Seguimiento de la poda de formación de una planta de tuna: diez meses (A), un año (B), un año y dos meses (C) y un año y cuatro meses (D) de su plantación. Durante el período se produjeron dos generaciones (pisos) de cladodios.

También se aconseja realizar una poda de sanidad, eliminando los cladodios que presenten daños o deformaciones causadas por

patógenos, insectos o animales, y se realiza cuando los brotes alcanzan 15 cm de longitud.

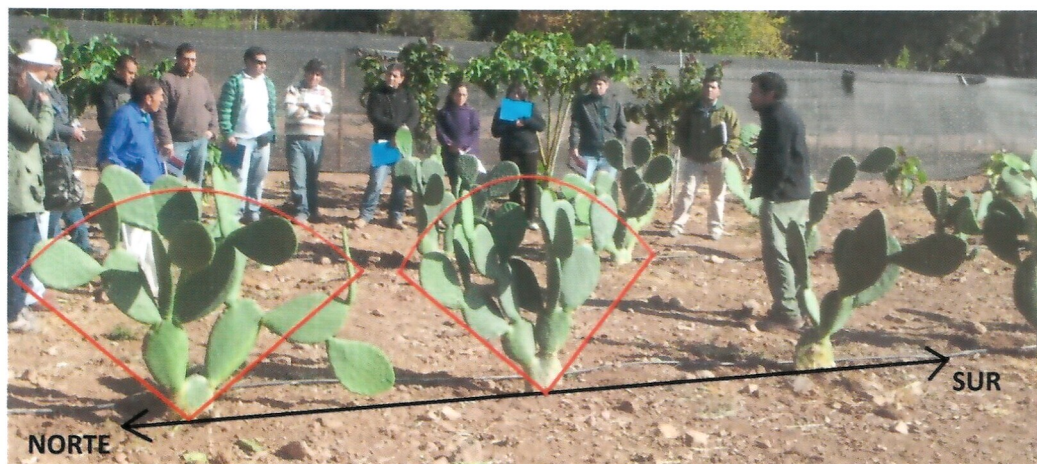


Figura 3.12. Sistema de formación de plantas de tunas en alta densidad, Vicuña, Región de Coquimbo, Chile.

La poda de producción tiene por objetivo lograr exponer el mayor número posible de cladodios a la luz, dejando no más de dos brotes por paleta. Se debe eliminar una cantidad determinada de cladodios viejos o que produjeron fruta la temporada anterior para estimular la brotación de nuevos brotes, ya que más del 90 % de los frutos aparecen en paletas del año. Esta labor se debe realizar en primavera, de modo de evitar las lluvias y las bajas temperaturas. Se deben realizar cortes limpios con cuchillo. La poda debe apuntar a dejar la cantidad de cladodios productivos

por hectárea requeridos para alcanzar un determinado rendimiento en función de la cantidad de fruta por cladodio que se ajustará al momento de ralear.

- Sistemas de formación

Para una producción de intensiva, la recomendación es un sistema de conducción en seto o en vaso, buscando mantener el crecimiento de la planta como un abanico o como una copa, respectivamente, en la misma línea de la hilera (Figura 3.12). De esta forma no se ve interrumpido el

tránsito de maquinaria por la entrehilera y se facilitan las labores del huerto, especialmente la cosecha.

- Raleo

Esta práctica consiste en la eliminación de parte de las flores o frutos pequeños con el fin de regular la producción y asegurar un calibre adecuado de los frutos a cosecha. Esta labor se realiza una vez que ha sido definido el número de paletas productivas por planta al momento de podar, procediendo a regular el número de flores que se dejará en cada una de estas. En tunas es usual encontrar cladodios con hasta treinta flores, sin embargo, si todos esos frutos llegan a término, el tamaño de estos sería muy pequeño. Cabe señalar que, si bien a medida que se reduce la carga frutal de un tunal aumenta el peso promedio de los frutos, el rendimiento disminuye. Esto se puede constatar en la Figura 3.13 que muestra la relación inversa entre el rendimiento y el peso de los frutos de tunas reportado en un estudio realizado en Chile y Ecuador por Celi (2014). Por su parte, Inglesse *et al.*, (1995), recomiendan ralear dos semanas antes o después de cuajados los frutos, dejando un promedio de seis a siete frutos por cladodio, de manera de asegurar frutos de mejor

calidad y tamaño y, en consecuencia, mejor precio en el mercado. Se recomienda realizar el raleo con cuchillos o tijeras de podar para evitar causar desgarros en los cladodios. También se recomienda eliminar los frutos que crecen desde las caras de las paletas, los que desarrollan un pedúnculo prominente que tiende a pudrirse en post-cosecha, y dejar suficiente espacio entre frutos de modo de que no entren en contacto entre ellos al crecer.

En un estudio realizado en Chile, Celi (2014) observó que al aumentar la carga frutal de las paletas se disminuía significativamente el peso de los frutos (a partir de 6 frutos por paleta) y la proporción de pulpa del fruto (Figura 3.14). La misma autora también reporta una reducción lineal de la firmeza de los frutos conforme aumenta la carga mientras el rendimiento aumenta al incrementarse la carga. Esta relación inversa en la respuesta del rendimiento y los parámetros de calidad de las tunas en función de la carga frutal de la paleta pone de manifiesto que la decisión de raleo debe asegurar el mejor retorno económico en función del precio obtenido por las diferentes calidades de fruta y el rendimiento asociado a dichas calidades. El raleo, además, es una práctica que permite evitar el añerismo.

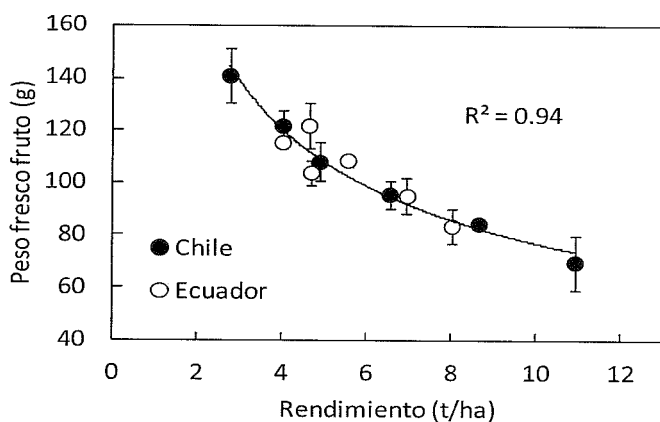


Figura 3.13. Relación entre el peso fresco de los frutos y el rendimiento de un tunal en la localidad de El Noviciado, Región Metropolitana (Chile) y uno en el valle del Chota, Provincia de Imbabura (Ecuador).

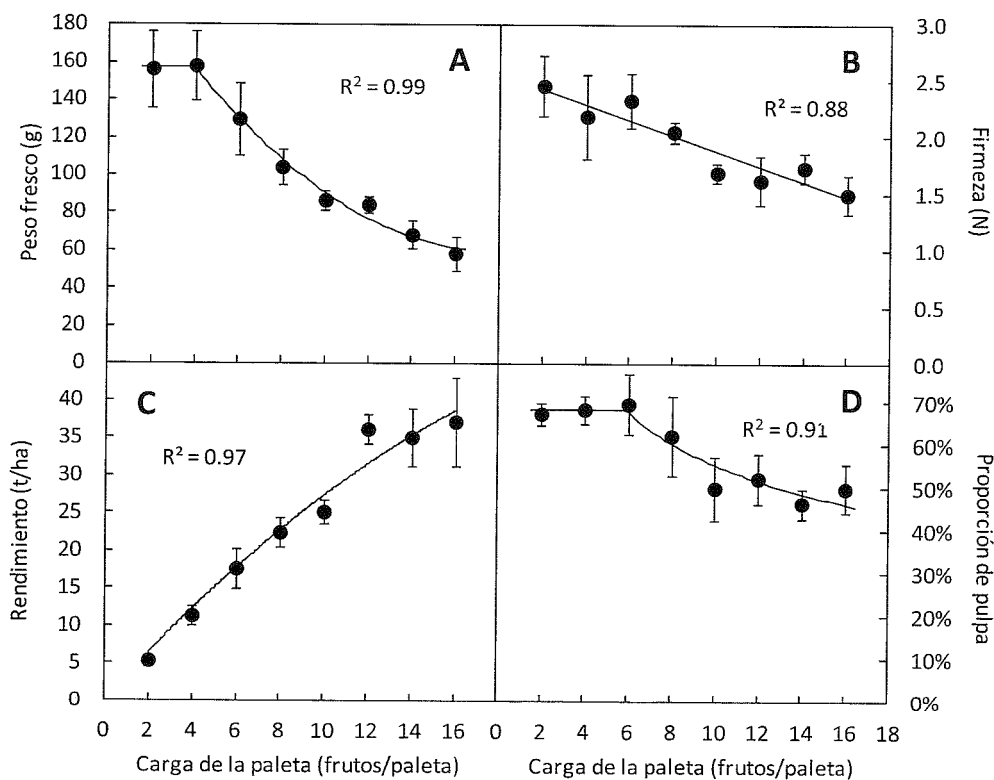


Figura 3.14. Efecto de la carga frutal de la paleta sobre el peso de fruto (A), la firmeza de fruto (B), el rendimiento (C) y la proporción de pulpa de frutos de tuna en un huerto comercial en la localidad de El Noviciado, Región Metropolitana, Chile.

En Italia, con el objeto de alcanzar mejores precios y reducir la competencia con otras frutas de verano, se induce de una segunda floración, aplicando la técnica de la “scozzolatura” (Barbera *et al.*, 1991). Esta consiste en la eliminación de la totalidad de las yemas florales que aparecen en primavera, lo que induce la producción de una nueva floración que da origen a frutos que maduran en otoño (4 a 6 semanas más tarde de lo normal). Este manejo desgasta las plantas por lo que no se recomienda aplicarlo en años sucesivos. Una alternativa es aplicarlo alternadamente en la mitad del huerto.

- Riego

Si bien la tuna es un frutal tolerante al déficit hídrico y muy resistente a los fenómenos de sequía producto de su alta eficiencia en el uso del agua (EUA), responde bien frente a riegos para desarrollarse y producir fruta de calidad. Una plantación comercial requiere entre 1500 y 3000 m³ ha⁻¹ año⁻¹ de agua para producir y, en sectores con lluvias invernales, necesita ser regada durante la temporada seca. Se adapta muy bien al riego por goteo, siempre y cuando se logre un mojado horizontal homogéneo del suelo para favorecer la absorción del agua por parte de raíces superficiales (Franck, 2010).

La cantidad y frecuencia del agua aplicada depende de las condiciones climáticas, del estado fenológico del cultivo, la profundidad que alcanzan las raíces, etc. A medida que transcurre la temporada de crecimiento (septiembre a enero en Chile), la planta comienza a demandar más agua por efecto del clima; las temperaturas son más altas y la humedad relativa disminuye, generando una atmósfera de mayor demanda hídrica que debe ser suplida proporcionalmente con un aumento de la cantidad de agua de riego. A su vez, a medida que la fruta se desarrolla, demanda cada vez más agua para conservar la turgencia de las células y, con esto, mantener una tasa de crecimiento adecuada. Debido a su alta EUA, en el cultivo de la tuna la cantidad de agua aplicada es considerablemente menor a especies frutales tradicionales.

La frecuencia con que deben ser realizados los riegos, depende de las condiciones físicas del suelo y la profundidad que adquiera el sistema radical. Los riegos de alta frecuencia son más apropiados para aquellos suelos de baja capacidad de retención de agua, de texturas medias a gruesas, de una alta macroporosidad y delgados. En este sentido, el sistema radical de la tuna es muy superficial por lo que requiere riegos de alta

frecuencia para mantener adecuados niveles de agua en la superficie, ya que esta se seca con mayor rapidez. En suelos más pesados, de mayor capacidad de retención de agua y baja macroporosidad, los riegos de baja frecuencia (riegos cada cuatro a cinco días) han resultado ser adecuados.

El desarrollo del fruto es de tipo doble sigmoideo por lo que podría considerarse reducir el riego durante el endurecimiento de la semilla, sin embargo este período es muy breve y la floración es escalonada, por lo tanto es fundamental el riego desde floración hasta la maduración de los frutos. Un adecuado riego durante la primavera y el verano también incide favorablemente sobre la brotación de la planta permitiendo renovar adecuadamente los cladodios productivos para la temporada siguiente.

- Nutrición mineral

Actualmente existe poca información respecto a la fertilización de la tuna, sin embargo, como cualquier frutal, para lograr altos rendimientos requiere ser fertilizada. En México recomiendan aplicar 8 kg de guano de vacuno por planta cada 3 años, aplicando también 29-43 kg de N/ha cada año en forma de urea para

plantaciones con una densidad de 625 plantas/ha. En Chile, para plantaciones jóvenes, se recomendaba aplicar 10 kg de guano, 250 g de sulfato de amonio y 200 g de superfosfato triple por planta y, al tercer año, agregar 100 g de sulfato de potasio. Para plantaciones adultas se recomendaba 15 kg de guano, 350 g de nitrógeno, 300 g de superfosfato triple y 200 g de sulfato de potasio por planta, parcializando en 3 oportunidades en abril, junio y agosto. De acuerdo a lo señalado por Franck (2010), se ha observado que aplicaciones de fertilizantes nitrogenados a fines de verano aumentan la producción de tuna inverniza, fruta que alcanza mayores precios en el mercado local.

- Anillado

El anillado es una alternativa interesante para la obtención de fruta y brotes tiernos (nopalitos) en épocas fuera de temporada de producción para optar a mejores precios. Estudios realizados en México muestran que la práctica de anillado parcial aumenta el número de yemas reproductivas y reduce el número de yemas vegetativas, adelanta en aproximadamente 51 días la brotación y cosecha, duplica el rendimiento de frutos, triplica la producción de frutos de primera clase, disminuye la formación de brotes tiernos e induce

una caída significativa de la tasa transpiratoria. El anillado parcial consiste en hacer una incisión a lo ancho del cladodio, sólo en una de sus caras, pero lo suficientemente profunda para cortar los haces vasculares. La fecha en que se realiza el anillado parcial influye directamente en los resultados obtenidos y en la época de cosecha (Aguilar, 2005). Debido a que en Chile la producción de invierno se da de manera natural, el anillado podría ser una alternativa para mejorar rendimiento y la calidad de los frutos.

Plagas y enfermedades

La cochinilla (*Dactylopius sp.*) es un insecto huésped de la tuna que produce el ácido carmínico, colorante natural usado en la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética. Sin embargo, si se quiere producir fruta, la cochinilla incide negativamente. Por esta razón no se recomienda tener plantaciones mixtas, ya que el beneficio de una será en perjuicio de la otra. Durante el invierno esta plaga tiene poca actividad, cuando las temperaturas aumentan comienza su actividad y la reproducción se hace notable, caracterizándose por su aspecto de pequeñas “motitas de algodón” que, al ser aplastadas, muestran una coloración rojo intenso en su interior.

Ataca por igual paletas y frutos, y si el ataque a la planta es severo puede provocar la caída del fruto. Este insecto se desarrolla preferentemente en zonas sombrías de la planta y en sectores en los que los cladodios están en contacto entre ellos o con el suelo.

El *thrips* también ha sido descrito afectando tunales. Ataca las paletas nuevas, provocando cicatrices y deformaciones de los cladodios. Este problema es más serio cuando ataca plantaciones jóvenes, ya que afecta a las paletas que formarán la estructura de la futura planta.

Se señala que las tunas son afectadas por bacterias entre las cuales se pueden mencionar: *Pseudomonas sp.*, *Agrobacterium sp.*, *Erwinia sp.* y *Xanthomonas sp.* Las bacterias del género *Pseudomonas* producen pudriciones en las paletas. La “pudrición apical” es una enfermedad ocasionada por bacterias del género *Erwinia*, que producen la muerte total de las paletas, iniciándose en el ápice y descendiendo progresivamente hasta su inserción en el tallo.

Dentro del grupo de hongos que afectan al cultivo de la tuna se puede mencionar, entre otros, a *Phytophthora sp.*, *Armillaria sp.* y *Alternaria sp.* *Phytophthora sp.*, que causan una enfermedad conocida como “pudrición húmeda”. Estos hongos atacan a la tuna cuando existen

heridas, aunque los daños no son mayores.

La ocurrencia y registro de hongos y bacterias en esta especie en Chile ha

sido detallada en el compendio de bacterias y hongos de frutales y vides en Chile (Acuña, 2010), y es presentada en el Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Patógenos reportados en *Opuntia ficus-indica* en Chile, de acuerdo al compendio de bacterias y hongos de frutales y vides en Chile (Acuña, 2010).

Tipo		Patógeno	Enfermedad
Bacteria		<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovora</i>	Pudrición blanda del cladodio
Hongo		<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl. (sin. <i>Alternaria tenuis</i> Nees)	Mancha o seca del cladodio
Hongo		<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link	Mancha del fruto y cladodio
Hongo		<i>Fusarium verticilloides</i> (Sacc.) Nirenb. (sin. <i>Fusarium moniliforme</i> Sheld.)	Mancha necrótica del cladodio
Hongo		<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Lib.) de Bary	Pudrición de cladodios, esclerotiniosis

Cosecha

La producción de fruta comienza el segundo o tercer año, llegando a la plena producción al quinto año, con rendimientos entre 10-30 ton/ha. En Chile, el rendimiento promedio de los huertos de tuna se encuentra alrededor de las 10 toneladas por hectárea, lo cual es un rendimiento relativamente bajo. Con la tecnificación del cultivo, estos valores podrían al menos duplicarse, según señala Franck (2010).

En Chile la producción de fruta de invierno (junio a septiembre) se da en forma natural y puede aumentar aplicando altas dosis de nitrógeno después de la cosecha de verano, en el mes de abril aproximadamente (Figura 3.15). La producción de invierno representa el 20-30% de la producción de verano. Si bien los frutos tienen menos pulpa, los precios que alcanzan son mejores. En madurez de cosecha los sólidos solubles se encuentran en mayor concentración en la fruta de verano respecto de la fruta de

invierno, lo que se atribuye al menor aporte hídrico y mayor luminosidad y temperatura durante el crecimiento y maduración de los frutos de verano. Como se mencionó anteriormente, los frutos de tuna son no climatéricos, por lo que se deben cosechar con madurez de consumo. Existen diferentes parámetros para definir el momento de cosecha: tamaño y llenado del fruto; color de la cáscara; firmeza del fruto; profundidad de la cavidad floral o receptáculo; sólidos solubles totales y caída de los gloquídios (Cantwell, 1999; Inglese, 1999), aunque no se ha definido un índice de cosecha único, por lo que se recomienda evaluar cada caso en particular.

Cuando la fruta alcanza el tamaño que corresponde según su variedad, y supera los 12° Brix, se inicia la cosecha, una vez que se cuente con un número suficiente de fruta que justifique el inicio de la labor. En Chile la cosecha de verano se inicia entre diciembre y enero y termina en marzo.

Tradicionalmente en Chile la cosecha de los frutos se realiza tomándolos con la mano, utilizando guantes, o utilizando tarros de conserva vacíos, presionando suavemente contra la paleta y girando el fruto antes de desprenderlo. Esta técnica produce un desgarro en la base del pedicelo que aumenta la susceptibilidad de estos a generar pudriciones. Se recomienda

utilizar cuchillos bien afilados, teniendo la precaución de cortar en la inserción del fruto con la paleta o cortando una delgada lámina de la paleta. Los frutos mal cosechados generalmente presentan heridas que favorecen el ataque de hongos y la deshidratación.

La cosecha debe realizarse en la mañana, pues es conveniente que la temperatura sea lo más baja posible. Así se evita el vuelo de las espinas y se consigue que los frutos tengan una menor temperatura, lo que reduce la deshidratación. Posteriormente deben eliminarse las espinas para evitar que se produzcan daños en los frutos y mejorar la apariencia del producto. Esto puede hacerse de forma manual usando cepillos, o con maquinaria especialmente desarrollada para esta labor. También se puede aplicar ceras para evitar daños, deshidratación y mejorar la presentación de los frutos.

Manejo de post-cosecha

La tuna es una fruta altamente perecedera. Por este motivo, una vez cosechada, debe ser embalada y almacenada en un lugar fresco en un plazo breve. Sin ningún tipo de acondicionamiento, el tiempo de vida de post-cosecha no superará los cinco a diez días. Al respecto, Chávez y Saucedo (1985) señalan que el

almacenamiento, en caso de efectuarse, tradicionalmente se realiza en bodegas a temperatura ambiente por un tiempo muy corto, debido a su alta perecibilidad. El mismo autor

indica también que los principales problemas de la fruta durante el almacenamiento son la deshidratación de la cáscara y las pudriciones en el pedúnculo.



Figura 3.15. Tunas de verano (frutos amarillos) e invierno (frutos verdes) en un tunal de la zona central de Chile al final del período de cosecha de verano (abril).

Para mantener por más tiempo las cualidades que determinan la calidad de la fruta, es necesario el almacenamiento refrigerado. Se recomienda conservar la fruta a 6-8°C y 90-95% de H.R., lo que permite conservar las tunas por hasta 4 semanas. Bolsas plásticas perforadas para su embalaje permiten reducir la pérdida de agua bajo condiciones de baja humedad relativa. La literatura internacional señala que la tuna es

sensible al daño por frío, cuya sintomatología típica son manchas superficiales de color pardo rojizo, lo que en Chile se suelen atribuir más al daño por espinas que al frío (Berger *et al.*, 2006). Además, un estudio realizado en Chile señala que la fruta puede almacenarse en frío, por un período máximo de dos meses, a temperatura de 0°C y 85-90% de H.R. (Berger *et al.*, 1978). Ochoa y Guerrero (2012) realizaron estudios sobre la vida

útil de la tuna roja cv. San Martín y señalan que las bajas temperaturas de almacenamiento ayudan a aumentar su vida útil, disminuyendo la pérdida de peso, ablandamiento, el pardeamiento enzimático y la actividad microbiana. Sin embargo, no tienen efecto sobre la pectinesterasa y los compuestos antioxidantes. Por otra parte, señalan que el tiempo de almacenamiento es el factor más determinante en la calidad de la tuna.

El daño físico a la piel y al extremo pedicelar de la fruta generado por la cosecha, además del daño por frío, hacen a esta fruta susceptible a ataques de *Penicillium* spp. y *Alternaria* spp. Aplicar un baño en agua a 53°C durante 5 minutos antes del encerado disminuye los daños por hongos hasta en un 23% (Chávez y Saucedo, 1985).

El embalaje utilizado para su conservación y comercialización es una caja de cartón de 5 kg de peso neto, en la cual se dispone la fruta anidada en papel, sobre una bandeja alveolada o separada por cintas de cartulina, lo que permite que la fruta se mantenga separada del resto (Berger *et al.*, 2006). Para la cosecha en campo y su traslado en el mercado interno, el embalaje utilizado son cajas de madera. En este caso, el transporte se realiza en camiones u otros vehículos ya sea a una bodega, a centros de distribución o a los

mercados directos. La fruta para exportación, por su parte, se transporta por avión.

Otros usos

Además de su cultivo para producción de fruta para consumo humano, como se conoce principalmente en Chile, la tuna se cultiva también para cosechar frutos y cladodios utilizados como forraje (Reynolds y Arias, 2001; Figura 3.16). En México se cultiva para producción de cladodios tiernos llamados “nopalitos”, los que son consumidos como verdura (Flores, 2001). También se cultiva como hospedante del insecto cochinilla (*Dactylopius coccus*), a partir del cual se obtiene un pigmento de color rojo denominado “carmín de cochinilla”, utilizado como colorante en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. La producción de tuna también tiene como destino la agroindustria, elaborándose a partir de ella preparaciones antidiabéticas, bebidas diuréticas a partir de sus flores, jugos, jaleas, miel, mermeladas y pastas a partir de los frutos, y extrayéndose aceite de sus semillas (Barbera *et al.*, 1992), siendo utilizada también como materia prima para la industria de cosméticos. En los últimos años se ha desarrollado el cultivo de esta especie para la producción de biomasa con fines energéticos y,

finalmente, ha sido utilizada a lo largo del mundo para la conservación de suelos en zonas degradadas (Figura 3.17). El Tabla 3.3 resume algunos de los diversos usos que se le da a los frutos y paletas.

Los nopalitos, producidos y consumidos en México, corresponden a cladodios tiernos, los que se consumen en fresco como ensalada. Existen plantaciones destinadas únicamente a la producción de nopalitos, de las que se puede obtener una producción de 80 a 90 toneladas por hectárea al año (Flores-Valdez, 1995). El diseño y manejo del huerto difieren de aquel utilizado para la producción de fruta: el sistema tradicional utiliza distancias entre hilera de 1 a 1,5 metros y distancias

sobre hilera de 0,15 a 0,50 metros, variando la densidad de plantación entre 15.000 y 40.000 plantas por hectárea. También se ha desarrollado un sistema intensivo de producción que utiliza túneles plásticos, utilizado para producciones de nopalitos de invierno, el cual utiliza densidades de plantación considerablemente mayores, que pueden alcanzar las 160.000 plantas por hectárea. Los cladodios nuevos son cosechados 30 a 60 días después de la brotación, cuando tienen un peso entre 80 y 120 g y una longitud de 15 a 20 cm. “Milpa Alta” es la variedad de *O. ficus-indica* más importante de México para la producción de nopalitos en términos de área cultivada y del volumen que ingresa al mercado.

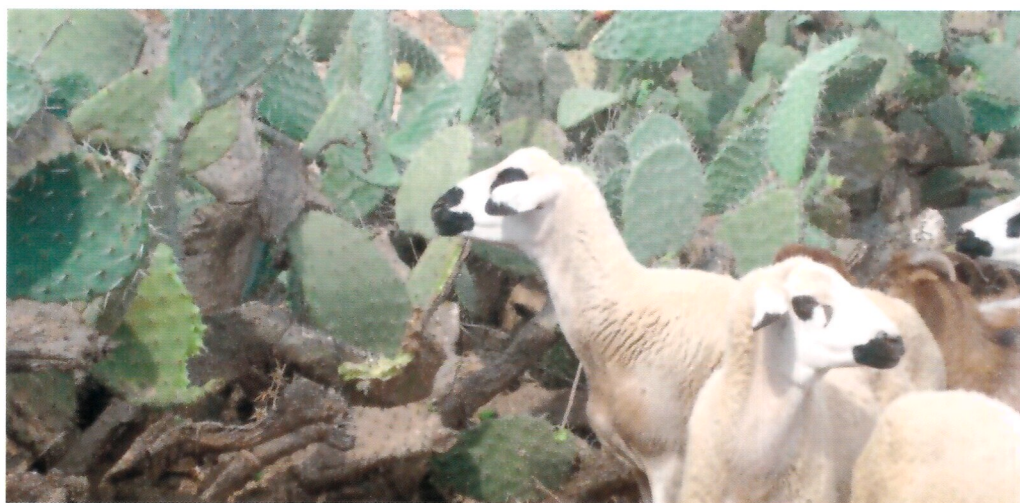


Figura 3.16. Ovejas forrajeando tunas en las cercanías de Agadir, Marruecos.

En países como México, Brasil, Chile, Sudáfrica, Estados Unidos y el norte de África, la tuna se ha convertido en una buena alternativa en zonas áridas y semi-áridas como alimento para ganado en los meses de invierno o en períodos de sequía, cuando escasean otras fuentes de alimentación (Figura 3.16). Como forraje se utiliza como alimento en fresco y procesado para alimentación de ganado principalmente caprino, bovino y ovino, siendo utilizadas las paletas de tuna no sólo para proporcionar alimento sino también para suplir los

requerimientos de agua en períodos de escasez hídrica (Felker, 1995). Este cultivo tiene la ventaja, además de lo mencionado anteriormente, de poseer un alto valor nutritivo, alta palatabilidad y alta producción de biomasa por hectárea. El uso de *O. ficus-indica* como forraje también se ha desarrollado en la agroindustria, elaborándose a partir de esta planta suplementos y piensos de cladodios y de desechos de la agroindustria procesadora de tuna, como lo son la cáscaras y las semillas.



Figura 3.17. Reforestación con *Opuntia ficus-indica* con el triple propósito de producción de forraje, recolección de fruta y control de erosión en Sidi Ifni, Marruecos.

La cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa), cuyo principal productor a nivel mundial es Perú, es un insecto parásito específico de las especies del género *Opuntia* y *Nopalea*, siendo *Opuntia ficus-indica* su hospedero predilecto (Flores-Flores y Tekelenburg, 1995), a partir del cual se extrae un colorante natural de color rojo llamado carmín de cochinilla. Este pigmento es ampliamente utilizado en la industria alimenticia, cosmética y textil, y se puede encontrar en productos como lápices labiales, polvos faciales, lápices de ojos, embutidos, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, jaleas, mermeladas, helados, yogurt, cereales, sopas en polvo, caramelos, etc. De la cochinilla hembra se extrae el ácido carmínico, sustancia química de este colorante rojo de muy alta calidad y especialmente sobresaliente por su estabilidad al exponerse a la oxidación, luz y altas temperaturas. Debido a que este insecto es considerado una plaga en los tunaes destinados a la producción de fruta, las plantaciones deben ser manejadas sólo para uno de estos propósitos, no siendo recomendable la producción de fruta y de cochinilla a la vez.

La utilización agroindustrial de la tuna es muy variada, y va desde la industria de alimentos y bebidas para consumo humano hasta la producción

de insumos para la agricultura (ej. subproductos de la tuna utilizados como mejoradores de suelos) y para las industrias cosmética, farmacéutica y de la construcción (ej. compuestos ligantes obtenidos a partir de los cladodios). Algunos de los productos y subproductos alimenticios de *O. ficus-indica* son mencionados en el Tabla 3.4.

La tuna puede ser utilizada para producción de energía, ya sea como una forma de aumentar la eficiencia de los predios dedicados a la producción de frutos o forraje (utilizando los restos de poda), o, potencialmente, como un cultivo destinado únicamente a la producción de energía. Los cladodios son un buen material para la generación de biogás, tanto solos como combinados con desechos de ganado vacuno o caprino. Este cultivo, si es regado y fertilizado, tiene un alto rendimiento de biomasa, mayor a 40 toneladas de materia seca por hectárea por año (similar a cultivos C3 y C4), y productividades potenciales mayores a 10 toneladas de materia seca por hectárea por año en zonas con lluvias limitadas para los cultivos más comunes. Estas altas productividades en ambientes de baja precipitación hacen de *O. ficus-indica* una buena fuente de biomasa para la producción de energía en zonas áridas (García de Cortázar y Varnero, 1995).

Tabla 3.3. Principales usos tradicionales, actuales y potenciales de las opuntias.
Fuente: Barbera (1995).

Uso	Productos
Alimento	Frutos y cáscara (fresca, seca, enlatada, congelada, en almíbar)
	Jugo, pulpa, bebidas alcohólicas (vino, licor, etc.)
	Mermelada, melcocha, queso de tuna, miel de tuna
	Dulces, jaleas, pasteles, líquido endulzante
	Aceite de semillas
Forraje	Cladodios (frescos, procesados en salmuera o vinagre, precocidos, congelados, mermelada, dulces)
	Cladodios, frutos, semillas
Energía	Arbusto forrajero
	Biogás (cladodios, frutos), etanol (cladodios, frutos), leña
Medicina	Diarrea (cladodios), diurético (flores, raíces), disentería amebiana (flores, raíces), diabetes mellitus (cladodios), hiperlipidemia (cladodios), obesidad (fibras), antiinflamatorio (cladodios)
	Champú, crema humectante, jabones, lociones astringentes y corporales (cladodios)
Agronómico	Producción de suelo, cercos, mulch, cortavientos, abono orgánico
Otros	Adhesivos y pegamentos, pectinas, fibras para artesanías, papel, colorantes, mucílagos para la industria alimenticia, antitraspirantes, ornamental

Tabla 3.4. Algunos productos alimenticios, subproductos y aditivos obtenidos de las tunas y los cladodios. Fuente: Apartado de Sáenz (2006b).

Productos		Subproductos
Tunas	Cladodios	Tunas y Cladodios
- Jugos y néctares		
- Mermeladas, geles y jaleas	- Jugos	- Aceite de las semillas
- Fruta y láminas deshidratadas	- Encurtidos y salmueras	- Mucílagos de los cladodios
- Edulcorantes	- Mermeladas y jaleas	- Pigmentos de las cáscaras y frutos
- Alcoholes, vinos y vinagres	- Harinas	- Fibra dietaria de los cladodios
- Fruta enlatada	- Alcohol	- Pasta forrajera de la cáscara y las semillas
- Fruta y pulpa congelada	- Confites	
	- Salsas	
	- Nopalitos	

Perspectivas a futuro

Si bien en Chile la tuna se cultiva principalmente para la producción de fruta (que se destina para abastecer mayoritariamente al mercado interno), *Opuntia ficus-indica* es una especie que tiene múltiples usos, ya sea como productos en fresco o como productos procesados, a partir de sus flores, frutos y semillas (Figura 3.18) y de sus cladodios, como se ha señalado anteriormente. Con la apertura de los mercados en los últimos años, el conocimiento de esta especie y sus

cualidades se han comenzado a extender por el mundo, haciendo de esta especie algo más que una planta adaptada a condiciones de aridez, que crece como maleza en zonas áridas y que puede producir con bajos niveles hídricos. Esta expansión podría abrir fronteras y convertir la tuna en un importante fruto de exportación, mercado en el cual Chile podría tener un rol protagónico debido a la experiencia en su producción y a las apropiadas condiciones climáticas para su cultivo.



Figura 3.18. Subproductos de tuna elaborados a partir de cladodios, flores secas (A) y semillas (B y C) de tuna por la empresa Sahara Cactus en Sidi Ifni, Maruecos: polvo de caldodios (D), macerado de flores (E) y aceite de semillas (F).

Por otra parte, el reciente y creciente interés a nivel mundial por el consumo de productos inocuos, con ingredientes naturales, de producción orgánica, sin aditivos químicos, hacen de los productos de la tuna una excelente alternativa para abastecer estos mercados. Es el caso del carmín de cochinilla, colorante natural de color rojo cada vez más utilizado en la industria de alimentos y cosmética. En este mismo contexto, los productos generados a partir de tuna para la industria cosmética como cremas, champú, etc., se plantean como una opción interesante para las nuevas tendencias del mercado, que ha enfocado su interés en productos naturales. Asimismo, como una alternativa adicional que da respuesta a las nuevas tendencias del mercado enfocadas en la producción limpia, la tuna, como una especie rústica, se presenta como una alternativa viable para la producción orgánica, lo que podría entregarle un valor adicional, tanto a sus productos directos como a los subproductos obtenidos.

El creciente interés por la producción de biocombustibles a partir de biomasa, proveniente tanto de desecho agrícola como de plantaciones especialmente enfocadas en esto, abre una ventana productiva en zonas donde el agua no es suficiente para abastecer la producción de cultivos tradicionales. Una alternativa es utilizarlos desechos de poda de las plantaciones de tuna enfocadas en la producción de fruta para generar su propia fuente energética. Las características de *O. ficus-indica* permiten incorporar zonas actualmente improductivas debido a la escasez del recurso hídrico o a la baja calidad de sus suelos al sistema de producción energética.

El rol que juega esta especie en la conservación de suelos en zonas áridas, hace de *Opuntia ficus-indica* una especie no sólo de interés agrícola, sino también de un especial valor ecológico.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, E., L. Badilla and P. Nobel. 1983. Water relations, diurnal acidity changes, and productivity of a cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*. Plant Physiology 72: 775-780.
- Acuña, R. 2010. Compendio de bacterias y hongos de frutales y vides en Chile. Servicio Agrícola y Ganadero, División Protección Agrícola y Forestal, Subdpto. Vigilancia y Control Oficial Agrícola. Santiago, Chile. 150 p.
- Aguilar, G. 2005. Producción forzada de nopal (*Opuntia ficus-indica*, cv.tlaconopal) mediante anillado parcial. Revista Fitotecnia Mexicana 28 (3): 295-298.
- Álvarez, B. 2007. Análisis de Factibilidad del cultivo de la Tuna en la Localidad de Icaño, Departamento La Paz. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo. Ministerio de Producción y Desarrollo. Gobierno de la Provincia de Catamarca. Argentina.
- Barbera G, Carimi F, Inglese P, 1991. The reflowering of prickly pear *Opuntia ficus-indica* (L) Mill: influence of removal time and cladode load on yield and fruit ripening. Adv. Hort. Sci. 2:77-80.
- Barbera, G., F. Carimi, P. Inglese, and M. Panno. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Journal of Horticultural Sciences. 67:307-312.
- Barbera, G., P. Inglese and T. La Mantia. 1994. Seed content and fruit characteristic in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). Scientia Horticulturae 58 (1-2): 161-165.
- Barrientos, P. 1983. Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiáridas de México. Recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México. Chapingo, México. 38p.
- Benson, L. 1982. The cacti of United States and Canada. Stanford University Press. Stanford. 1044p.
- Benson L. and D. Walkington. 1965. The southern Californian prickly pear invasion, adulteration and trial-by-fire.

Annals of the Missouri Botanical Garden 52: 262-273.

Berger, H., X. Ortuzar C. Auda, A. Lizana y A. Reszczynski. 1978. Conservación de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) en almacenaje refrigerado. Investigación Agrícola 1(4):21-24.

Berger, H., A. Rodríguez-Félix y L. Galletti. 2006. Operaciones de campo para la utilización de los nopales. In: Sáenz, C. (ed). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 162, Roma. 165p.

Bravo, H. 1978. Las cactáceas de México. 2ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 743p.

Britton, N. and J. Rose. 1919. The Cactaceae. Vol. I. Carnegie Institution of Washington. Washington. 241p.

Caloggero, S. and C. Parera. 2004. Assessment of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) varieties and their possible planting systems. Spanish Journal of Agricultural Research 2 (3): 401-407.

Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetable stems. pp. 120-136. In: Barbera, G., P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.

Celi, A. 2014. Manejo del tamaño de fruto y la calidad de la tuna (*Opuntia ficus-indica* M.) mediante la regulación de la carga frutal, bajo condiciones de zona mediterránea y tropical. Tesis Magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 58 p.

Cerezal, P. y G. Duarte. 2005. Algunas características de tunas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) cosechadas en el altiplano andino de la 2ª Región de Chile. Journal of the Professional Association for Cactus Development 7: 34-60.

Chávez, S. y C. Saucedo. 1985. Conservación en refrigeración de dos variedades de tunas. Horticultura Mexicana 1(1):6-13.

Felker, P. 1995. Forage and fodder production and utilization. pp. 144-154. In: Barbera, G., P. Inglese y E.

Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.FAO Plant Production and Protection Paper132.Rome, Italy. 216p.

Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.FAO Plant Production and Protection Paper132. Rome, Italy. 216p.

Flores, C., J. de Luna y P. Ramírez. 1995. El mercado mundial de la tuna. Informe final. Programa Nopal del CIESTAAM de la Universidad de Chapingo, México. Autónoma Chapingo.

Franck, N. 2010. Perspectivas de la tecnificación del cultivo de la tuna. Informativo N° 21 INIA-Ururi.

Flores, C. 2001. Producción, industrialización y comercialización de nopales. Centro de investigaciones económicas, sociales y tecnológicas de la agroindustria y la agricultura mundial. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 27 p.

Franck, N. Muñoz, V., Alfaro, F. and Arancibia, D. 2013. Estimating the carbon assimilation of growing cactus pear cladodes through different methods. Acta Horticulturae 995:157-164.

Flores-Valdez, C.A. 1995. "Nopales" production, processing and marketing.pp. 92-99. In: Barbera, G., P. Inglese y E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.FAO Plant Production and Protection Paper132. Rome, Italy. 216p.

García de Cortázar, V. and P.S. Nobel. 1992. Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*. Journal of the American Society for Horticultural Sciences 117: 558-562.

García de Cortázar, V. and M.T. Varnero. 1995. Energy production. pp 186-191. In:Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.

Flores-Flores, V. and A. Tekelenburg.1995. Dacti (*Dactylopius coccus* Costa) dye production. pp. 167-185. In: Barbera, G., P. Inglese y E.

- Granados, D., y A.D. Castañeda. 1996. El Nopal. 2a Reimpresión, Ed. Trillas, Mexico.
- Grant, V., K. Grant and P. Hurd. 1979. Pollination of *Opuntia lindheimeri* and related species. *Plant Systematics and Evolution* 132: 313-320.
- Griffith, P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): New molecular evidence. *American Journal of Botany* 91:1915-1921.
- Inglese, P. 1999. Orchard planting and management. pp. 78-90. *In*: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.
- Inglese, P., G. Barbera, T. La Mantia, and S. Portolano. 1995. Crop production, growth and ultimate size of cactus pear fruits following fruit thinning. *HortScience* 30:227-230.
- Inglese, P., G. Barbera and T. La Mantia. 1999. Seasonal reproductive and vegetative growth patterns, and resource allocation during Cactus Pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. fruit growth. *HortScience* 34:69-72.
- Kiesling, R. 1999. Origen, domesticación y distribución de *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae). *Journal of the Professional Association of Cactus development* 3: 50-60.
- Kuti, J. 2004. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chemistry* 85: 527-533.
- Legaspi, A. 2006. Manual de producción y comercialización de tuna. Secretaría de Desarrollo Agropecuario SEDAGRO, México.
- Melgarejo, P. 2000. Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas (Vol. I): El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el nopal. 1ª edición. AMV Ediciones, Mundi-Prensa. 382p.
- Mondragón, C. and E. Pimienta-Barrios. 1995. Propagation. pp. 64-70. *In*: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). *Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.
- Mondragón-Jacobo, C., S. Méndez-Gallegos y G. Olmos-Oropeza. 2001.

- Cultivation of *Opuntia* for fodder production: from re-vegetation to hydroponics. In: Mondragón-Jacobo, C. and S. Pérez-González (eds). Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy. 143 p.
- Nerd, A., and Y. Mizrahi. 1995. Reproductive biology. p.49-57. In: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.
- Nerd, A., Karadi, A. and Y. Mizrahi. 1991. Salt tolerance of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). Plant and Soil 137: 201-207.
- Nobel, P. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. Cambridge University Press, New York.
- Nobel, P. 1994. Remarkable agaves and cacti. Oxford University Press, New York.
- Nobel, P. 1995. Environmental biology. p.36-48. In: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.
- Nobel, P. 2001. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*. In: Mondragón-Jacobo, C. and S. Pérez-González (eds). Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy. 143 p.
- Nobel, P.S. and T. Hartsock. 1984. Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. Physiologia Plantarum 60:98-105.
- Nobel, P., E. Pimienta, J. Zañudo and B. Ramírez. 2002. Historical aspects and net CO₂ uptake for cultivated Crassulacean acid metabolism plants in Mexico. Annals of Applied Biology 140:133-142.
- Ochoa, J. 2003. Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de la República Argentina. En: Inglese, P. y A. Nefzaoui (eds). Cactusnet Newsletter. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Número especial. Roma.

- Ochoa, C.E. y J.A. Guerrero. 2012. Efecto del almacenamiento a diferentes temperaturas sobre la calidad de tuna roja (*Opuntia ficus indica* (L.) Miller). Información Tecnológica 23(1): 117-128.
- Pimienta, E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México. 246p.
- Pimienta-Barrios, E., M.M. Loera-Quezada y L.O. López-Amezcu. 1993. Estudio anatómico comparativo en colectas del subgénero *Opuntia*. Agrociencia, Serie Fitociencia 4 (3): 7-21.
- Reyes, M. y A. Lavín. 2004. Tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.).En: Lavín, A. y K. Matsuya. 2004. Frutales: especies con potencial en secano interior. Chillán, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 120. 150p.
- Reyes-Agüero, J., R. Aguirre-Rivera y H. Hernández. 2005. Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrociencia 39: 395-408.
- Reynolds, S.G. and E. Arias. 2001. Introduction. In: Mondragón-Jacobo, C. and S. Pérez-González (eds). Cactus (*Opuntia* spp.) as Forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169. Rome, Italy.143 p.
- Ríos, J. y V. Quintana. 2004. Manejo general del cultivo del nopal. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, México.
- Robles, A. y E. Julio. 2009. “El cultivo de la tuna” *Opuntia ficus indica*. Gerencia Regional Agraria La Libertad, Trujillo-Perú. 18p.
- Rosas, P. y E. Pimienta. 1986. Polinización y fase progámica en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.)tunero.Fitotecnia8:164-176.
- Sáenz, C. 2006a. Los nopales como recurso natural. pp 1-6.In: Sáenz, C. (ed). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO N° 162, Roma. 165p.
- Sáenz, C. 2006b. Características y composición química de los nopales. pp 7-22.In: Sáenz, C. (ed). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de

Servicios Agrícolas de la FAO N° 162, Roma. 165p.

Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Santiago de Chile. 88p.

Scheinvar, L. 1995. Taxonomy of utilized opuntias. pp. 20-28. *In*: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.

Sudzuki, F. 1995. Anatomy and Morphology. pp. 28-35. *In*: Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta-Barrios (eds). Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 132. Rome, Italy. 216p.

Sudzuki, F., C. Muñoz y H. Berger. 1993. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias

Ting, L.P. 1985. Crassulacean acid metabolism. Annual Review of Plant Physiology 36: 595-622.

Wessels, B.A. and E. Stewart. 1990. Morphogenesis of the reproductive bud and fruit of the prickly pear (*Opuntia ficus-indica* [L.] Mill.) cv. Morado. Acta Horticulturae 975: 245-253.

Winter, K. 1985. Crassulacean acid metabolism. pp. 329-387. *In*: Barber, J. and N. Baker (eds). Photosynthetic mechanism and the environment, Amsterdam: Elsevier. 565p.

Capítulo 4

EL TAMARILLO

(Cyphomandra betaceae (Cav.) Sendt)

VÍCTOR MUÑOZ-ARAVENA Y NICOLÁS FRANCK

Origen y distribución geográfica actual de cultivo

El origen de *Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt. es la región andina de América del sur entre Colombia y Perú (Figura 4.1 A), teniendo importancia económica en países como Colombia y Ecuador. Además, es cultivado como un frutal menor en países como Nueva Zelanda (Lewis y Considine, 1999a), España, Italia (Prohens *et al.*, 2004), Sudáfrica, Kenia e India (Figura 4.1 B). El nombre que recibe en su centro de origen es “tomate de árbol”, mientras que en inglés se le llama *tamarillo*, ya que se consideraba que la traducción literal *tree tomato* era poco atractiva desde el punto de vista comercial.

En Chile, la presencia de este frutal está limitada a la zona climática con influencia costera de la Región de Coquimbo en La Serena, Coquimbo y sus alrededores. Esto se debe a que más al norte la salinidad y los altos niveles de radiación limitan el crecimiento y sobrevida de las plantas, mientras que más al sur y al interior de la Región de Coquimbo, las bajas temperaturas invernales provocan la muerte de las plantas. Se postula que Ovalle es el límite sur de este frutal, encontrando plantas en muy malas condiciones la localidad de Cerrillos de Tamaya (30 km. al oeste de Ovalle).

En Coquimbo y La Serena es común encontrarlo en jardines de casas, donde utilizan sus frutos para

preparar salsas tipo *pebre* para el consumo doméstico. En esta zona el fruto de *Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt. es conocido como “tomate chino”.

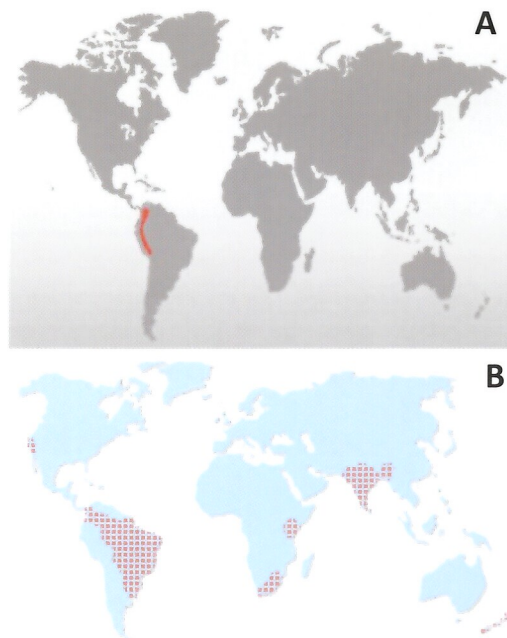


Figura 4.1. Zona de origen del tamarillo (A) y distribución actual del cultivo en el mundo (B).

Clasificación Taxonómica

El tamarillo (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt.) pertenece a la familia de las Solanáceas que, a diferencia de la mayoría de estas especies, tiene hábito arbóreo, generando un tallo autosoportante. Es una especie perenne y suculenta, de hoja persistente. Su nombre equivalente es *Solanum betaceum* (Cav.) (Prohens *et al.*, 2004).

Variedades cultivadas

El tamarillo ha sido clasificado en tres tipos de acuerdo al color de la piel y pulpa de sus frutos: amarillo, anaranjado y púrpura (Boyes y Strubi, 1997). Los del tipo anaranjado son los más conocidos y comercializados. Tienen piel roja-anaranjada y pulpa amarilla-anaranjada cuando están maduros y su peso aproximado es de 80 g. Dentro de las variedades más conocidas se pueden mencionar Nex Black, Oratia Red, Rothamer y Ruby Red (Portela, 1999). Los frutos del tipo amarillo son los más usados en agroindustria. Los frutos maduros tienen piel de color amarillo intenso, son de forma oval y pesan 70 g aproximadamente. Tienen buen sabor (más suaves que los frutos rojos) y menor contenido de antocianinas, lo que permite evitar la reacción con envases de metal que origina indeseables tonalidades azulinas. Las variedades amarillas más destacadas son Goldmine, Inca Gold, Solid Gold, Yellow y Ecuadorian Orange (Portela, 1999). Por su parte, los frutos del tipo morado, tienen la piel roja-morada y la pulpa ligeramente anaranjada. El peso de sus frutos puede llegar a los 90 g, por lo que también son conocidos como “tomate de árbol gigante”. La Figura 4.2 A, B y C muestra frutos de tamarillo de los tipos amarillo, rojo y púrpura.

La obtención de nuevas variedades debe apuntar aumentar el rendimiento

(especialmente a través del aumento del cuaje, ya que hay muchas caídas de flores), la tolerancia a bajas temperaturas y la adaptación de la forma y hábito de crecimiento del árbol a la mecanización del manejo.



Figura 4.2. Frutos maduros de tamarillo del tipo amarillo (A), anaranjado (B) y púrpura (C).

Para mejorar la calidad de la fruta se debería aumentar el tamaño y contenido de azúcar y a disminuir la acidez y el número de semillas, como se hizo con el tomate común (Portela, 1999).

En España están enfocados en la búsqueda de material con buena tolerancia a la radiación solar estival de los climas mediterráneos. Un objetivo adicional de mejoramiento es la selección de variedades tempranas, ya sea obteniendo periodos de maduración más cortos o logrando que los frutos puedan ser madurados en postcosecha mediante la aplicación de etileno, para evitar que los árboles estén cargados con fruta por un largo periodo de tiempo (Prohens *et al.*, 2004).

Descripción morfológica

- Descripción de la planta

Las plantas de tamarillo son relativamente pequeñas si se comparan con otros frutales, observándose árboles de entre 1 y 5 m de altura. Esta especie se caracteriza por tener un corto período de vida (5 a 12 años). Tiene un sistema radical poco profundo, con raíces superficiales y un único tronco que ramifica a una altura de 1.5 a 2 m (Prohens *et al.*, 2004). La Figura 4.3 A y 4.3 B muestra una planta de tamarillo envejecida y una planta joven.

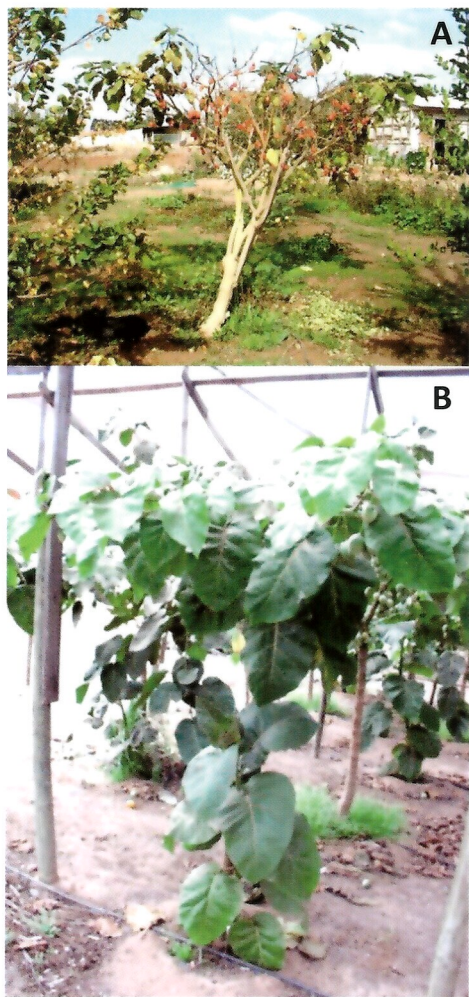


Figura 4.3. Plantas de tamarillo de más de 10 años de edad (A) y planta de dos años de edad con sierpe en la base (B).

Las plantas de tamarillo tienen un hábito de crecimiento indeterminado y fructifican en la madera del año. Además, siguen un patrón modular de crecimiento luego de emitir la primera inflorescencia. Por ejemplo, si se establece una plantación de septiembre, el brote principal de la

planta (generalmente uno) crecerá de forma vertical hasta alcanzar una altura de 1 a 1,5 m formando entre 25 y 40 nudos. Posteriormente, el ápice se determinará en una inflorescencia racimosa en diciembre, y los frutos podrían alcanzar la madurez a partir de mayo del año siguiente. Bajo la primera inflorescencia pueden brotar hasta cuatro brotes provenientes de yemas vegetativas (Figura 4.4 A). Estos brotes tendrán cuatro nudos cada uno, los tres primeros nudos tendrán hojas y el cuarto nudo tendrá una nueva inflorescencia. Bajo esa inflorescencia brotarán dos yemas vegetativas que producirán brotes de cuatro nudos, tres con hojas y una inflorescencia terminal. Este patrón de crecimiento se reitera sucesivamente a medida que crecen los brotes (Clark y Richardson, 2002).

Ya que el crecimiento l tamarillo es indeterminado y continuamente están apareciendo nuevas flores; cuajando, creciendo y madurando frutos; no es sencillo relacionar la fenología con meses específicos. Al inicio de la vida de un huerto, la fenología también depende de la fecha de plantación; y del tamaño inicial de la planta y del brote principal, que determinarán en momento en que se emita la primera inflorescencia. Por esto, es más práctico describir el desarrollo de las distintas cohortes productivas de la planta reconociendo los estados

fenológicos del brote productivo. Estos estados son:

- Crecimiento del brote.
- Floración.
- Cuaje del fruto.
- Crecimiento del fruto, color verde
- Crecimiento del fruto, color morado
- Maduración del fruto, color anaranjado, amarillo o púrpura (según el tipo).

Esta descripción debe aplicarse a todas las cohortes productivas de la temporada, así la planta podría estar en: "Crecimiento del fruto, color morado Brote 1°, Cuaja Brote 2°, Floración Brote 3° y 4°; y Crecimiento del brote Brote 5°".

Las hojas del tamarillo son grandes (20 a 40 cm de largo y 20 a 35 cm de ancho), persistentes, simples, alternas, pubescentes en la cara abaxial y con un olor fuerte y desagradable. A lo largo del año, y en la medida que se desarrollan los brotes productivos, la planta genera nuevas hojas, incrementando su área foliar y renovando sus hojas.

Las inflorescencias pueden llegar a tener hasta 80 botones florales, 10 a 20 flores y producir entre 1 a 12 frutos (Prohens *et al.*, 2004), lo que puede apreciarse en la Figura 4.4 B. Los

racimos y los frutos del brote 1° son los más grandes, y se han observado plantas que llegan a tener hasta una 6° cohorte de brotes productivo.



Figura 4.4. Racimo con frutos de madurez más avanzada proveniente de la inflorescencia primaria, donde se observan 3 brotes productivos que brotaron por debajo de la inflorescencia (A) e inflorescencia con coexistencia de botones, flores y frutos cuajados (B).

La flor del tamarillo es pentámera, radialmente simétrica, estilada y hermafrodita y con un diámetro de 24 mm cuando los pétalos están completamente abiertos. Los pétalos son relativamente largos y carnosos y varían en color desde el blanco al rosa pálido y desde el blanco al blanco con manchas púrpuras (Lewis y

Considine, 1999a). Las inflorescencias del tamarillo se ubican en la madera del año (de la temporada).

- Biología floral

La floración es en primavera, mientras que la maduración de frutos se da a comienzos de otoño (Prohens *et al.*, 2004), presentándose inflorescencias con flores abiertas hasta Mayo (Lewis y Considine, 1999b). El periodo extendido de floración se debe al hábito de crecimiento indeterminado de esta especie y al patrón de floración dentro de la inflorescencia, que puede tener flores abiertas por más de 60 días (Lewis y Considine, 1999b).

Las flores abren en una secuencia acropétala (es decir, desde la base hacia el extremo superior del eje) en intervalos de dos a tres días, por lo que pueden estar al mismo tiempo presentes en un racimo frutos, flores y yemas florales (Figura 4.4 B). Es usual que la yema floral apical de cada racimo caiga antes de abrir, especialmente si hay un fruto cuajado dentro del racimo. Las yemas florales inmaduras presentes en inflorescencias formadas tarde en la temporada también caen, y en algunas ocasiones sólo una o dos flores por racimo se desarrollan completamente (Lewis y Considine, 1999a).

Las flores generalmente abren antes de mediodía y los pétalos se cierran

alrededor del estilo y anteras por la tarde. Cada flor se abre nuevamente a la mañana siguiente y esta dinámica continúa por otros 2 o 3 días antes de que la flor se cierre definitivamente. Hay que destacar que la madurez de los órganos sexuales masculinos y femeninos coincide en el tiempo (singamia; Lewis y Considine, 1999a).

Un estudio realizado en Nueva Zelanda indica que un 12% del total de flores por planta logra cuajar pero sólo un 3% de las flores desarrolladas llega a convertirse en un fruto maduro, siendo la alta abscisión de flores y frutos es una característica de esta especie. Una excesiva producción de flores puede servir para compensar la pérdida de fruta como resultado de enfermedades o condiciones ambientales (Lewis y Considine, 1999b). El nivel de abscisión determina la viabilidad comercial del cultivo (Prohens *et al.*, 2004).

- Crecimiento y desarrollo del fruto

El crecimiento del fruto sigue una curva simple sigmoidea, mostrando un incremento de peso fresco y de volumen rápido y lineal entre la 6 y 16 semanas después de antesis; después de este período el crecimiento cesa. Sin embargo, el peso seco del fruto continúa incrementándose hasta llegar a un máximo en las 20 semanas después de antesis. El tamarillo se

considera comercialmente maduro entre las 21 y 24 semanas después de antesis (Portela, 1999). En los tamarillos de color anaranjado, luego de cuajar, los frutos presentan una coloración verde pálida, posteriormente se tornan morados (semana 16 aproximadamente) y, al acercarse la madurez, alcanzan su característico color final (anaranjado, amarillo o púrpura; Figura 4.5).

Descripción de los frutos, valor nutritivo y propiedades nutricionales de éstos

Los frutos tienen forma elíptica, ovalada o redonda, de 4 a 10 cm de largo, 3 a 5 cm de diámetro y pedicelo largo. Tiene una corteza de piel amarilla, anaranjada o roja, que ocasionalmente se puede cubrir de rayas púrpuras y un mesocarpio característicamente ácido. Los frutos contienen 120 a 150 semillas, un poco más grandes que las de tomate, circulares y planas. El fruto del tamarillo tiene un alto contenido de ácido ascórbico y es rico en pectinas (Prohens *et al.*, 2004). Además, es una excelente fuente de vitamina A, B6 y E (Boyes y Strubi, 1997).

Los frutos del tamarillo contienen vitamina A (caroteno 150 UI/100g), vitamina B6 y C (25 mg/100 g), vitamina E, hierro, calcio, fósforo y altos niveles de proteína, pectina y fibra. Es un fruto rico en carotenoides

y polifenoles, con una alta actividad antioxidante (CUC, 2009). La Tabla 4.1 muestra la composición nutricional de

100 g de porción comestible de tamarillo.



Figura 4.5. Diferencias en tamaño y coloración de frutos de tamarillo de menor a mayor grado de maduración (izquierda a derecha).

Tabla 4.1: Composición nutricional del tamarillo.

Componente	Cantidad/Unidad
Acidez	1.93-1.60%
° Brix	11.60-10.50%
Calorías	30
pH	3.17-3.90
Humedad	86.03-87.07%
Carbohidratos	7g
Ceniza	0.60g
Fibra	1.1g
Proteína	2.0g
Calcio	9 mg
Caroteno	1000 IU
Fósforo	41 mg
Hierro	0.90 mg
Niacina	1.07 mg
Rivoflavina	0.03 mg
Tiamina	0.10 mg
Vitamina C	25 mg
Vitamina E	2010 mg

Fuente: CaribbeanFruit, CORPEI

Requerimientos del cultivo (clima, suelo)

En las regiones andinas el tamarillo es cultivado en sectores con altitud de 1.000 a 2.800 msnm. Es un frutal adaptado a climas de temperatura moderada (promedio anual entre 15 y 25 °C). En la región andina se recomiendan climas de temperatura promedio de entre 17 y 19°C (Osorio, 1992, Prohens *et al.*, 2004). Es sensible a heladas severas, por lo que presenta algunos problemas de adaptación en regiones de clima mediterráneo (Prohens *et al.*, 2004). A -2 °C hay muerte de ramas pequeñas y hojas maduras (Figura 4.6 A). Durante el primer año, las plantas son especialmente sensibles a las bajas temperaturas. Por otra parte, el cultivo del tamarillo en zonas tropicales no da buenos resultados, ya que se requiere de noches frías para obtener un buen cuaje.

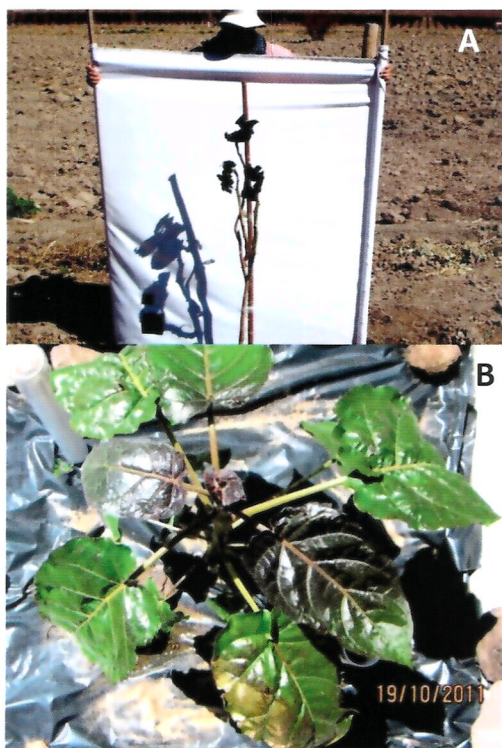


Figura 4.6. Planta de tamarillo muerta producto de una helada de -3°C en la localidad de Manflas, Región de Atacama, Chile (A) y Planta de tamarillo con daño en hojas por exceso de radiación (B).

Se señala que, al ser una especie originaria de zonas nubladas, la exposición directa a altos niveles de radiación puede afectar el desarrollo del tamarillo (Prohens *et al.*, 2004). Esto concuerda con observaciones de plantas cultivadas en Chile, donde las primeras hojas de los brotes mostraron daños necróticos atribuidos a exceso de radiación (Figura 4.6 B). Sin embargo, al avanzar la temporada, y a medida que los brotes tenían más hojas, no se observaron nuevos síntomas de

daño. Además, se realizaron curvas de respuesta a la luz, en las que se evaluó la fotosíntesis a distintos niveles de radiación en plantas cultivadas en exposición directa en Las Cardas y plantas cultivadas bajo malla en La Serena, siendo estas últimas las que tuvieron menores niveles de fotosíntesis. Esto indica que el tamarillo tolera la exposición directa y tendría un mejor comportamiento que si se cultiva bajo malla, sin embargo, La Serena es una ciudad donde comúnmente hay días o mañanas nubladas, lo que sumado al uso de mallas generan condiciones de muy baja radiación. Estos antecedentes son congruentes con resultados obtenidos por Muñoz *et al.* (2013) al estudiar plantaciones experimentales de tamarillo en la zona costera de la Región de Coquimbo (alta humedad relativa del aire y baja radiación) y un valle interior de la misma Región (baja humedad del aire y alta radiación). En dicho estudio se observó que, a pesar de que las plantas produjeron la misma cantidad de fruta en ambas localidades, el tamaño y rendimiento de frutos fue significativamente menor en la zona interior (Figura 4.7), lo que se relacionó con una limitación de la fotosíntesis debida a un cierre estomático (Tabla 4.2). El cierre estomático observado en el valle interior se asocia a una alta sensibilidad de las hojas de tamarillo al déficit de presión de vapor (Muñoz *et al.*, 2013).



Figura 4.7. Frutos de tamarillos de un año cosechados en una localidad costera (Algarrobito) e interior (Vicuña) de la Región de Coquimbo, Chile.

Tabla 4.2. Variables climáticas (T_{prom} : temperatura anual promedio, T_{max} : temperatura máxima promedio de verano, HR: humedad relativa del aire, RG: radiación global promedio anual), productivas (Fr/Pl: frutos por planta, PF_{Fr} : peso fresco promedio de frutos, Rdto: rendimiento) y fisiológicas (g_s : conductancia estomática, P_n : fotosíntesis neta) de tamarillos de un año cultivados en una localidad costera (Algarrobito) e interior (Vicuña) de la Región de Coquimbo, Chile. Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticamente significativas.

Localidad	Variables								
	Climáticas				Productivas			Fisiológicas	
	T_{prom}	T_{max}	HR	RG	Fr/Pl	PF_{Fr}	Rdto	g_s	P_n
	C°		%	W/m ²	n°	g	kg/pl	mol/m ² s	μmol/m ² s
Algarrobito	14,0a	22,6a	84a	187a	30,8	49,6a	1,52a	0,21a	15,3a
Vicuña	16,6b	29,5b	59b	215b	30,9	23,4b	0,72b	0,12b	9,0b

El tamarillo requiere de suelos francos a franco-arenosos, con buen drenaje y un alto contenido de materia orgánica (Sudzuki y Defilippi, 1996). Por el contrario, el crecimiento y desarrollo de los árboles se ve seriamente perjudicado si se cultiva en suelos arcillosos y saturados (Prohens *et al.*, 2004).

Debido a que la maduración de los frutos toma varias semanas, periodo en el cual las plantas están fuertemente cargadas con fruta y a la fragilidad de las ramas, el cultivo del tamarillo puede verse muy afectado en zonas ventosas (Prohens *et al.*, 2004). Además, su sistema radical superficial acrecienta los problemas por viento y pueden perderse plantas completas.

Propagación y plantación

- Propagación

El tamarillo se puede propagar por semilla o por estacas. La reproducción por semillas da origen a plantas más vigorosas, de entrenudos largos y con raíces más resistentes a condiciones adversas (Osorio, 1992). Sin embargo, las plantas obtenidas en la reproducción por semillas son genéticamente diferentes a la planta madre por haber recombinación entre los gametos masculinos y femeninos, lo que puede influir en una desuniformidad de las plantas en el huerto y variaciones en las características de los frutos. Se deben

extraer las semillas de los frutos seleccionados, luego se lavan, desinfectan y se dejan secando en condiciones de sombra. Posteriormente se siembran en almácigos y la germinación se logra a los 15 a 25 días (Figura 4.8 A). A los 2 meses se tienen plantas listas para plantar, con una altura aproximada de 20 cm.

En Chile el tamarillo no se cultiva como frutal de manera comercial y sólo existe como árbol frutal en casas particulares o pequeños huertos. En estos casos, la propagación se hace enterrando frutos sobremaduros, de cuyas semillas se producirán las nuevas plantas. También es usual observar plántulas alrededor de árboles grandes, los que se originaron a partir de frutos que cayeron al suelo y no fueron colectados.

La propagación por estacas requiere utilizar madera de 1 o 2 años, con un diámetro mínimo de 1,5 cm y un largo de 30 cm. Las estacas deben tener por lo menos 3 a 4 yemas, y se debe enterrar al menos 3 yemas, para asegurar el enraizamiento. La brotación puede comenzar a 2 semanas de enterrada la estaca, sin embargo las raíces recién aparecen a las 4 o 5 semanas (Figura 4.8 B). Las plantas obtenidas de estacas son más pequeñas, arbustivas, de entrenudos cortos, ramificadas desde la base, lo que constituye una ventaja si se planta en zonas ventosas. La propagar

mediante estacas se obtienen clones idénticos a la planta madre, por lo que se mantienen las características de los árboles y los frutos, contribuyendo a la homogeneidad del huerto.

También es posible obtener plantas mediante la micropropagación, lo que permite contar con un gran número de plantas (Contreras y Almeida, 2003).

- Plantación

Para suelos fértiles se recomienda utilizar marcos de plantación de 4 x 2,5 m ó 5x3 m (Sudzuki y Defilippi, 1996). En las regiones andinas de Colombia se recomienda usar una densidad de 625 plantas/ha con un marco de plantación de 4x4 m (Osorio, 1992), mientras que en zonas donde hay mucho viento se recomienda utilizar altas densidades.

Las plantas se llevan cuando tienen una altura de 15 a 30 cm. La plantación se debe hacer en Marzo, Abril o en primavera después de haber pasado los peligros de las heladas (Sudzuki y Defilippi, 1996).

Sudzuki y Defilippi (1996) recomiendan que el hoyo de plantación debe ser de 50 x 50 cm o 60 x 60 cm. Además, recomiendan aplicar una mezcla de nitrógeno, fósforo y potasio y guano bien descompuesto y debe considerarse una desinfección ya que la planta es susceptible a la antracnosis y a los nemátodos.

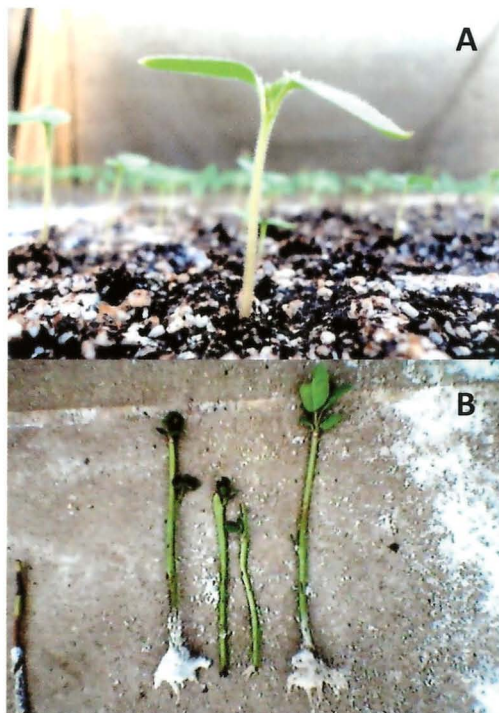


Figura 4.8. Plátulas de tamarillo provenientes de semilla (A) y plantas propagadas a partir de estacas (B).

En zonas donde hay mucho viento y alta radiación, deben considerarse técnicas que permitan un mejor desarrollo del cultivo, como cortinas cortaviento o mallas de sombra. Si las condiciones son demasiado adversas, habrá que descartar la plantación (Prohens *et al.*, 2004).

- Polinización

La planta de tamarillo puede ser polinizada con su mismo polen (autopolinización) o con polen de otra planta (polinización cruzada). Un

estudio realizado en Nueva Zelanda afirma que no hay diferencias en la magnitud de la cuaja frutal entre plantas auto-polinizadas y con polinización cruzada (Lewis y Considine, 1999a). Por su parte, el viento y las abejas favorecen la polinización del tamarillo, mientras que los abejorros (*Bombus terrestris* o *B. hortorum*) también se ven atraídos por el polen y pueden ayudar a la polinización (Lewis y Considine, 1999a).

Manejo del cultivo

- Poda de Formación

La poda de formación del tamarillo consiste en despuntar la planta cuando tiene una altura de 30 a 40 cm, seleccionando luego tres a cuatro brotes bien distribuidos de modo de que colonicen adecuadamente el espacio, los que serán las futuras ramas madres (Figuras 4.9 A y 4.9 B; Osorio, 1992). Durante la primera temporada de crecimiento se podrá cosechar fruta de los brotes seleccionados después del despunte. En la siguiente primavera se deben rebajar las ramas madres a tres a cuatro yemas, las que brotarán y se deberá seleccionar los dos brotes por rama madre que estén mejor ubicados, de modo de contar con tres a cuatro ramas madres con un total de seis a ocho brotes productivos por temporada.

- Sistemas de Conducción

Como se ha mencionado anteriormente, las ramas del tamarillo son bastante frágiles y deben ser capaces de sostener racimos de hasta 1 kg, sumado a los nuevos racimos que vayan apareciendo a lo largo del brote productivo. Por esto, es necesario contar con alguna estructura de soporte para las ramas ya que de lo contrario, se pueden perder desde racimos hasta plantas completas. En Colombia se utilizan tutores similares a polines de 3 a 4" de diámetro enterrados junto a las plantas a los que, cuando comienza la fructificación, se amarran los brotes productivos (Figura 4.10 A). También se pueden emplear puntales individuales para cada rama madre.

- Poda de Producción

La poda de producción se realiza en primavera, tan pronto como el peligro de heladas haya pasado. Las podas tempranas de primavera permiten mantener la misma precocidad en la maduración de los frutos que en plantas no podadas. En cambio, podas realizadas en el mes de noviembre retrasan la maduración de los frutos (Sudzuki y Defilippi, 1996). La poda productiva consiste en rebajar los brotes productivos de la temporada anterior, dejando 3 a 4 yemas bien orientadas, de las que posteriormente deben seleccionarse los 2 brotes mejor

ubicados, que serán las ramas productivas de esa temporada (Figura 4.10 B). También se deben eliminar las

ramas secas, las ramas mal ubicadas (interior de la copa) y los sierpes (Osorio, 1992).



Figura 4.9. Plantas de tamarillo despuntadas en septiembre de 2011 (A) y las mismas plantas con cuatro brotes productivos en abril de 2012 (B).

- Raleo

El raleo de frutos es una práctica que no se realiza en tamarillo ya que, como se mencionó anteriormente, hay muchas caídas de flores y frutos.

- Riego

La literatura indica que las necesidades hídricas del tamarillo oscilan entre los 6.000 a 8.000 m³/ha, destacando que es un frutal que no tolera sequías prolongadas (CUC, 2009). Al respecto, el CEZA realizó un ensayo de tolerancia a la sequía, evaluando 2 tratamientos: riego (umbral de riego, 60% de pérdida de humedad aprovechable) y sequía (suspensión total del riego durante 35 días y reposición del riego). La sequía

se aplicó entre febrero e inicios de marzo de 2012, época en que la ETo es máxima y no hay precipitaciones. Se utilizaron plantas de 1 año de edad ecotipo naranjo plantadas en macetas de 850 L utilizando como sustrato tierra de hojas con suelo de la serie Tambillos. En la medida que avanzó la sequía las plantas fueron botando sus hojas de modo de disminuir la transpiración y también cayeron las flores y frutos cuajados, mientras que el intercambio gaseoso (conductancia estomática, tasa transpiratoria y fotosíntesis) se redujeron al mínimo. Al finalizar la sequía, y a dos semanas de retomado el riego, las plantas comenzaron a rebrotar y, posteriormente, florecieron al mes siguiente (Figuras 4.11 A, B y C).

- Nutrición mineral

Las recomendaciones de fertilización para la producción de tamarillo en Nueva Zelanda sugieren dividir las aplicaciones de nitrógeno en poda (Septiembre), Noviembre y Febrero (un tercio del total en cada época) y las aplicaciones de potasio en Septiembre y Diciembre. Las cantidades de nutrientes usualmente recomendadas son 170 kg de nitrógeno, 45 Kg de fósforo, 160 kg de potasio, 30 kg de magnesio y 65 kg de calcio por hectárea para producir 16 ton de fruta/ha (Clark y Richardson, 2002).

Plagas y enfermedades

- Plagas

Dentro de las especies fitófagas citadas para países productores de tamarillo, la literatura destaca a *Leptoglossus zonatus*, hemíptero que, además de atacar frutos y producir su momificación, es el transmisor de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*; Osorio, 1992).

En Chile está presente como plaga secundaria de manzanos y carozos *Leptoglossus chilensis* (chinche pardo de los frutales), sin tener antecedentes de su comportamiento en tamarillo.

También es citado para su zona de origen el género *Margarodes* spp. (Osorio, 1992), estando presente en el Chile *Margarodes vitis*. Según Sudzuki

y Defilippi (1996), en Chile la principal plaga es el pulgón (Figura 4.12).

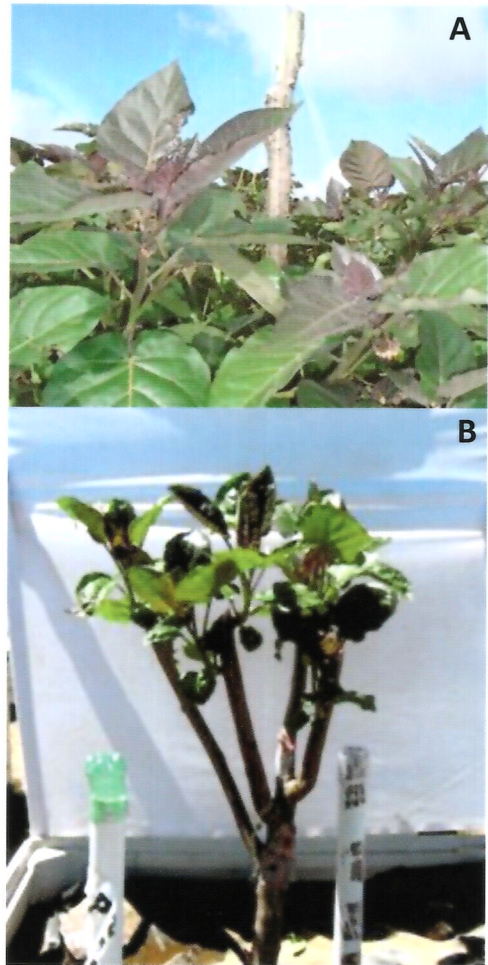


Figura 4.10. Planta de tamarillo con sistema de amarre de brotes productivos en Colombia (A) y planta de tamarillo a un mes de haber sido podada. Se observan 4 ramas madres con 2 brotes productivos cada una, Las Cardas, Chile (B).

En condiciones de vivero el tamarillo también es afectado por la mosquita blanca de los cítricos y la arañita roja.

El problema de la mosquita blanca es que existen productos para el control de los huevos y del adulto, pero no para las ninfas. Sin embargo, al llevar las plantas a terreno, las hojas del tamarillo se vuelven más gruesas y la mosquita blanca no lo ataca.

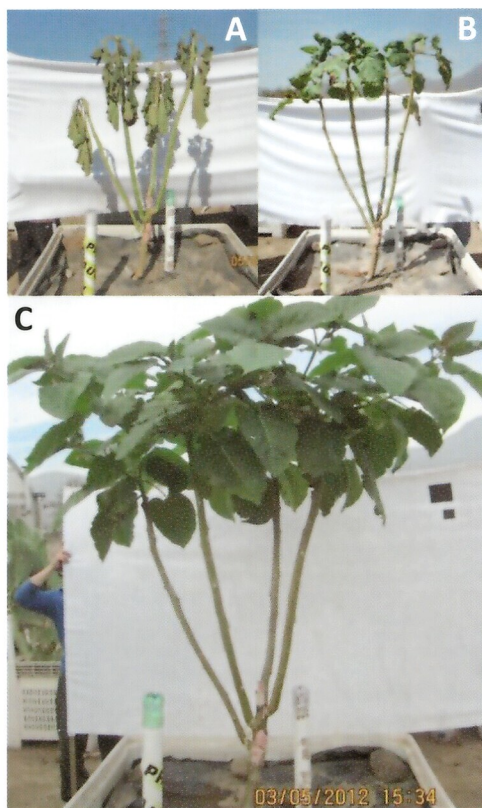


Figura 4.11. Planta de tamarillo sometida a una sequía estival de 35 días. Estado de la planta al momento de máxima sequía (A); y a una semana (B) y a 50 días de restituido el riego (C).

El tamarillo se ve muy afectado por la presencia de nemátodos en el suelo (Sudzuki y Defilippi, 1996). Los

siguientes nemátodos han sido asociados al tamarillo: *Xiphinema americanum*, *Meloidogyne* sp. y *Pratylenchus* sp. (Knight, 2001).

- Enfermedades

Entre las enfermedades más importantes citadas para países productores de tamarillo se encuentran la Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y la Marchitez Bacterial (*Pseudomonas solanacearum*). Otros géneros que afectan al tamarillo en menor medida son *Alternaria* sp., *Botrytis* sp., *Oidium* sp., *Cercospora* sp. y *Phoma* sp (Osorio, 1992). Sudzuki y Defilippi (1996) citan para Chile a los agentes patógenos *Pseudomonas syringae* (mancha bacterial), *Sclerotinia sclerotiorum* y *Phytophthora cryptogea* (pudrición de la raíz). También se señala susceptibilidad a algunas enfermedades virales.

En Colombia *Colletotrichum gloeosporioides* causa pérdidas superiores al 50% en tamarillo, su manejo se basa fundamentalmente en la aplicación de fungicidas y es usual que la vida útil de las plantaciones se vea limitada a 3 o 4 años producto de este problema. En condiciones de vivero en Chile se observó daño vascular atribuido a *Fusarium* sp., lo que incluso puede causar la muerte de plantas (Figura 4.13).



Figura 4.12. Ápice de brote de tamarillo con presencia de pulgones.

Cosecha (manejo de cosecha y producciones obtenidas)

La planta de tamarillo alcanza su madurez productiva a los tres años de plantación y tiene una vida comercial útil de aproximadamente 7 a 8 años (Clark y Richardson, 2002).

Los rendimientos promedios en Colombia fluctúan entre 40 y 50 ton/ha anuales (Osorio, 1992). En climas mediterráneos también puede presentar rendimientos interesantes, superiores a 20 a 30 kg por planta, a pesar de presentar problemas de adaptación a este tipo de clima (Prohens *et al.*, 2004). Una plantación de alto rendimiento de tamarillo en Nueva Zelanda puede llegar a producir 15 ton/ha por año (Clark y Richardson, 2002).

Como consecuencia del hábito de crecimiento indeterminado del tamarillo, la fruta de un árbol madura de manera gradual y es necesario

realizar múltiples cosechas (Figura 4.14 A, Portela, 1999). Por su floración extendida, el periodo de cosecha se prolonga por 10 o más semanas, en otoño e invierno (Sudzuki y Defilippi, 1996). Los tamarillos se cosechan a mano, partiendo el pedicelo en la zona de abscisión que se forma a 3,5 a 5 cm de la base del fruto (Portela, 1999).



Figura 4.13. Planta de tamarillo sana (izquierda) y planta afectada por *Fusarium* sp. (derecha).

El tamarillo es un fruto no climatérico por lo que debe ser cosechado en su estado de madurez de consumo (Sudzuki y Defilippi, 1996). Algunos indicadores de madurez de frutos usados son firmeza, peso,

ausencia de decoloración, un contenido de azúcar mínimo de 8 a 10 % y una acidez titulable de 0.25 a 0.36 % (ácido cítrico). Como principal índice de madurez se utiliza la cobertura de color, el cual debe ser completamente roja, anaranjada o amarilla (Mwithiga *et al.*, 2007; Kader, 2005).

Manejo de post-cosecha

- Almacenamiento y transporte

Según Portela (1999) las condiciones óptimas de almacenamiento para los tamarillos son 3,0 a 4,5 °C y 90 a 95% de humedad relativa. Por debajo de 3,0 °C los frutos sufren daños por frío (pardeamiento de la piel y presencia de pequeñas depresiones en la superficie del fruto) y, a temperaturas mayores que 4,5 °C, las pérdidas por pudriciones aumentan fuertemente. Esto concuerda con lo señalado por Espina y Lizana (1991), quienes obtuvieron el mejor comportamiento de fruta en postcosecha, en términos de un menor pardeamiento, conservándola a 7°C y 85 a 90% de humedad relativa por un periodo de hasta 32 días, pero con una incipiente infección de la zona pedicelar.

Las pudriciones son la principal causa de pérdidas en postcosecha de tamarillos y los principales microorganismos responsables son: *Colletotrichum acutatum*, *C. gloeosporioides*, *Diaporthe phaseolarum*,

Phoma exigua y *Phomopsis* sp (Portela, 1999).

La combinación de una inmersión por 8 a 10 minutos en agua a 50°C seguida de una sumersión por un minuto en una solución de imazalil (250 mg principio activo·L⁻¹) a 15 a 20 °C y la aplicación de cera reduce las infecciones pedicelares y la pérdida de peso durante el almacenamiento, permitiendo conservar la fruta hasta 8 semanas a 3,5 °C seguidas de 7 días a 20 °C (Portela, 1999).

Perspectivas a futuro

Actualmente en Chile no existen plantaciones comerciales de tamarillo, salvo una pequeña superficie en el Vivero La Serena, sin embargo existen condiciones edafoclimáticas aptas para su cultivo en una zona está acotada de la Región de Coquimbo, lo que es una interesante alternativa para posicionarlo como un producto típico de la zona. Además, las condiciones climáticas durante la maduración del fruto son más favorables que en los países de donde es originario ya que no hay lluvias durante dicho período. Esto permite producir fruta de calidad apuntando a los mercados del hemisferio norte donde el tamarillo es apreciado como fruto 'exótico' (Figura 4.15). Cabe señalar que en los países con mayor superficie cultivada en Latinoamérica, Colombia y Ecuador, generalmente hay lluvias durante la

maduración de la fruta, lo que causa pudriciones de frutos.

Por otra parte, existen pequeños emprendimientos privados que han

utilizado sus frutos para producir mermeladas, salsas y conservas (Figura 4.14 B) que tiene un precio interesante en las ferias locales.



Figura 4.14. Tamarillo con frutos maduros e inmaduros (A) y Ex Ministro de Agricultura, Sr. Luis Mayol junto a Laura Ascui observando subproductos de tamarillo (B).



Figura 4.15. Tamarillos (izquierda y derecha) junto a otros frutos 'exóticos' en la feria "Fruit attraction" de Madrid, España.

LITERATURA CITADA

Boyes, S. y P. Strubi. 1997. Organic acid and sugar composition of three New Zealand grown tamarillo varieties (*Solanum betaceum* (Cav.)) New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. Vol. 25:79-83.

Centre for Underutilised Crops (CUC). 2009. Tree tomato (*Cyphomandra betacea*). PAVUC Fact Sheet N°6. Disponible en: http://www.pavuc.soton.ac.uk/fruits/fruits_factsheets/Factsheet_6_Tree_tomato_final_3006.pdf

Clak C.J. y A.C. Richardson. 2002. Biomass and mineral nutrient partitioning in a developing tamarillo (*Cyphomandra betacea*). Crop. Scientia Horticulturae N°94: 41-51.

Contreras, I. y J. Almeida. 2003. Micropropagación del tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt). Solanaceae silvestre usada en la alimentación. Forest. Venezuela N°47 (2): 9-13. Engineering N°79: 117-123.

Espina, S. y L. Lizana. 1991. Comportamiento de tamarillo (*Cyphomandra betacea* (Cav.)

Sendtner) en almacenaje refrigerado. Proceeding of the Interamerican Society for Tropical Horticulturae. Vol. 35: 285-290.

Kader, A.A. 2005. Tamarillo, recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. Postharvest Technology Research & Informacion Center.

Knight, K.W.L. 2001. Plant parasitic nematodos associated with six subtropical crops. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. Vol. 29: 267-275.

Lewis D.H. y J.A. Considine. 1999. Pollination and fruit set in the tamarillo (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt). 1. Floral biology. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, Vol. 27: 101-112.

Lewis D.H. y J.A. Considine. 1999. Pollination and fruit set in the tamarillo (*Cyphomandra betaceae* (Cav.) Sendt). 2. Set fruit. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, Vol. 27: 113-123.

Muñoz, V., Talamilla, M. y Franck, N. 2013. Desarrollo, productividad y

fisiología de plantas de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* L.) establecidas en condiciones de valle interior y sector costero de la Región de Coquimbo. p. 233. In: Libro de Resúmenes. 64° Congreso Sociedad Agronómica de Chile. Viña del Mar, Chile. 23-26 Septiembre, 2013. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Viña del Mar, Chile.

Mwithiga, G., M.I. Mukolde, D. Shitalda y P.N. Karanja. 2007. Evaluation of the effect of ripening on the sensory quality and properties of tamarillo (*Cyphomandra betaceae*) fruits. Journal of Food

Osorio, G. 1992. Avances en el cultivo del tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae*). Acta Horticulturae N°310.

Portela, S.I. 1999. Fisiología y manejo de postcosecha del tamarillo (*Cyphomandra betaceae*). Avances en Horticultura N°4:01

Prohens, A., A. Rodriguez-Burruezo y F. Nuez. 2004. Breeding Andean solanaceae fruit crops for adaptation to subtropical climates. Acta Hort N° 662.

Saldarriaga-Cardona, A., J. Castaño y R. Arango. 2008. Caracterización del agente causante de la antracnosis en tomate de árbol, manzano y mora. Acad. Colomb. Cienc. N°32 (123): 145-156. Colombia.

Sudzuki, F. y B. Defilippi. 1996. El cultivo del tamarillo. El Campesino Vol. 127 N°12.

Capítulo 5

LA PITAHAYA

*(Hylocereus spp. y Selenicereus
megalanthus)*

VÍCTOR MUÑOZ-ARAVENA Y NICOLÁS FRANCK

Origen y distribución geográfica actual de cultivo

El origen de *Hylocereus spp.* está en los bosques tropicales y subtropicales de México y Centro y Sudamérica (incluyendo el sur de México, la vertiente Pacífico de Guatemala, Costa Rica, El Salvador, Venezuela, Colombia, Ecuador, Curaçao, Nicaragua, Panamá, Brasil y Uruguay; Figura 5.1 A; Gunasena *et al.*, 2007). Desde su centro de origen la pitahaya se ha dispersado hacia América tropical y subtropical, Asia, Australia y el Medio Oriente, siendo *Hylocereus undatus* la especie más cosmopolita.

Tradicionalmente este frutal es cultivado a escala comercial principalmente en Colombia, Costa Rica y Nicaragua, países de donde es originario. Sin embargo, en los últimos años, su cultivo ha tenido éxito en países como Vietnam, Tailandia, Australia e Israel, donde es considerado “fruto exótico” y alcanza buenos precios (Le Bellec *et al.*, 2006).

Clasificación Taxonómica

- Especies

Las cactáceas comprenden 120 a 200 géneros, dentro de los que 1500 a 2000 especies se encuentran en condiciones semidesérticas y regiones tropicales cálidas de Latinoamérica. Las

cactáceas son apreciadas principalmente por sus cualidades ornamentales, pero también existen aproximadamente 250 especies que son cultivadas como frutales y cultivos industriales. Sin embargo, pocas especies son de importancia económica.

La clasificación de las especies de cactus comestibles se basa en la naturaleza de su hábito crecimiento. Según este criterio se distinguen 3 grupos: cactáceas trepadoras, cactáceas columnares y las *Opuntias* que se caracterizan por sus tallos en forma de paleta. Las cactáceas trepadoras comestibles pertenecen a 2 géneros diferentes; *Hylocereus* y *Selenicereus*, mientras que en el caso de las columnares destacan los géneros *Cereus*, *Pachycereus* y *Stenocereus* (Gunasena *et al.*, 2007). El copao (*Eulychnia acida* Phil.), frutal endémico del norte de Chile, es un ejemplo de cactácea de hábito columnar.

El género *Hylocereus* (A. Berger) Britton & Rose es un género pequeño que contiene cerca de 18 especies tropicales americanas. Los miembros de este género son cactus trepadores (con raíces aéreas), con tallos triangulares y flores blancas nocturnas muy fragantes. Sus frutos tienen brácteas y las semillas son pequeñas y blandas (Figura 5.1 B).

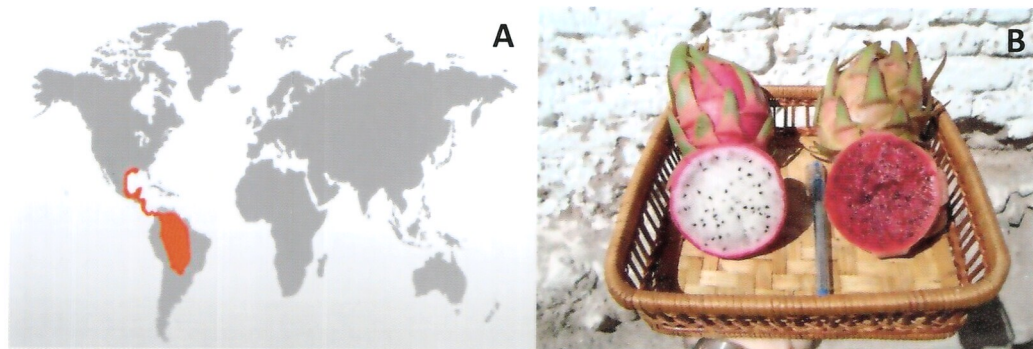


Figura 5.1. Zona de origen de la pitahaya (A) y frutos de *Hylocereus* sp. producidos en la Región de Arica y Parinacota, Chile (B).

Por su parte, el género *Selenicereus* tiene sólo una especie, *S. megalanthus*, también conocida como “pitahaya amarilla” o “pitahaya colombiana” (Figura 5.2 A). Esta especie se caracteriza por tener frutos de piel amarilla que presentan espinas, pulpa blanca con semillas oscuras y más duras y grandes que aquellas de las especies del género *Hylocereus* pero con un sabor más intenso que los frutos de las especies este último género.

- Nombres comunes

Este frutal recibe diferentes nombres según el país donde se encuentre, entre los que destacan: pitahaya, pitajaya (Colombia), Dragon fruit, Belle of the night (inglés), Belle de nuit (Francia), Distelbrine (Alemania), flor de cáliz (Venezuela, Puerto Rico), entre otros. Se señala que el nombre “pitahaya” lo definieron los

conquistadores españoles al llegar a América, y significa “fruto escamoso”.

Variedades cultivadas

Al igual que en el caso de las tunas, la polinización cruzada es una gran fuente de combinación genética y, espontáneamente, pueden aparecer nuevas posibles variedades, ya que pueden ser exitosas la polinización intraespecífica y la interespecífica (*Hylocereus* x *Selenicereus*). Por ello, la hibridación utilizando clones con características interesantes ha sido una técnica ampliamente usada por fitomejoradores de Israel y Estados Unidos, dando como resultado una gran cantidad de variedades que están en evaluación (Figura 5.2 B y 5.3 A).

Por otro lado, existen diferencias entre las distintas especies del género *Hylocereus*, y dentro de cada género es posible distinguir variedades y clones. Estas variedades tradicionales son

usadas en los países de donde el cultivo es originario y fueron la base

de los programas de mejoramiento en otros lugares del mundo.



Figura 5.2. Frutos de *Selenicereus megalanthus* (A) y frutos de variedades del género *Hylocereus* con distinto color de pulpa obtenidas en Estados Unidos (gentileza de Megan Lynch) (B).

Dentro de los clones de *Hylocereus costaricensis* (Figura 5.3 B) destacan:

- **Rosa:** Tallos de color verde claro, alargados y gruesos. Frutos redondos, de cáscara delgada de color rosa, con peso promedio de 457g, rodeados de brácteas separadas y cortas. El fruto al madurar tiende a rajarse.

- **Lisa:** Tallos largos, delgados y de color verde pálido. Sus frutos son redondos, con un peso de 400-450 g, rojo oscuros y de cáscara gruesa. Estos presentan brácteas gruesas, lo que les confiere resistencia al transporte. Es sensible a pudriciones del tallo causadas por *Erwinia carotovora*. El fruto alcanza los 250 g y 19º Brix (OIRSA, 2000).

- **Cebra:** Los tallos son gruesos y cortos y presentan líneas blancas de aspecto ceniciento. El fruto es ovalado,

de color rojo intenso y cáscara gruesa. El peso promedio del fruto es de 330 g.

También existen clones de *Hylocereus undatus* entre los que destacan **Orejona**, la que tiene tallos delgados y alargados, de color verde oscuro. El fruto tiene forma ovalada y pesa 350-400 g. Su cáscara es roja-púrpura y tiene gran cantidad de brácteas, siendo éstas más largas que en los otros clones y resistentes al daño mecánico.

Por su parte, en la “pitahaya amarilla o colombiana”, no se distinguen variedades, pero si se ha usado para generar híbridos con *Hylocereus*. Sus frutos son alargados y pequeños, de cáscara es amarilla y pulpa blanca al madurar. Presenta grupos de espinas, las que se desprenden fácilmente a la madurez usando una brocha o cepillo.



Figura 5.3. Frutos de variedades producidas en Israel por la Universidad de Ben Gurion (A) y frutos de *Hylocereus costaricensis* variedades cebra (abajo-izquierda), rosa (arriba-izquierda) y lisa (centro; gentileza de Megan Lynch) (B).

Descripción morfológica

- Descripción de la planta

La pitahaya es una planta trepadora (Figura 5.4 A) que posee un sistema radicular superficial que puede alcanzar hasta 15 cm de profundidad, ya que el crecimiento de las raíces es principalmente paralelo a la superficie del suelo. Además, desarrolla raíces adventicias a partir de los tallos (Figura 5.4 B), las que le permiten adherirse, trepar y mantener la planta erecta (OIRSA, 2000; Gunasena *et al.*, 2007).

Los tallos son de 3-6 cm de ancho, generalmente péndulos, verdes, de sección triangular (Figura 5.5 A), carnosos y succulentos, trepadores, con muchos segmentos ramificados. Presentan 3 costillas de 1,6-2,6 cm de longitud. Las areólas están a 2-4 cm

entre sí; con 3 espinas de 2-4 mm de largo. Axilares a las espinas se ubican las yemas que pueden dar origen a nuevos tallos o flores. También existen variedades que no presentan espinas. Los tallos pueden alcanzar 6 m o más dependiendo de las condiciones de cultivo. En *H. undatus*, los estomas están encriptados en la epidermis y los tejidos de los tallos contienen un volumen considerable de parénquima. Sin embargo, ellas no tienen una capa de cera, por lo que la tolerancia a la sequía es menor al compararla con *H. polyrhizus* que sí presenta cera (Figura 5.5 B; OIRSA, 2000).

Se han publicado pocos estudios sobre la biología floral de *H. undatus* y *H. costaricensis*, las 2 especies de pitahayas más ampliamente cultivadas en el mundo. Las flores de estas 2 especies aparecen bajo las areolas, son

largas (hasta 30 cm), tienen forma de embudo, son de hábito nocturno (Figura 5.6 A) y se dan en madera de un año. El ovario está ubicado en la base de un largo tubo llevando las escamas foliares hacia el exterior. Hay

numerosos estambres sobre un tallo de anteras esbeltas (Figura 5.6 B). El estilo puede llegar hasta los 20 cm de largo y 0,5 cm de diámetro (Le Bellec *et al.*, 2006), mientras que el peso de las flores fluctúa entre 140 a 280 g.



Figura 5.4. Planta de pitahaya trepando en una pirca en Vallenar (Chile) (A) y raíces adventicias que le permiten adosarse y trepar (B).

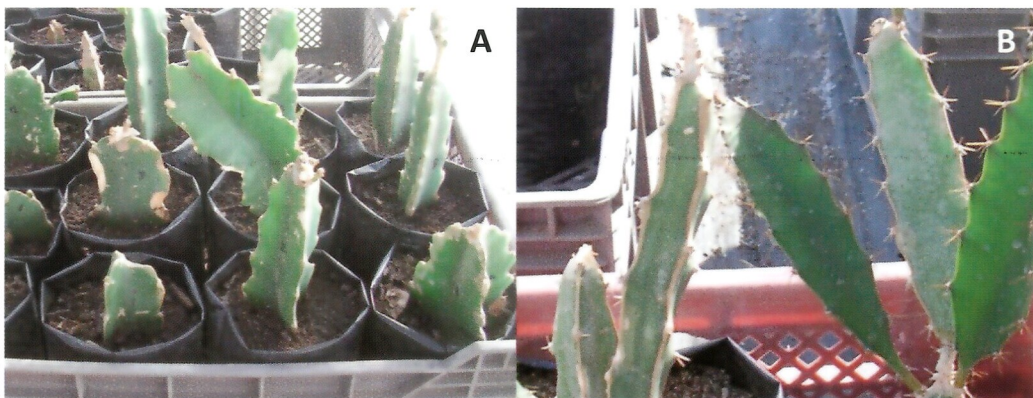


Figura 5.5. Tallos de pitahaya (A) y tallo de *H. polyrhizus* con presencia de cera, lo que le confiere mayor tolerancia a la radiación (B).

Los frutos tienen un largo de 10 a 12 cm, 7 cm de ancho, son ovoides, rojo a púrpuras, con brácteas, pulpa jugosa blanca, rosada o púrpura. Antes de madurar el fruto es de color verde. Al

avanzar en la madurez la cáscara y la pulpa de frutos de variedades del género *Hylocereus* cambian a color rojo o púrpura, mientras que en el caso de *Selenicereus megalanthus* la cáscara es

amarilla y la pulpa es blanca, y los frutos presentan espinas. El fruto pesa 200 a 350 g y contiene muchas semillas (650 semillas/fruto; Le Bellec *et al.*, 2006). Durante el crecimiento del fruto

las semillas son de color café oscuro y cuando el fruto esta completamente maduro adquieren color negro. Las semillas se encuentran distribuidas por toda la pulpa (OIRSA, 2000).

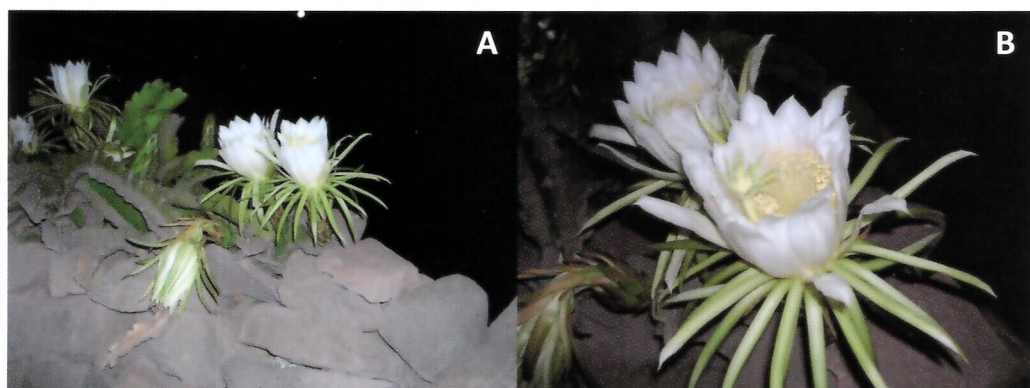


Figura 5.6. Floración nocturna de pitahayas (A) y flor de pitahaya con una gran cantidad de estambres y un estigma ubicado por sobre ellos, característica típica de una variedad auto-incompatible (B).

- Biología floral

La floración de las pitahayas depende del largo del día, y en el hemisferio sur, *H. undatus* y *H. costaricensis* florecen desde noviembre a abril. Existen episodios de floración cíclicos y se extienden por todo ese período. El número de episodios de floración dependen de la especie: 7 a 8 para *H. costaricensis* y 5 a 6 para *H. undatus*. Hay un período de 3 a 4 semanas entre las cohortes de floración, por lo que es posible ver yemas florales, flores, frutos jóvenes y frutos maduros en la misma planta en un momento determinado (Le Bellec *et al.*, 2006). Al inicio de la floración, 3 a

5 botones esféricos emergen desde los márgenes de los tallos y 2 a 3 pueden desarrollarse a yemas florales en 13 días aproximadamente. De botón floral a floración transcurren entre 15 y 20 días, y de floración a fruto maduro, 30 a 40 días aproximadamente (Le Bellec *et al.*, 2006; Gunasena *et al.*, 2007). En sus países nativos, la polinización la realizan murciélagos o polillas de la familia *Sphingideae*, del género *Maduca*, por lo que no existen mayores problemas relacionados con los rendimientos fruta en los principales países productores de Latinoamérica y Asia. (Le Bellec *et al.*, 2006).

La dehiscencia (liberación del polen desde las anteras) ocurre unas pocas horas antes de la apertura completa de la flor. El polen es muy abundante, pesado y grueso. Las flores abren entre las 20:00 y 20:30, mientras que a las 14:00 del día siguiente la flor se cierra, después de ser polinizada (Le Bellec *et al.*, 2006; Gunasena *et al.*, 2007). En las figuras 5.7A a 5.7F se presenta un seguimiento realizado a dos flores de

pitahaya durante la floración. La parte inferior de una flor no fertilizada se vuelve amarillenta y la flor completa cae a los 4 a 6 días después de la floración, mientras que la parte inferior de una flor fertilizada se mantiene verdosa y aumenta su volumen, lo que indica que el fruto ha cuajado (Le Bellec *et al.*, 2006; Figuras 5.8 A y 5.8 B).

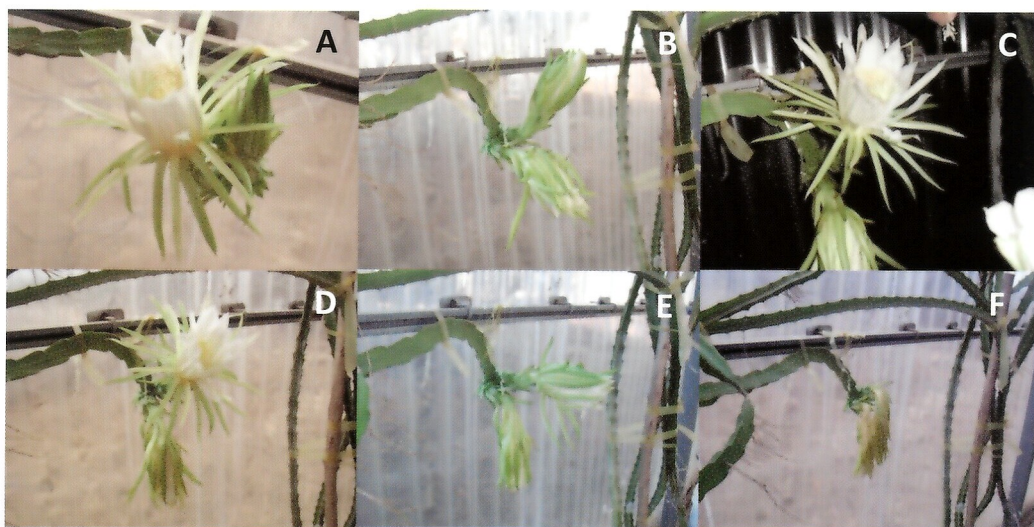


Figura 5.7. Seguimiento de apertura y cierre de flores de pitahaya. 11:00: flor abierta la noche anterior (izq.) y botón floral (der.); 20:00: flor que abrió la noche anterior empieza a marchitarse y el botón floral comienza a abrir (B); 00:00: flor completamente abierta (C); 14:00: flor de la derecha aún abierta, mientras la flor del día anterior muestra signos de marchitez (D); 20:00: flor de la derecha comienza a marchitarse (E) y 3 días después ambas flores muestran signos de marchitez (F).

- Crecimiento y desarrollo del fruto

Los frutos se desarrollan desde el ovario (la pulpa) y el receptáculo que rodea el ovario (la piel o cáscara). El fruto cambia el color de su cáscara desde verde a rojo cerca de 25 días

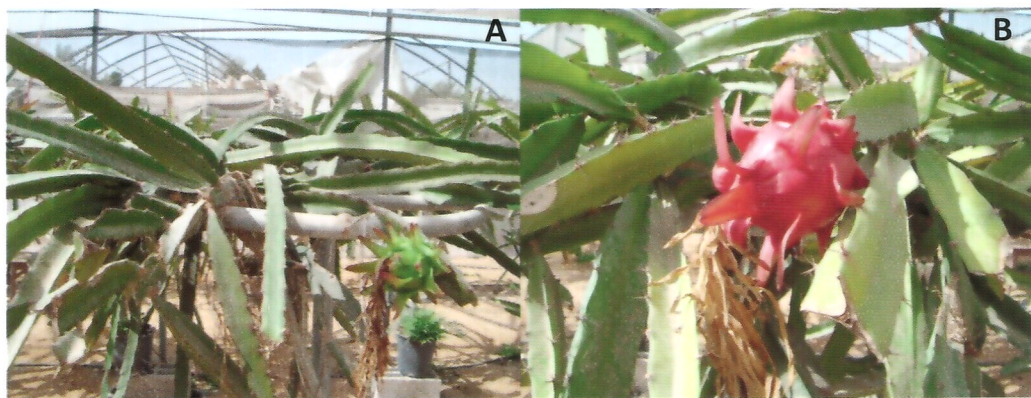
después de la floración (Figuras 5.9 A y 5.9 B). La cáscara se vuelve completamente roja en los 4 a 5 días siguientes al primer cambio de color. Alrededor de 25 a 41 días después de floración, el peso seco de la pulpa del fruto aumenta significativamente,

mientras que el peso seco de la cáscara y el porcentaje de agua de la cáscara disminuyen. La firmeza del fruto también disminuye durante este

período. Los frutos maduros pueden ser cosechados entre 30 a 50 días después de la polinización (Gunasena *et al.*, 2007).



Figura 5.8. Fruto cuajado (A) y flor no cuajada (B) de pitahaya.



Figuras 5.9. Fruto cuajado de pitahaya a 10 días de la floración (A) y fruto de pitahaya a 30 días de la floración (B).

Descripción de los frutos, valor nutritivo y propiedades nutricionales de éstos

En el caso de *Hylocereus* el fruto es mediano a largo, es una baya epigea

que puede tener diversas formas según la variedad, aunque generalmente es oblonga. La baya se distingue por su piel roja-púrpura con largas brácteas que presentan distintas formas y color dependiendo de la

variedad. La pulpa del fruto puede ser blanca, roja o amarilla y su contenido de jugo depende de las variedades y/o especies. Al pico de madurez los frutos se vuelven rojo-rosados, aunque las brácteas permanecen verdes.

La parte comestible del fruto es el mesocarpio, el cual tiene una textura mucilaginoso con muchas semillas pequeñas, las que son blandas y están distribuidas homogéneamente en toda la pulpa. La pulpa representa el 60 a 80% del peso de un fruto maduro en la mayoría de las especies de *Hylocereus*. El rendimiento de jugo sin semillas es mucho menor, representando sólo el 55% en algunos cultivares de pitahaya. El mesocarpio contiene 82 a 88% de agua con un contenido habitual de sólidos solubles de 70 a 110g/L a la madurez (Le Bellec *et al.*, 2006). Las especies de *Hylocereus* con pulpa blanca tienen mayor contenido de sólidos solubles que las que tienen pulpa roja. Por otra parte, la distribución de los sólidos solubles en la pulpa del fruto no es homogénea, siendo la parte central más rica en azúcares que la parte más periférica. Los sólidos solubles son principalmente azúcares reductores, específicamente glucosa y fructosa, con contenidos de 300 a 550 g/L y 200 g/L respectivamente, dependiendo de la variedad y cultivares.

La acidez de la pulpa generalmente es baja, entre 2,4 a 3,4 g/L, lo que da como resultado una alta relación

sólidos solubles/acidez, resultando en una pobre calidad sensorial cuando el jugo es consumido solo. Tradicionalmente, la calidad sensorial es mejorada considerablemente mezclando el jugo de pitahaya con un jugo de fruta más ácido (ej. limón). Los principales ácidos orgánicos que presenta el jugo de pitahaya son el ácido cítrico y el ácido L-láctico (Le Bellec *et al.*, 2006).

Las especies de *Hylocereus* son muy pobres en vitamina C con menos de 11 mg/L, mientras que otras cactáceas, como la tuna, tienen un contenido mucho mayor, comparable incluso con los cítricos. Otros metabolitos secundarios se presentan en grandes cantidades en los frutos de pitahaya, especialmente en las especies con pulpa roja-púrpura. Esto debido a que el color rojo de la pulpa está asociado a la presencia de betalainas, pigmentos que reemplazan a las antocianinas en frutales pertenecientes a la mayoría de las familias de *Caryophyllales*. Las betalainas son de interés económico no sólo como colorantes de alimentos, sino también por sus propiedades antioxidantes (Le Bellec *et al.*, 2006).

El sabor de la pulpa es similar a la del kiwi (Le Bellec *et al.*, 2006). La pulpa de la pitahaya puede ser enfriada y cortada por la mitad para mostrar la atractiva pulpa, y luego se corta o se saca con una cuchara, y es usada en ensaladas de fruta en restaurantes.

Requerimientos del cultivo (clima, suelo)

La rusticidad de las especies de *Hylocereus* les permite prosperar bajo diferentes condiciones ecológicas. Poseen una alta diversidad genética, lo que le ha permitido una amplia distribución geográfica y climática, desde lugares ubicados a nivel del mar hasta 1.746 m de altura; en zonas con precipitación promedio anual de 430 mm a más de 3.500 mm; y temperaturas promedio anual es de 13°C a 28,5°C (Castillo y Calix de Dios, 1997). Por ello, existen materiales adaptados a diferentes condiciones, pudiendo ser una alternativa en lugares donde las condiciones climáticas son inapropiadas para otros cultivos.

En Nicaragua (OIRSA, 2000) se señala que la pitahaya roja requiere 28 a 30°C y la pitahaya amarilla 18 a 25°C. Por su parte, Gunasena *et al.* (2007) afirman que el rango de temperatura promedio anual apropiado para el cultivo es 20 a 30°C. La pitahaya puede sobrevivir en climas muy calurosos con temperaturas superiores a 38 a 40°C, mientras que temperaturas de -2°C generan daños en las plantas y, a -4°C, se ha observado muerte de plantas.

A diferencia de otras cactáceas, las cuales se originan del desierto, la pitahaya tiene su origen en áreas con abundantes lluvias. Se señala que requiere un promedio anual de

precipitaciones de 500 a 1.500 mm para un crecimiento adecuado de la planta. Lluvias excesivas pueden causar caídas de flores y, a veces, la pudrición de los frutos (Gunasena *et al.*, 2007). Otra fuente indica que la pitahaya roja requiere 500 a 700 mm de precipitaciones anuales, mientras que la pitahaya amarilla requiere 1.300 a 2.200 mm de precipitaciones anuales (OIRSA, 2000).

Las especies de *Hylocereus* son hemiepífitas y, por lo tanto, crecen mejor en condiciones de semi-sombra (condiciones provistas por los árboles). Sin embargo, ciertas especies pueden tolerar de mejor manera condiciones de plena exposición al sol (*H. undatus*, *H. costaricensis* y *H. purpusii*), aunque la exposición solar directa y la escasez de agua puede llevar a severas quemaduras en los tallos (Figura 5.10 A). En el desierto de Neveg (Israel), las condiciones más favorables para el crecimiento y producción de fruta se encontró utilizando mallas de 30% de sombra para *H. polyrhizus*. En el caso de *H. trigonus*, esta sólo se puede cultivar con un mínimo de 50% de sombra (Le Bellec *et al.*, 2006). Por otro lado, el exceso de sombra genera plantas etioladas (tallos delgados y alargados) y una menor floración. Resultados preliminares de ensayos realizados en Chile indican que mallas de 50% de sombra permiten un buen crecimiento de los tallos, mientras que la exposición directa provoca menor crecimiento de los tallos, quemaduras

y necrosis. También se observó que *Selenicereus megalanthus* es más

sensible a la radiación en comparación con *Hylocereus* (Figura 5.10 B).

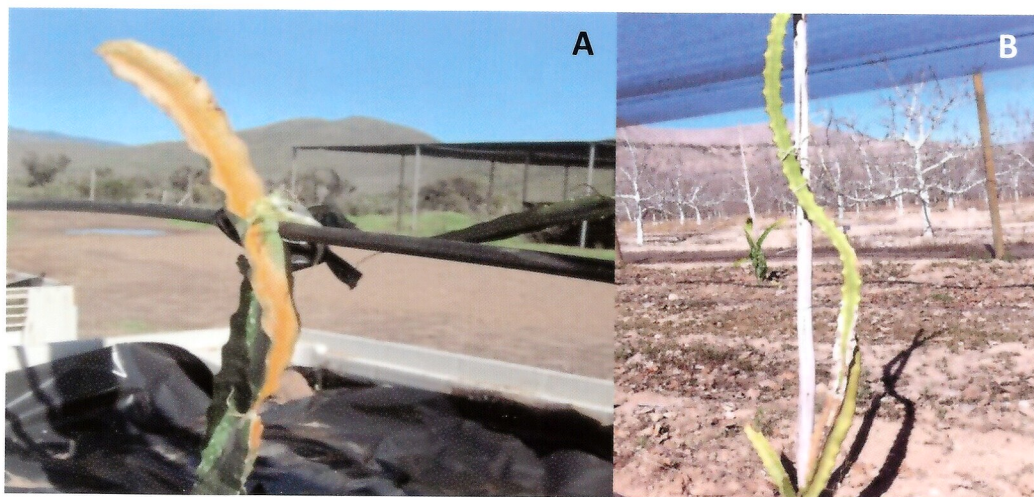


Figura 5.10. Tallo de pitahaya con signos de quemadura producto de la exposición directa al sol (A) y planta de *Selenicereus megalanthus* establecida bajo malla en Vicuña, con signos de daño por radiación (B).

Respecto al suelo, la pitahaya puede ser cultivada bajo diversas condiciones edáficas. El factor más importante es el buen drenaje, ya que no tolera el anegamiento. La pitahaya requiere suelos franco arenosos para tener un buen crecimiento. En suelos arcillosos se provocan asfixias radicales y cuando el suelo se seca, se agrieta y las raíces pueden sufrir daños mecánicos. La pitahaya prefiere suelos ligeramente ácidos (pH 5,5 a 6,5) y altos contenidos de materia orgánica. Puede tolerar algo la salinidad de suelo, sin embargo el nivel de la tolerancia va a depender de los cultivares (Le Bellec *et al.*, 2006; Gunasena *et al.*, 2007).

Propagación y plantación

H. undatus y *H. costaricensis* pueden ser propagadas naturalmente y de manera sencilla por tallos que se desprenden, tan pronto estos tocan el suelo. La propagación por semillas y la multiplicación *in vitro* de brotes jóvenes o plantas adultas también es posible. Sin embargo, la multiplicación por estacas es preferible, ya que permite una reproducción segura y económica de la variedad. Además, la etapa productiva se alcanza más rápidamente con estacas: menos de un año versus tres años para plantas obtenidas desde semillas (Le Bellec *et al.*, 2006).

Para la reproducción por estacas se recomienda usar tallos de un año de 15 a 45 cm de largo (Figura 5.11 A). Se debe realizar un curado durante 1 a 2 semanas en un lugar seco y sombreado. Luego, las estacas de pueden llevar a terreno directamente o colocarse en bolsas. En ambos casos el suelo debe estar seco y, transcurridas 3 a 4 semanas, se debe revisar el enraizamiento de las estacas. Sólo cuando las estacas hayan enraizado se debe comenzar el riego ya que, si se riega antes, la planta no podrá absorber el agua por no tener raíces y aumenta la incidencia de pudriciones. Para propagar en bolsa, es recomendable colocar las estacas en un sustrato poroso (ej. perlita) hasta que enraícen (Figura 5.11 B), luego traspasarlas a bolsas con una mezcla de tierra de hojas y arena (1:1) y, al cabo de unas semanas las plantas estarán en condiciones de ser plantadas en terreno (Figura 5.11 C).

El hoyo de plantación debe ser de 30 cm de profundidad y 20 cm de ancho,

y se recomienda plantar en septiembre o cuando no exista peligro de heladas y lluvias.

Como se expuso anteriormente, las pitahayas son plantas trepadoras hemiepífitas, que en la naturaleza crecen sobre árboles ayudadas por sus raíces adventicias. Por otro lado, los tallos productivos de la pitahaya son los tallos de uno o más años, péndulos, por lo que para asegurar una producción comercial se debe maximizar la cantidad de tallos péndulos y considerar la naturaleza trepadora de la planta implementando sistemas de soporte y conducción. Dejarlas crecer libremente no es recomendable ya que se dificulta su manejo (polinización, cosecha, etc.), con el suelo le causará daños a la planta (Le Bellec *et al.*, 2006) y se reduce la interceptación de la radiación solar. La distancia de plantación a utilizar depende del sistema de soporte que se (detallado más adelante).

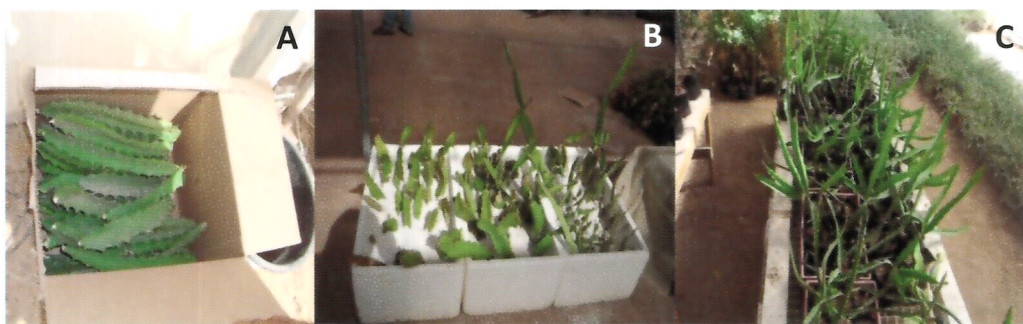


Figura 5.11. Estacas de pitahaya de 40 cm durante proceso de curado (A), enraizando en perlita (B) y plantas de pitahaya en bolsa listas para la plantación (C).

- Polinización

Si bien existen variedades de pitahaya autocompatibles y autoincompatibles, en ambos casos se recomienda realizar polinización cruzada manual, ya que esto promueve un mayor tamaño de los frutos. El número de semillas viables por fruto, que dependen de la efectividad de la polinización, determinan el tamaño de éste. Adicionalmente la polinización determinará la longitud del fruto.

En algunos países, como Israel y Sudáfrica, prácticamente no existe producción natural de frutos de los clones introducidos de *H. undatus* y *H. costaricensis*. La autoincompatibilidad de algunos clones de estas especies y la ausencia de polinizadores eficientes

son los responsables de la falta de productividad. Las abejas son muy atraídas por las flores de la pitahaya y sus visitas pueden contribuir a la polinización. Sin embargo, la calidad de los frutos resultantes de la libre polinización es menor que la obtenida por polinización cruzada manual (Le Bellec *et al.*, 2006).

La polinización manual es simple y es facilitada por las características florales de *Hylocereus*, principalmente los grandes tamaños de las diferentes partes florales. Esta práctica debe llevarse a cabo desde antes de la apertura de la flor (desde las 16:30 hasta las 11:00 del día siguiente). Es una labor costosa, pero los frutos obtenidos vía polinización manual son de excelente calidad.



Figura 5.12. Colecta de anteras de flor de pitahaya (A), anteras en recipiente (B) y polinización de flores de pitahaya con pincel (C).

Para realizar la polinización se deben coleccionar anteras de una flor, colocarlas en un recipiente y luego depositar el polen en el estigma de otra flor con un pincel (Figura 5.12 A, B y C). Si la flor aún está cerrada, se debe pellizcar en

la punta, lo que permite exponer el estigma. Otra alternativa es frotar las anteras directamente (con una presión mínima) sobre el estigma. El polen puede ser removido desde una flor o clon diferente (o desde otra especie) y

almacenarse hasta que sea necesario. El polen de 1 flor permite polinizar 50 flores con pincel. Este se puede almacenar por 3 a 9 meses entre -18°C y -196°C sin riesgos. Los frutos obtenidos después de polinizar usando polen almacenado a sólo 4°C (refrigerador común) por 3 a 9 meses son de tamaño muy pequeño (Le Bellec *et al.*, 2006). Una forma fácil de diferenciar una pitahaya

autocompatible de una autoincompatible es observando sus flores, ya que las variedades autocompatibles tienen el estigma y las anteras a la misma altura (Figura 5.13 A), mientras que, en las variedades autoincompatibles, el estigma sobresale por sobre las anteras (Figura 5.13 B), lo que tiene como fin interceptar el polen de otras plantas ya que el propio no la fecunda.



Figura 5.13. Flor de pitahaya de clon autocompatible (A) y de clon autoincompatible (B).

En la Región de Coquimbo (Chile) es posible encontrar plantas de pitahaya del género *Hylocereus* usadas con fines ornamentales. La mayoría de ellas son del tipo autoincompatible, florecen entre diciembre y abril; y producen abundante polen. Durante tres temporadas se realizaron autopolinizaciones y polinizaciones cruzadas entre ejemplares de *Hylocereus* de distinta procedencia dentro de la Región de Coquimbo, y también utilizando polen de otras

cactáceas (*Eulychnia acida* y *Echinopsis pachanoi* y San Pedro), sin resultados satisfactorios. Por otro lado, se observaron plantas de pitahaya en la Región de Arica y Parinacota, cuya procedencia sería la Región de Coquimbo, las que, al realizarles polinización manual cruzada, lograban cuajar y producir fruta, lo que indicaría que existe otro factor que determina el éxito de la polinización (presumiblemente las temperaturas nocturnas).

Manejo del cultivo

- Poda de Formación

La pitahaya crece muy rápido y forma una masa densa y gruesa de tallos en la cima del sistema de conducción. Una planta sana y con buen crecimiento producirá 30 tallos durante el primer año, llegando hasta los 130 tallos en el cuarto año. Esta condición puede aumentar la incidencia de problemas de plagas y enfermedades, por lo que la poda y el manejo fitosanitario resultan esenciales (Gunasena *et al.*, 2007).

La poda de formación se realiza desde que la planta está en el vivero (si se propagan en bolsas), dejando 1 o 2 brotes por planta y eliminando el resto. La poda más fuerte se lleva a cabo al primer año de plantación. Independientemente del sistema de conducción, el tallo debe ser amarrado a él (Figura 5.14 A; Le Bellec *et al.*, 2006). Cuando la planta está en terreno se debe seleccionar el brote más alto y mejor ubicado, eliminando los brotes de más abajo. Todos los crecimientos laterales y las partes de la planta que tocan el suelo deben ser removidos, mientras que los tallos principales deben mantenerse. Cuando se alcance la cima del tutor, se deben despuntar los tallos. Esto promoverá la emisión de tallos colgantes desde la cima, lo que permitirá obtener buena fructificación al año siguiente (OIRSA, 2000).

- Sistemas de Conducción

Como se mencionó anteriormente, para el cultivo de la pitahaya se deben utilizar un sistema de conducción que permita obtener una cantidad adecuada de tallos productivos y que facilite labores como la polinización y la cosecha.

Existen sistemas de conducción individuales, donde cada planta está separada de las otras en la hilera, y sistemas múltiples, donde se forma un continuo de tallos en la hilera (seto). En ambos casos debe existir una estructura que permita el asentamiento de los tallos productivos a una altura de 1,7 a 2,0 m de altura, desde donde crecerán los tallos productivos que se desarrollarán en forma péndula.

Los sistemas individuales generalmente utilizan marcos de plantación de 3 x 3 metros aunque, en algunos casos, se emplean distancias mayores. En los países de origen de la pitahaya tradicionalmente se utilizaban otros árboles como sistema de conducción individual. También se usan postes de madera, metal o concreto con mallas metálicas, neumáticos u otro material en la cima, lo que le permite a la planta sostener sus tallos productivos.

Los sistemas de conducción múltiples generalmente son espalderas o variantes de estas, en las que se utilizan postes cada 3 o 4 metros

unidos por alambres a lo largo de la hilera y/o en la cima de los postes. Los postes utilizados son de metal o de madera (Figuras 5.14 y 5.15 A) y los alambres deben estar recubiertos con algún material que aumente su diámetro (ej. cintas de riego en desuso), ya que pueden causar cortes y

lesiones en los tallos. Los marcos de plantación que se utilizan pueden ir desde 4 x 2 m hasta 3 x 0,5 m, lo que permite una mayor densidad de plantas por hectárea y, por ende, una mayor precocidad productiva del huerto.



Figura 5.14. Planta de pitahaya creciendo a un mes de su plantación en Las Cardas, Chile (A) y plantación de pitahayas de cuatro meses en Copiapó, Chile (B).

Un aspecto fundamental a considerar es que la vida útil de las pitahayas puede llegar a los 20 años y que el peso de una planta de 4 años puede llegar ser de 100 kg. Por lo tanto, la vida útil de los materiales usados para el sistema de conducción debe ser acorde a las exigencias del cultivo (Gunasena *et al.*, 2007).

- Poda de Producción

La poda productiva consiste en eliminar los tallos improductivos que se encuentran en la parte interna de la

planta y regular la cantidad de tallos productivos, evitando además un peso excesivo que pueda derribar los tutores y, en consecuencia, las plantas. Esta labor también permite una mayor aireación e iluminación de las masas de tallos, evitando ataques de hongos y bacterias. Dado el gran vigor de las plantas, estas se deberían podar hasta en 3 oportunidades a lo largo del año para un buen control de la forma de la plantación, favoreciendo manejos como la polinización y cosecha (Figura 5.15 B). El objetivo de la poda depende de la época del año en que se realice.

Así, podar al finalizar la cosecha permite renovar la madera productiva para la siguiente temporada, mientras que una poda previa a la floración (1 mes antes) favorecería la floración, cuaja y calibre de la fruta en los tallos

remanentes, ya que sería una suerte de raleo. Una planta adulta en plena producción puede tener hasta 130 tallos, los cuales luego de la cosecha se deben reducir a 50 tallos con 1 o 2 brotes por tallo principal.

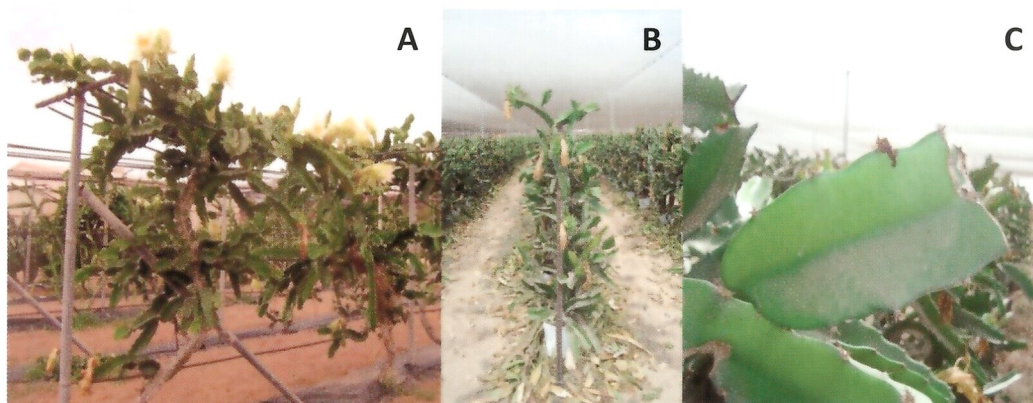


Figura 5.15. Plantación adulta de pitahayas con postes de metal en España (A), hilera de pitahayas en Israel podadas en seto antes de la floración con un adecuado espacio entre hileras para la polinización y cosecha (B) y tallo de pitahaya podado a la mitad y cicatrizado en Israel (C).

También deben eliminarse los tallos dañados por plagas, enfermedades o los tallos que estén secos. De preferencia se deben cortar los tallos en el entrenudo, aunque también se pueden cortar los tallos a la mitad (Figura 5.15 C), en cuyo caso se recomienda aplicar fungicida. El material de poda debe llevarse fuera de la plantación ya que puede ser fuente de inóculo de enfermedades. También se deben eliminar los tallos mal ubicados y que estén enredados con otros (OIRSA, 2000; Le Bellec *et al.*, 2006; Luders and McMahon, 2006).

- Riego

A pesar de ser una cactácea, la pitahaya requiere de una cantidad de agua apropiada para la óptima producción de fruta. Por tratarse de un cultivo poco conocido, muchos autores hacen referencia a la cantidad de precipitaciones que hay en los lugares donde se la cultiva ya que, en la mayoría de estos, no se riega y la planta sólo usa el agua proveniente de las lluvias. Así, se indica que no debe cultivarse en lugares con menos de 500 mm de precipitación anual y que el

ideal estaría en zonas con entre 1.000 y 1.500 mm de precipitación. Sin embargo, hay estudios que señalan que los requerimientos hídricos de la pitahaya serían alrededor de un tercio de los de la tuna proponiendo un coeficiente de cultivo (kc) en el mes de máxima demanda de 0,2. El riego regular es importante ya que le permite a la planta generar suficientes reservas, no sólo para florecer cuando las condiciones lo permitan, sino que también para asegurar el desarrollo de los frutos. Sumado a su eficiencia en el suministro de agua, los sistemas de riego localizado permiten evitar irregularidades y excesos de riego que puedan resultar en la caída de flores y frutos pequeños (Gunasena *et al.*, 2007). En general, el cultivo debe ser sometido a un período seco en prefloración para producir más flores. Luego, el suelo debe tener una humedad adecuada para el desarrollo de flores y frutos. La partidura de frutos puede suceder cuando se producen fluctuaciones marcadas en la humedad del suelo durante el desarrollo del fruto. El uso de mulch también puede ser una alternativa para reducir las pérdidas de humedad y mantener los niveles de humedad en el suelo (Gunasena *et al.*, 2007).

- Nutrición mineral

El sistema radical de la pitahaya es superficial y puede asimilar

rápidamente pequeñas cantidades de nutrientes (Le Bellec *et al.*, 2006). En Taiwán recomiendan aplicar 4 kg de materia orgánica por planta cada 4 meses adicionadas con 100 g por planta de fertilizante comercial 13-13-13 (NPK) en plantas adultas. En Hawai se aplican 180 a 230 g/planta de una mezcla 16-16-16 (NPK) cada 4 a 6 meses (Gunasena *et al.*, 2007).

Plagas y enfermedades

La literatura señala algunas plagas y enfermedades descritas para *Hylocereus*. Entre ellas destacan:

- Pudrición del tallo

Esta enfermedad es causada por la bacteria *Erwinia carotovora*. Se trata de la enfermedad más importante en el cultivo. Comienza como manchas amarillas, pudiendo llegar a cubrir todo el tallo hasta ocasionar una pudrición acuosa y fétida. Para evitar esta enfermedad se recomienda realizar manejos que promuevan la sanidad dentro del huerto tales como la poda de limpieza o sanitaria ya que aún no se conoce un control químico efectivo para este problema. Además se recomienda usar estacas sanas y a las que se les haya realizado un adecuado curado antes del enraizamiento, controlar los insectos perforadores de tallos, desinfectar las herramientas de poda y usar suelos con buen drenaje (OIRSA, 2000).

- Ojo de pescado del tallo de la Pitahaya

Esta enfermedad es causada por el hongo *Dothiorella* sp. y se caracteriza por la presencia de manchas circulares sobre los tallos, de color café/pardo con puntos rojo-anaranjados en el centro, similares al ojo de un pez. El conjunto de manchas puede llegar a cubrir casi todo el tallo, disminuye la capacidad fotosintética de la planta, y por ende, el rendimiento y calibre de los frutos. Se recomienda controlar insectos perforadores de los tallos y el uso de fungicidas de contacto (OIRSA, 2000).

- Antracnosis del fruto de Pitahaya

Esta enfermedad es causada por el hongo *Colletotrichum* sp. El hongo ataca los tallos y frutos, manifestándose como manchas secas y hundidas de color negro. La enfermedad en los frutos se inicia desde que abre la flor de la pitahaya y, en casos extremos, los frutos se pudren completamente. Para manejar la enfermedad se recomienda usar material sano, realizar podas de limpieza y desinfección de herramientas de poda. Además, hay que evitar utilizar suelos con mal drenaje, eliminar residuos de flores días después de la floración, quemar o enterrar los residuos de tallos enfermos y aplicar fungicida de contacto (OIRSA, 2000).

- Chinche pata de hoja (*Leptoglossus zonatus*)

Este insecto succiona la savia de los tallos y transmite enfermedades. En el estado ninfal se alimentan de los tallos de la pitahaya, produciendo decoloraciones (OIRSA, 2000).

- Picudo negro (*Metamasius* sp)

El adulto perfora los tallos. La hembra pone los huevos al interior de los tallos y cuando nacen las larvas, se alimentan del interior de la planta. Además, por el orificio de entrada pueden ingresar bacterias que producen la pudrición de los tallos (OIRSA, 2000).

- Barrenador del tallo (*Maracayia chlorisalis* Walter)

Las larvas producen pequeños agujeros en los tallos, penetran al interior y se alimentan, dejando cavidades. Posteriormente la larva perfora el tejido leñoso (centro del tallo) y penetra en su interior, donde continúa perforando hasta formar un túnel donde puparán las larvas. Se pueden encontrar varias pupas en un mismo tallo. Del agujero perforado en el tejido carnoso del tallo la planta secreta una sustancia viscosa. Después que penetra la larva, el tejido comienza a pudrirse, el orificio se agranda, las secreciones desaparecen pero muchas veces se observan en los tallos síntomas de bacteriosis causada por *Erwinia carotovora* (OIRSA, 2000).

En general, hormigas, pulgones y escamas cubren flores o frutos, siendo fácil su control. Se ha observado que caracoles atacan brotes nuevos; conejos y liebres se alimentan de partes verdes de los tallos, sin llegar a matar a la planta; roedores y pájaros también provocan daños en flores y frutos (en crecimiento y maduros). Las abejas dificultan la polinización manual y además compiten por el polen.

Cosecha (manejo de cosecha y producciones obtenidas)

La producción comienza al 2º año después de la plantación y al 5º año se alcanza la plena producción. El rendimiento promedio es de 10 a 12 ton/ha al final del 3º año. Sin embargo, plantaciones comerciales en Israel, Malasia y Taiwán producen entre 16-27 ton/ha. El manejo apropiado de la planta y el raleo de frutos mejoran el calibre y el rendimiento. El peso promedio de los frutos es aproximadamente 350 g. En Sri Lanka pueden obtenerse 18 a 22 ton/ha de frutos con un peso de frutos que varía entre 350-850 g/fruto, mientras que en México hay registros de 3.5 y 9.0 ton/ha al 3º y 4º año.

Se señala que en los valles interiores de Israel los rendimientos son bajos debido a las altísimas temperaturas veraniegas (máxima 38°C y mínima 25°C), lo que inhibe el inicio de la

floración. Mientras que en las regiones costeras se obtienen rendimientos más altos (35 ton/ha al 4º año), con temperaturas en verano son 7 a 9°C más bajas que en los valles.

El momento de cosecha varía dependiendo del país donde se cultiva la pitahaya. La maduración para el hemisferio sur usualmente es desde Diciembre a Junio.

El fruto de la pitahaya es no climatérico por lo que se debe cosechar cuando alcance los niveles adecuados de azúcar y acidez. Dentro del periodo de producción de frutos, la maduración no es continua, sino que ocurre a intervalos de aproximadamente 20 días, dependiendo de los episodios de floración (To *et al.*, 2002). Además, los frutos tienen que ser cosechados selectivamente ya que los frutos de una misma floración no maduran al mismo tiempo, por lo que es usual cosechar 2 veces por semana (Gunasena *et al.*, 2007).

El índice de cosecha más utilizado es el cambio de color del fruto (OIRSA, 2000). El color de la piel del fruto, avanzada la madurez, vira de verde a rojo, rosado o amarillo (aproximadamente 25 a 27 días después de floración). Cuatro o cinco días después, los frutos alcanzan su máxima coloración, aunque las brácteas permanecen verdes (Le Bellec *et al.*, 2006). Si se asperjan los frutos

cuajados 11 días después de la floración con una mezcla de GA3, NAA y B-NAA a 8,150 y 400 ppm respectivamente, aumentarán el peso del fruto, los sólidos solubles y la firmeza de la pulpa y brácteas (To *et al.*, 2002).

Si los frutos son dejados por más de 50 días en la planta, el fruto se vuelve más dulce y pesado, sin embargo disminuye su vida útil. Así, los frutos sobremaduros tienen menor vida de postcosecha, tienden a partirse (Gunasena *et al.*, 2007) y son más susceptibles al ataque de plagas (Castillo, 2006).

En Colombia se recomienda cosechar con $\frac{1}{4}$ de cubrimiento de color (pintonas) para mercado externo, mientras que para el mercado interno se requeriría 50% de cubrimiento (Castillo, 2006).

La ausencia de pedicelo de los frutos de pitahaya dificulta su cosecha. La técnica de cosecha de torcer el fruto para cosecharlo frecuentemente daña la piel, parte de la cáscara se raja, lo que favorece la incidencia de enfermedades y pudriciones (OIRSA, 2000; Le Bellec *et al.*, 2006). Para evitar esto, se debe cosechar usando una tijera de podar o un cuchillo bien afilado, efectuando un leve corte en el tallo para evitar el daño al fruto (OIRSA, 2000).

Los frutos deben ser depositados en cajas cosecheras, evitando el contacto

con el suelo. Después de la cosecha, los frutos deben ser mantenidos en un lugar fresco y sombreado antes de almacenarlos (OIRSA, 2000).

Manejo de post-cosecha

- Almacenamiento y transporte

Una vez que los frutos fueron cosechados, en los países donde se cultiva la pitahaya, señalan que se pueden almacenar por 3 a 4 días a temperatura ambiente y entre 1 a 2 semanas a 20 a 14°C (Le Bellec *et al.*, 2006). Al respecto, cabe señalar que la temperatura ambiental en países tropicales bordea los 30°C durante todo el día para la fecha en que maduran los frutos.

Otros autores señalan que la temperatura ideal para almacenar frutos de pitahayas es 10°C, pudiendo conservarse por hasta 3 semanas. A mayor temperatura, la vida de postcosecha disminuye, mientras que a menores temperaturas hay daño por frío. Por otra parte, la vida de postcosecha de los frutos también está determinada por el momento de cosecha. En este sentido se indica que si los frutos se cosechan 30 días después de floración (ddf), pueden durar 3 semanas a 10°C; si se cosechan después, la vida de postcosecha es de 1 a 2 semanas, mientras que si se cosecha antes de 30 ddf podría durar 4 a 5 semanas pero, en este último caso, los frutos son más sensibles al daño

por frío (Osuna, 2005; Gunasena *et al.*, 2007).

Otros usos

El fruto de la pitahaya goza de una gran fama en los países del hemisferio norte, tanto por sus características organolépticas y nutritivas, como por su forma y colores vistosos. Por este motivo, se ha logrado desarrollar una agroindustria en base a sus frutos, la

que comienza por frutos mínimamente procesados, pasando por jugos, pulpas congeladas, láminas deshidratadas y licores, hasta llegar a productos cosméticos como cremas y labiales con extractos de fruta (Figura 5.16). Y es que, además de ser un fruto llamativo, el nombre que recibe en países de habla inglesa (*dragon fruit*, fruto del dragón en español) también despierta interés y favorece su venta.



Figura 5.16. Distintos formatos de comercialización de pitahaya: frutos partidos con cuchara plástica envueltos con un film plástico en mercado de Barcelona (España) (A), mínimo proceso (“ready to eat”) (B) y jugo (C) en supermercado de ciudad de México (México).

Perspectivas a futuro

En Chile aún se está evaluando el lugar idóneo para el cultivo de la pitahaya. Por el momento, se ha detectado que esta especie logra un adecuado cuaje de frutos en las zonas más cálidas como las de la Región de Arica y Parinacota y los valles interiores de las Regiones de Atacama y Coquimbo. En forma paralela se

deben prospectar posibles mercados para la fruta fresca a nivel nacional e internacional (Figura 5.17). Se espera identificar lugares donde el cultivo pueda prosperar y definir claramente los requisitos técnicos para el manejo de la especie, ya que, si bien se necesita una inversión importante en términos de materiales para el sistema de conducción y sombreado, el

consumo de agua de este exótico frutal es muy bajo y los precios que alcanza el kilo de fruta fresca a nivel

internacional es muy atractivo, lo que podría compensar la inversión inicial.



Figura 5.17. Pitahayas amarillas (arriba) y rojas (abajo) junto a otros frutos ‘exóticos’ en la feria “Fruit attraction” de Madrid, España.

LITERATURA CITADA

- Castillo, R. y Calix de Dios, H. 1997. Las pitahayas, un recurso subaprovechado. Ciencia y Desarrollo 136.
- Castillo, R. 2006. Aprovechamiento de la pitahaya: bondades y problemáticas. CaosConciencia 1: 13-18, 2006.
- Gunasena, H.P., Pushpakumara, D.K. y Kariyawasam, M. 2007. Dragon fruit *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. In: Underutilized fruit trees in Sri Lanka. World Agroforestry Centre South Asia Office, New Delhi, India.
- Le Bellec, F. Vaillant, F. y Imbert, E. 2006. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a new fruit crop, a market with a future. Fruits 61: 237-250.
- Luders and McMahon. 2006. The Pitaya or Dragon Fruit. Departament of Primary Industry and Fisheries (DPIF). Northern Territory Government. Charles Darwin University. Australia. Disponible en: <http://www.nt.gov.au/d/>. Leído en julio de 2014.
- OIRSA. 2000. Manual Técnico. Buenas Prácticas de Cultivo en Pitahaya. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Nicaragua. Disponible en: <http://www.oirsa.org>. Leído en noviembre de 2009.
- To, L.V., Ngu, N., Duc, N.D. y Huong, H.T.H. 2002. Dragon Fruit Quality end Storage Life: Effect of harvest time use of plant growth regulators and modified atmosphere packaging. Proc. IS on Trop. & Subtrop. Fruits Acta Hort. 575:611-621, ISHS.
- Osuna, F. 2005. Validación de un huerto de pitayaha (*Hylocereus undatus*) en la Zona Centro de Sinaloa: Fenología y determinación de madurez del fruto para cosecha. Disponible en: <http://www.ciad.edu.mx>. Leído en noviembre de 2009.

Capítulo 6

LA PALMA DATILERA

(Phoenix dactilifera L.)

DAVID ARANCIBIA-AVENDAÑO Y NICOLÁS FRANCK

Origen y distribución geográfica actual del cultivo

El origen geográfico de la palma datilera no se conoce con exactitud, pero las teorías más aceptadas señalan que su centro de origen se encuentra en el sudoeste de Asia, región conocida como Medio Oriente, donde existe evidencia de su cultivo de antes de 4.000 AC. Ha sido uno de las especies cultivables más importantes en las regiones áridas de la península arábiga, norte de África y el Medio Oriente. Sus frutos, conocidos como dátiles, han constituido una de las principales fuentes de ingreso y alimento básico para poblaciones locales en varios países del mundo árabe, en los que han tenido un significativo rol en la economía, sociedad y medioambiente. Durante los últimos tres siglos, la palma datilera ha sido introducida a nuevas áreas de producción como lo son Australia, India, Pakistán, México, el sur de África, Sudamérica y los EE.UU. (Chao y Krueger, 2007). La actual superficie plantada a nivel mundial es de alrededor de un millón de hectáreas, concentradas en los países del Medio Oriente (FAOSTAT, 2011).

No se conoce con precisión cuándo la palma datilera fue introducida a Sudamérica, pero probablemente se llegó a Perú por latifundistas españoles durante la colonia. La propagación de la palma datilera en

Sudamérica fue principalmente a través de semillas y fue realizada por órdenes de jesuitas españoles entre los siglos XVI y XVII.

Las semillas posiblemente vinieron de Marruecos y el área inicial de su desarrollo fue la costa central de Perú, desde donde se llevó a Chile y otras partes de América, donde aún quedan genotipos remanentes del período colonial (Pavéz, *et. al.*, 2007). El hecho de que la introducción de esta especie, y su posterior propagación, se hayan realizado a través de semillas redundó en que las actuales poblaciones de palma datilera tengan una gran variedad de genotipos con alta heterogeneidad en su producción y calidad de frutos, y con similar proporción de individuos machos y hembras (Pavéz, *et. al.*, 2007) (figura 6.1).

En Chile, entre 1965 y 1970, fueron introducidas algunas variedades comerciales de palma datilera desde el banco de germoplasma de Riverside, en California EE.UU. Este material consistió en 240 hijuelos de las variedades “Deglet Noor”, “Medjool” y “Zahidi”, los que fueron establecidos en la Estación Experimental Esmeralda, perteneciente en ese entonces a la Corporación de Fomento a la Producción (Corfo); esta estación está ubicada en el oasis de Pica en la Región de Tarapacá y actualmente es de propiedad privada (Pavéz, *et. al.*, 2007) (figura 6.2).

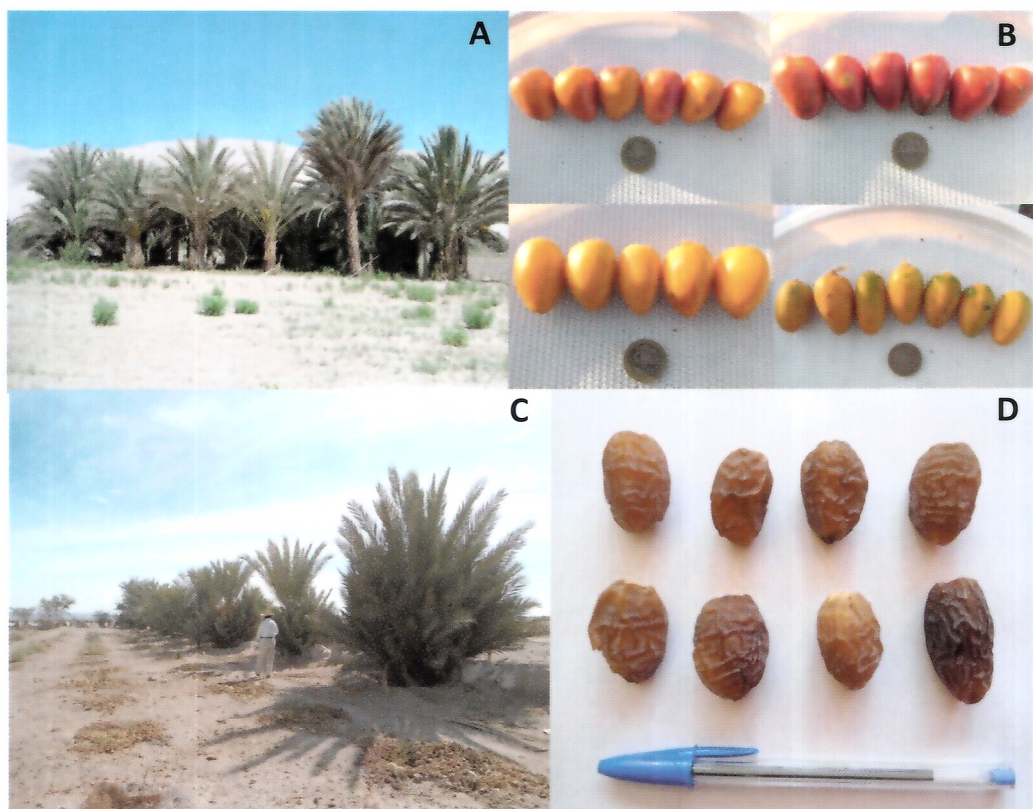


Figura 6.1. Palmas datileras provenientes de semillas establecidas por la Universidad de Tarapacá en el valle de Lluta, Región de Arica y Parinacota, Chile (A) y dátiles provenientes de diferentes plantas de semillas establecidas en el valle de Lluta. Nótese la diversidad en tamaño, forma y color (B). Palmas datileras (C) y dátiles (D) provenientes de palmas propagadas por semilla establecidas en La Tirana, Región de Tarapacá, Chile.

Hasta la fecha no se han establecido huertos comerciales de producción de dátiles, sino que más bien existen casos aislados de parcelas con pequeñas cantidades de plantas, cuyos frutos se destinan al autoconsumo o a una venta a baja escala. La falta de una oferta de material vegetal procedente de variedades comerciales ha sido uno de los mayores obstáculos para el establecimiento de huertos destinados

a la comercialización de fruta (Fernández, 2006). Por otra parte, en algunos viveros se practica una comercialización a baja escala de palmas datileras con fines ornamentales pero que constituyen en su mayoría plantas provenientes de semillas y de genotipos no estudiados, siendo habitual ver plantas de esta procedencia ornamentando plazas y el

borde costero en las ciudades del norte de Chile.



Figura 6.2. Palmas datileras variedad Medjool establecidas en el oasis de Pica, Región de Tarapacá, Chile.

Producción mundial

La producción mundial de dátiles el año 2010 fue del orden de las 7.857.456 toneladas, presentando un crecimiento sostenido con respecto años anteriores; en 2001 se produjeron 6.756.119 toneladas, prácticamente el doble de las 3.715.937 toneladas producidas 10 años antes (1991). El volumen de producción proviene principalmente de los países del mundo árabe, entre los que destaca Egipto con el 17% de la producción mundial (1.352.950 ton), seguido de Arabia Saudita con el 13.7% (1.078.300 ton) e Irán con el 13% (1.023.130 ton). Entre los países no árabes destaca la producción anual de China (1.8%; 147.600 ton), Israel (0.3%; 21.600 ton) y EE.UU. (0.3%; 21.500 ton) (FAOSTAT, 2011).

El principal exportador son los Emiratos Árabes Unidos con 237.898 toneladas exportadas en 2010, seguido de Iraq con 183.701 y Pakistán con 111.715, aunque cabe mencionar que las producciones de estos países alcanzan un bajo valor por tonelada exportada (290, 255 y 382 US\$/ton, respectivamente). Por otra parte, los países exportadores que obtienen los mayores ingresos por unidad de volumen exportado son EE.UU. (US\$ 5.905/ton) e Israel (US\$ 4.761/ton), países que han desarrollado una estrategia de exportación orientada a producir variedades de calidad y destinar su oferta al mercado europeo (FAOSTAT, 2011). Cabe destacar entre los países exportadores a Túnez, debido a que, si bien su oferta solo representa el 2% de la producción mundial, en términos de valor representa el 21% del mercado mundial y el 55% del mercado europeo (Liu, 2003).

Los principales importadores en volumen son India (298.423 ton) y los Emiratos Árabes Unidos (227.726 ton.) pero con bajos precios pagados (332 y 277 US\$/ton, respectivamente) seguidos muy de atrás por los países de la Unión Europea (67.771 ton.), principalmente Francia y el Reino Unido, pero con un precio por tonelada bastante mayor (US\$ 2.601). Es así como la Unión Europea es un mercado clave para los países exportadores de dátiles ya que, si bien

solo representa al 10% de las importaciones mundiales en volumen, en términos de valor monetario lo hace en alrededor de un 30%, siendo el mercado de destino más cotizado para las exportaciones de dátiles en el mundo (Liu, 2003).

Las importaciones de dátiles a la Unión Europea son altamente estacionales, concentrándose hacia finales de año para las fiestas de navidad y año nuevo. El 80% de las importaciones se realiza entre octubre y diciembre, periodo que coincide con la cosecha de dátiles de muchos de los países proveedores. Por otra parte, las importaciones también varían de acuerdo a las fechas en que se desarrolla el ramadán, mes sagrado para los musulmanes en que tradicionalmente hay un alto consumo de dátiles. Los principales consumidores de dátiles en Europa son las personas pertenecientes a la creciente comunidad musulmana compuesta principalmente de inmigrantes provenientes del norte de África, sur de Asia y medio oriente. Las fechas del ramadán varían año a año, puesto que no se guían por el calendario gregoriano si no que por un calendario basado en los ciclos lunares (Liu, 2003).

Clasificación botánica

El nombre botánico de la palma datilera, *Phoenix dactylifera* L.,

derivaría del nombre fenicio "Phoenix", que significa palma datilera, y "*dactylifera*", derivado de la palabra griega "daktulos" que significa dedo, de alguna forma ilustrando la forma de los frutos (Chao y Krueger, 2007). Otra fuente relaciona su nombre a la mitológica ave Fénix ("Phoenix", en inglés), que cada 500 años se consumía por acción del fuego para luego resurgir de sus cenizas, comportamiento que se puede asemejar al de la palma datilera, que puede volver a crecer después de ser expuesta al fuego (Zaid y Wet, 2002a).

La palma datilera pertenece a la división *Magnoliophyta*, la clase *Liliopsida* y la familia *Palmaceae*. De las más de doce especies del género *Phoenix* que son plantadas con fines ornamentales, solamente *Phoenix dactylifera* es cultivada por sus frutos, aún cuando hay otras cinco especies de este género que producen frutos comestibles (*P. atlantica*, *P. reclinata*, *P. farinifera*, *P. humilis* y *P. acaulis*) (Zaid y Wet, 2002a). Su fruto, conocido como dátil en español, es llamado *date* en inglés; *datte* en francés; *Dattel* en alemán; *dattero* en italiano; *dadel* en danés, mientras que en portugués es llamado *Tamara* (Morton, 1987).

Existe una gran cantidad de variedades de palma datilera en el mundo y algunos registros las cifran en más de 3.000 (Zaid y Wet, 2002a). Esta gran cantidad de variedades se puede explicar por diversos factores,

dentro de los que están la larga data de su cultivo, el amplio intercambio de germoplasma entre las diferentes regiones, el dioicismo sexual de la especie y también al hecho de que la propagación por semillas ha sido el método de propagación más practicado a lo largo de su historia (Chaoy Krueger, 2007).

La nomenclatura de las variedades de palma datilera es confusa y para muchas variedades existe un gran número de sinónimos y homónimos, entre y dentro de los países. Otro factor que dificulta el consenso en la nomenclatura de las variedades es la traducción de nombres árabes a otras lenguas, agregando que en este idioma usualmente existen varias transcripciones para un mismo término. No obstante el amplio número de variedades, sólo algunas de éstas han llegado a ser importantes en el mercado mundial (Chao y Krueger, 2007). Éstas son algunas de las variedades más ampliamente cultivadas y comercializadas:

Deglet Noor. Sus frutos son semi-secos, no muy dulces y con buena post-cosecha, debido a que tienen una textura firme que minimiza el daño durante la cosecha, embalaje y almacenaje. Es la principal variedad cultivada en EE.UU., donde se registran rendimientos en plena producción de entre 91 a 136 kg de dátiles por planta (Johnson y Hodel, 2007). Es una variedad muy exigente

en requerimientos de temperatura para la maduración de los dátiles (M. Ferry, comunicación personal).

Medjool. Se caracteriza por tener un fruto bastante grande (20-40 g), suave y de un sabor con muy buena aceptación por lo que alcanza los mayores precios en el mercado de fruta fresca (Zaid y Wet, 2002a). Presenta además buena aptitud para el transporte (Morton, 1987). Su rendimiento por planta varía, dependiendo de las condiciones de cultivo, entre 80 a 120 kg por temporada (Zaid y Wet, 2002a), mientras que otra fuente señala rendimientos menores para EE.UU. de entre 68 a 91 kg por planta al año (Johnson y Hodel, 2007). Según M. Ferry¹, Esta variedad puede tener un buen desarrollo de sus frutos en diferentes niveles de acumulación térmica, lo que permitiría su establecimiento en lugares donde la acumulación térmica sería insuficiente para otras variedades.

Barhee. Esta variedad tiene la particularidad de ser la única en que sus frutos presentan buena aptitud comercial en diferentes estados inmaduros (denominados *khalal*, *rutab* y *tamar*, secuencialmente). En su

¹Comunicación personal Dr. Michel Ferry, investigador y director de la Estación Phoenix (Elche, España), centro de investigación en la palma datilera

proceso de maduración, los dátiles cambian de color de un amarillo brillante a ámbar y finalmente a un marrón rojizo. Los frutos son de tamaño medio (15-20 g) y crujientes, ligeramente astringentes en el estado *khalaal* (Johnson y Hodel, 2007). La planta es altamente productiva, promediando 200 kg de dátiles por temporada existiendo registros de plantas con rendimientos de 500 kg por año (Zaid y Wet, 2002a), mientras que en EE.UU. se registran rendimientos menores (113-136 kg/planta) pero aún altos con respecto al rendimiento de otras variedades (Johnson y Hodel, 2007).

Sayer. Es la variedad más cultivada en los países del medio oriente; el color de sus frutos va del anaranjado oscuro al marrón. Los dátiles son de tamaño medio y pulpa suave, no destacan por su calidad pero la planta es una de las más tolerantes a la salinidad del suelo y agua (Morton, 1987).

Zahidi. Es la variedad conocida más antigua. Sus frutos son de tamaño medio, de color marrón a dorado, semi-secos pero cosechados y comercializados en tres estados: suave, semi-duro y duro; son muy dulces, se mantienen bien por meses y son usados en gastronomía (Morton, 1987). En EE.UU. registra rendimientos promedio por planta de 91 a 136 kg por temporada (Johnson y Hodel, 2007).

Entre estas variedades Deglet Noor y Medjool son las que tienen mayor presencia y expectativas en mercados exigentes como el europeo. En la Unión Europea se importan alrededor de 30.000 toneladas por año de dátiles Deglet Noor y es, por lejos, la variedad más popular. En cuanto a Medjool, es una variedad de reciente introducción al mercado europeo y bajo volumen de exportación en comparación a Deglet Noor pero que ha tenido un rápido crecimiento principalmente debido a su gran tamaño. En el mercado europeo, por otra parte, los dátiles de otras variedades como Kenta, Alligh, Sayer y Zahidi son llamados en términos genéricos "dátiles comunes" y, debido a sus menores atributos de calidad, obtienen menores precios de venta (Liu, 2003).

Descripción morfológica

Siendo una especie monocotiledónea la palma datilera no presenta una raíz pivotante; su sistema radical es fasciculado con raíces fibrosas, similares a las de una planta de maíz. Sólo las raíces principales se diferencian del resto por tener un mayor grosor, mientras que el resto de las raíces (secundarias, terciarias y sucesivas) presentan un diámetro similar (Zaid y Wet, 2002a). Las raíces pueden explorar el suelo hasta 25 m horizontalmente desde el tronco y en profundidad hasta 6 m. No obstante lo anterior, en suelos francos y

profundos, el 85% de las raíces están distribuidas en los primeros 2 m a ambos lados del tronco y 2 m en profundidad (Munier, 1973). La alta capacidad de exploración en profundidad de sus raíces permite a la palma datilera aprovechar las fuentes de agua subterráneas y resistir condiciones prolongadas de sequía (Zaid y Wet, 2002a).

Como se muestra en la Figura 6.3, el sistema radical de la palma datilera se puede dividir en cuatro zonas de acuerdo a su funcionalidad (Zaid y Wet, 2002a):

Zona I. Está localizada rodeando la base del tronco con una profundidad no mayor a 25 cm y una distribución lateral de hasta 50 cm desde el tronco. En esta zona se encuentran principalmente raíces primarias y secundarias que presentan un geotropismo negativo y que cumplen un rol respiratorio en condiciones de anegamiento.

Zona II. Contiene la mayor proporción de las raíces primarias y secundarias y su distribución abarca entre 0.9 y 1.5 m en profundidad y lateralmente sobrepasan la proyección de la copa. A esta zona se le atribuye un importante rol en la absorción de nutrientes.

Zona III. Presenta una menor densidad de raíces que la zona II y está comprendida mayoritariamente por raíces primarias. Se encuentra

usualmente a una profundidad de entre 1.5 a 1.8 metros y es la zona donde se realiza la mayor absorción de agua.

Zona IV. Está comprendida por las raíces de exploración en profundidad por lo que su desarrollo está relacionado con la profundidad de la napa freática. En suelos superficiales es difícil distinguir entre raíces de la zona III y IV.

El tronco de la palma datilera, botánicamente denominado estípite, se caracteriza por tener una forma cilíndrica con un diámetro similar en toda su longitud y por no presentar ramificaciones. Su circunferencia es de alrededor de 1 m y puede alcanzar una altura por sobre los 20 m. Está compuesto de haces vasculares fibrosos y duros que se encuentran cementados junto a una matriz de tejido celular que está mucho más lignificada cerca de la parte exterior del tronco. Al ser una especie monocotiledónea no desarrolla cambio vascular ni xilema secundario (Zaid y Wet, 2002a).

Una característica de la palma datilera que permite diferenciarla de otras especies del género *Phoenix* es la emisión de vástagos rizomatosos, conocidos como hijuelos, que son producidos en un número limitado (20-30) durante la vida temprana de la planta (entre 10 a 15 años desde su plantación) (Zaid y Wet, 2002d). Estos hijuelos pueden emerger desde la base

del tronco o de la parte aérea de este y se utilizan en la reproducción vegetativa de la especie (Zaid y Wet, 2002a).

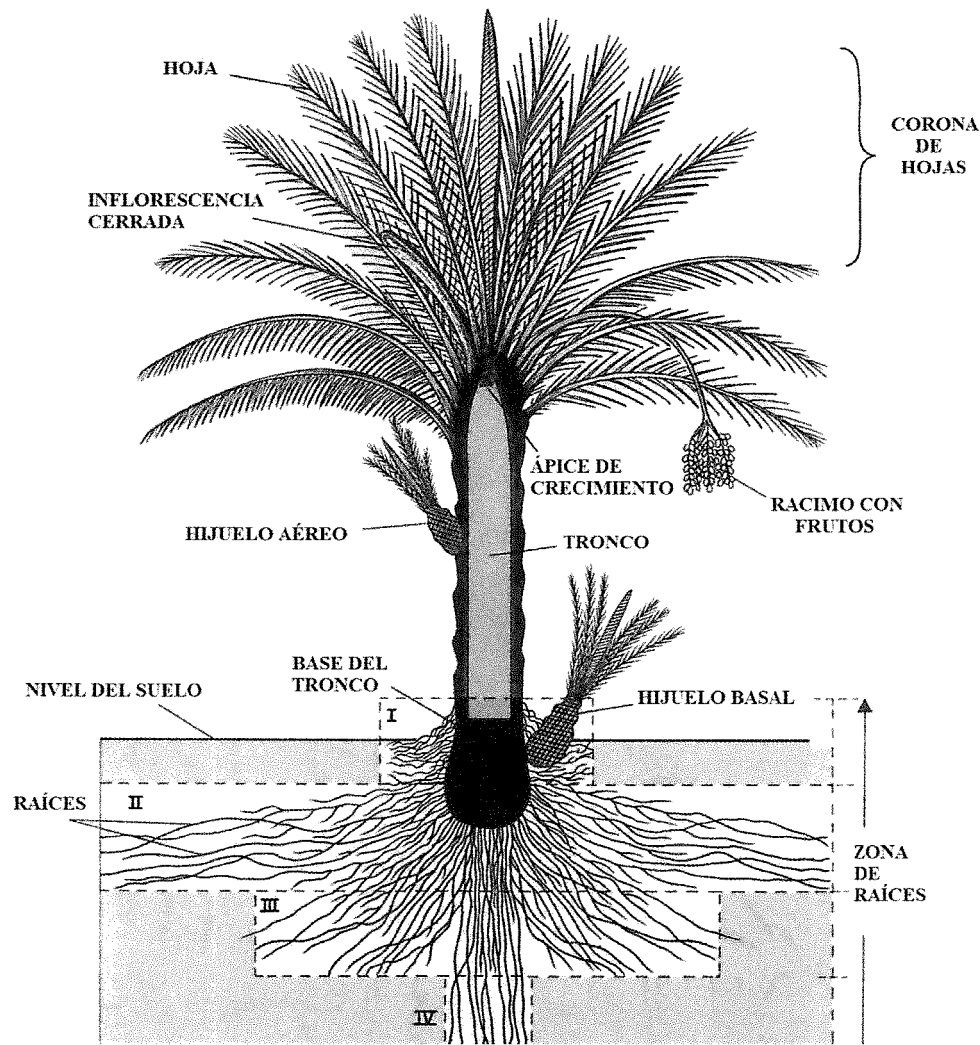


Figura 6.3. Diagrama de la estructura de la palma datilera con sus componentes aéreos y subterráneos. Se enumeran las diferentes zonas funcionales del sistema radical (adaptado y modificado de Chao y Krueger, 2007).

Dependiendo de la variedad, edad de la planta y las condiciones ambientales, las hojas de la palma

datilera varían entre 3 y 6 m de largo y tienen un rango de vida de entre 3 y 7 años (Zaid y Wet, 2002a). Una palma

adulta presenta entre 100 a 125 hojas funcionales con una tasa de formación de 10 a 26 hojas nuevas por año. En condiciones normales, el área fotosintética de una hoja sana puede mantener la producción de 1 a 1.5 kg de dátiles. La funcionalidad de las

hojas disminuye con la edad, es así como una hoja de 4 años tiene la capacidad de realizar sólo el 65% de la fotosíntesis por unidad de superficie en comparación con hojas de 1 año (Zaid y Wet, 2002a).

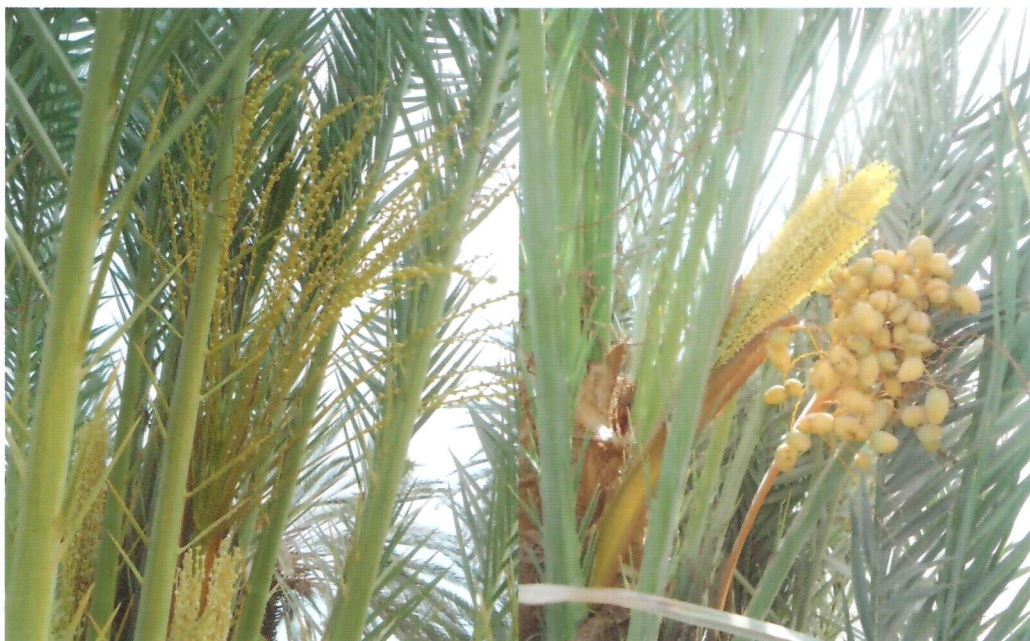


Figuras 6.4. Planta e inflorescencia masculinas, oasis de Pica, Región de Tarapacá, Chile.

- **Biología floral**

La palma datilera es una especie dioica, esto es: con desarrollo de flores femeninas y masculinas en individuos separados. En consecuencia, la mitad de la progenie serán individuos machos y la otra mitad individuos

hembras. Cabe señalar que, en esta especie, no se puede determinar con certeza el sexo de la progenie, hasta el momento de la emisión de las estructuras reproductivas (inflorescencias) (Zaid y Wet, 2002d) (figura 6.4 – 6.6).



Figuras 6.5. Planta hembra con inflorescencias femeninas (nótese la producción escalonada con presencia de flores y frutos al mismo tiempo), oasis de Pica, Región d Tarapacá, Chile.



Figuras 6.6. Racimos de dátiles de plantas establecidas en el valle de Lluta, Región de Arica y Parinacota.

Las flores se desarrollan en inflorescencias tipo racimo que se originan en las axilas de las hojas del crecimiento del año anterior, y ambos racimos, femeninos y masculinos, se encuentran envueltos por una cubierta fibrosa o espata (figura 6.4) que protege las flores de las altas temperaturas y la radiación solar. Esta cubierta es larga y delgada en plantas hembra mientras que, en plantas macho, es más corta y gruesa (Zaid y Wet, 2002a). La tasa de aparición de inflorescencias por año varía de 0 a 25 en plantas hembras, siendo algo mayor en las plantas macho. Las flores son pequeñas y están dispuestas en el racimo en sub-agrupaciones o espiguillas y, tanto las flores femeninas como masculinas, tienen usualmente 3 sépalos y 3 pétalos pero se diferencian en que las flores masculinas son blancas y poseen 6 estambres mientras que las flores hembras son amarillas y poseen 3 carpelos con óvulos de los que normalmente sólo uno se desarrolla en un fruto uniseminado (Zaid y Wet, 2002a).

- Crecimiento y desarrollo del fruto

Botánicamente el fruto de la palma datilera corresponde a una baya con una semilla rodeada de un endocarpo fibroso, un mesocarpo carnoso que constituye la pulpa comestible y un pericarpo delgado que constituye la

piel del fruto (Barreveld, 1993). El crecimiento y desarrollo de los dátiles involucra varios cambios externos e internos de acuerdo a los que se clasifican en cinco estados de desarrollo que, según su orden temporal, se denominan en *Hababouk*, *Kimri*, *Khalal*, *Rutab* y *Tamar*. Estos términos son árabes y han sido adoptados en el mundo occidental como en EE.UU. e Israel (Zaid y Wet, 2002a).

El estado *Hababouk* comienza temprano después de la fecundación de la flor y está caracterizado por la pérdida de los dos carpelos no fertilizados y por presentar una muy baja tasa de crecimiento; usualmente toma entre 4 a 5 semanas en alcanzar el estado *Kimri* (Chaoy Krueger, 2007).

Durante el estado *Kimri*, el fruto aumenta rápidamente de tamaño y peso y es el período de mayor contenido de agua (sobre 85%) y actividad de ácidos orgánicos. El color del fruto cambia desde el verde, durante el estado *Kimri*, hasta el color característico de la variedad durante el estado *Khalal* (Chao y Krueger, 2007). A inicios del estado *Khalal* el fruto permanece turgente y contiene una alta cantidad de taninos solubles que le dan una marcada astringencia. Durante este estado la tasa de crecimiento disminuye ligeramente y el fruto alcanza su tamaño y peso máximos para, posteriormente, comenzar a disminuir su peso fresco

por pérdida de agua. En este estado aumenta la acumulación de azúcares y comienzan a precipitar los taninos de la pulpa, disminuyendo su astringencia. Algunas variedades son comestibles en este estado, alcanzando su madurez comercial, como es el caso de la variedad "Barhee" (Chao y Krueger, 2007).

Los frutos durante el estado *Rutab* son caracterizados por un oscurecimiento de la piel pasando a ámbar, marrón o cercano a negro, acompañado de una inversión parcial de la sacarosa a azúcares más simples (glucosa y fructosa) y un ablandamiento de los tejidos junto a una importante disminución en el peso del fruto, debido a la pérdida de agua. El contenido de agua baja a alrededor del 35% y los dátiles en este estado son vendidos como fruta fresca (Chaoy Krueger, 2007).

Durante el último estado, *Tamar*, el contenido de agua baja a menos del 25% y la relación carbohidratos/agua es suficientemente alta para prevenir la fermentación de los azúcares (similar al caso de las pasas y ciruelas secas) por lo que este es el único estado donde el fruto puede ser almacenado por años (Chaoy Krueger, 2007).

Los frutos son cosechados solo en 3 de los 5 estados de los frutos (*Khalal*, *Rutab* y *Tamar*), y el estado en que se cosechen depende de la variedad, condiciones climáticas y demanda del

mercado (Zaid y Wet, 2002a). El crecimiento del fruto en la temporada, basado en la acumulación de peso fresco, se ajusta a una curva sigmoidea simple y el período desde cuaje de los frutos (*Hababouk*) hasta la plena maduración (*Tamar*) toma entre 120 y 200 días, dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales (Torahi y Arzani, 2010).

Descripción de los frutos, valor nutritivo y propiedades nutricionales

Comparados con otros frutos y alimentos, los dátiles se caracterizan por tener un alto contenido calórico (dátiles: 2.700 - 3.000 calorías/kg; damasco: 520 calorías/kg; banana: 970 calorías/kg; naranja: 480 calorías/kg; arroz cocido: 1.800 calorías/kg; pan de trigo: 2.295 calorías/kg; carne sin grasa: 2.245 calorías/kg). En la mayoría de las variedades, el contenido de azúcar de los dátiles corresponde principalmente a glucosa y fructosa, lo que es importante para personas con intolerancia a la sacarosa (Zaid y Wet, 2002b). Para dátiles de la variedad Deglet Noor se muestra su valor nutricional en detalle en la Tabla 6.1.

Requerimientos del cultivo

La palma datilera es cultivada en regiones áridas y semiáridas que son caracterizadas por veranos largos y cálidos, de escasa pluviometría y muy

baja humedad relativa durante el período de maduración (Chao y Krueger, 2007). Esto se debe a que la palma datilera requiere de altas temperaturas para el desarrollo de flores y la producción de frutos, tanto así que la principal limitante para delimitar zonas idóneas para su cultivo resulta ser la acumulación térmica.

Tabla 6.1. Composición nutricional de 100 gramos de dátiles var. Deglet Noor (USDA, 2011; U: unidad).

Compuestos	U	U/100 g	Vitaminas	U	U/100 g
Agua	g	20,53	Riboflavina	mg	0,066
Energía	kcal	282	Niacina	mg	1,274
Proteínas	g	2,45	Vitamina B-6	mg	0,165
Lípidos	g	0,39	Folato, DFE	µg	19
totales					
Carbohidratos	g	75,03	Vitamina B-12	µg	0
Fibra dietética	g	8	Vitamina A, RAE	µg	0
Azúcares total	g	63,35	Vitamina A, IU	IU	10
Minerales			Vitamina E	mg	0,05
Calcio	mg	39	Vitamina D (D2 + D3)	µg	0
Hierro	mg	1,02	Vitamina D	IU	0
Magnesio	mg	43	Vitamina K	µg	2,7
Fósforo	mg	62	Lípidos		
Potasio	mg	656	Ác grasos saturados	g	0,032
Sodio	mg	2	Ác grasos monosaturados	g	0,036
Zinc	mg	0,28	Ác grasos poliinsaturados	g	0,019
Vitaminas			Colesterol	mg	0
Vitamina C	mg	0,4	Otros		
Tiamina	mg	0,052	Cafeína	mg	0

La palma datilera puede tolerar, inclusive, temperaturas excepcionalmente altas (sobre 55°C) por varios días bajo un régimen de riego (Zaid y Wet, 2002c). De acuerdo a la temperatura requerida en la floración y la duración de la fructificación (desde cuaje hasta plena

maduración) es posible calcular las unidades de calor que son necesarias para que una variedad sea potencialmente productiva bajo un determinado ambiente. Se señala que el proceso de floración y producción de dátiles no ocurre bajo 18°C, considerándose ésta como la

temperatura umbral para la sumatoria de las unidades de calor a partir de la temperatura promedio diaria (durante el período de fructificación). Los requerimientos térmicos varían de acuerdo a la variedad y, en general, se plantea que la sumatoria de 1.000 unidades de calor es el límite mínimo para el crecimiento productivo de la palma datilera (Morton, 1987). Según Valdivia (2012) en Chile los lugares que alcanzan esta acumulación térmica son escasos y se encuentran en el norte grande del país, específicamente algunos sectores de las regiones de Tarapacá y de Arica y Parinacota.

Aún cuando la palma datilera es una especie termófila, tolera grandes fluctuaciones de temperatura. Así, durante el invierno puede tolerar temperaturas bajo 0°C y su crecimiento se detiene con temperaturas bajo 7°C y, sobre esta temperatura, el crecimiento es activo y alcanza su máxima tasa por sobre los 32°C, la que se mantiene estable hasta los 38 a 40°C, temperatura sobre la cual comenzará a decrecer (Zaid y Wet, 2002c). Cuando la temperatura disminuye por un cierto período por bajo los 0°C, se pueden presentar desórdenes metabólicos que llevan a un daño parcial o total de las hojas. Por debajo de los -6°C los márgenes de las hojas se amarillan y secan. Las inflorescencias se ven especialmente afectadas por el frío. En zonas con temperaturas bajas en floración, las

inflorescencias deben ser protegidas con bolsas de papel inmediatamente después de la polinización (Zaid y Wet, 2002c).

Las precipitaciones cercanas al período de floración y cuaje de frutos tienen un efecto negativo ya que arrastran el polen aplicado en la polinización, reducen la receptividad de las flores y, si son acompañadas de bajas temperaturas, se disminuye el crecimiento de los frutos recién cuajados (Zaid y Wet, 2002c).

La humedad del aire puede afectar la calidad de los dátiles durante su maduración. A una alta humedad atmosférica los frutos adquieren una consistencia suave y pegajosa y la piel puede presentar fisuras con un ennegrecimiento del borde, perdiendo así parte de su valor comercial. Por este motivo, la mayoría de las plantaciones comerciales en EE.UU. e Israel no utilizan cultivos entre las hileras de palma (como se hace en los países de origen), debido a que la transpiración de los cultivos aumenta los niveles de humedad del aire afectando la calidad de los dátiles. Por otra parte, en condiciones de baja humedad del aire, los dátiles se secan y maduran más rápido pero, durante la floración, una baja humedad atmosférica reduce la tasa de fecundación de flores (Zaid y Wet, 2002c).

Si bien en condiciones ventosas la palma datilera tiende a no presentar

daños en sus estructuras vegetativas en comparación a otras especies frutales, los vientos fuertes pueden afectar la calidad de los frutos en estados de desarrollo temprano (*Habakouk* y *Kimri*) causando russet en la piel debido al roce con las hojas, que son duras y filosas. En el caso de frutos en estado avanzado de desarrollo (*Rutab* y *Tamar*), y generalmente de consistencia suave, el viento puede provocar que se adhieran partículas como polvo y arena en la superficie del fruto, disminuyendo su calidad. Otro potencial problema asociado al viento es que los hijuelos recién plantados pueden ser descalzados por vientos fuertes (Zaid y Wet, 2002c).

La palma datilera necesita de suelos profundos para obtener un buen desarrollo radical y arraigamiento, considerando el gran peso y altura que pueden alcanzar las plantas. La especie se puede adaptar bien a diversos tipos de suelo, desde muy arenosos a arcillosos, siendo los suelos arenosos los más comunes en las plantaciones de palmas (Klein y Zaid, 2002). Si bien la palma datilera puede crecer bien en suelos con niveles de salinidad excesivos para otros cultivos, no es considerada una especie halófila ya que expresa mayor crecimiento y productividad en condiciones de baja salinidad de suelo y del agua de riego. Algunos estudios han estimado en 4 dS/m la conductividad eléctrica (CE) umbral del suelo, a partir de la que se

pueden observar disminuciones en el rendimiento potencial, mientras que la CE que implica una reducción del 50% del rendimiento potencial (CE₅₀) ha sido estimada en alrededor de 18 dS/m (Maas, 1993). Sin embargo, nuevos trabajos postulan que, en un cierto grado, se ha sobrestimado la tolerancia de la palma datilera a la salinidad, y proponen una CE₅₀ de 4.7 dS/m (Tripler *et. al.*, 2011), la que aún puede considerarse alta en comparación con otros cultivos.

Propagación y plantación

La propagación por semillas es un método que destaca por su simpleza y bajo costo, sin embargo las plantas provenientes de semillas presentan numerosas desventajas con respecto a las obtenidas por propagación clonal. Las plantas de semilla no son idénticas a la planta madre, variando en la producción y calidad de sus frutos; presentan, además, una lenta entrada en producción. Cabe recordar que, además, alrededor del 50% de las plantas provenientes de semilla son machos y su sexo no se puede determinar hasta que comienzan a florecer, 4 a 5 años después de su establecimiento (Zaid y Wet, 2002d). El método de propagación más utilizado en la actualidad es la propagación por hijuelos, que se generan desde yemas axilares del tronco cerca de la superficie del suelo (hijuelos basales) o más arriba (hijuelos aéreos) (figura

6.7). Los hijuelos basales son los que presentan las mayores tasas de sobrevivencia una vez arrancados de la planta madre y se pueden extraer y

plantar cuando ya han generado sus propias raíces (generalmente a partir de los tres años de edad).

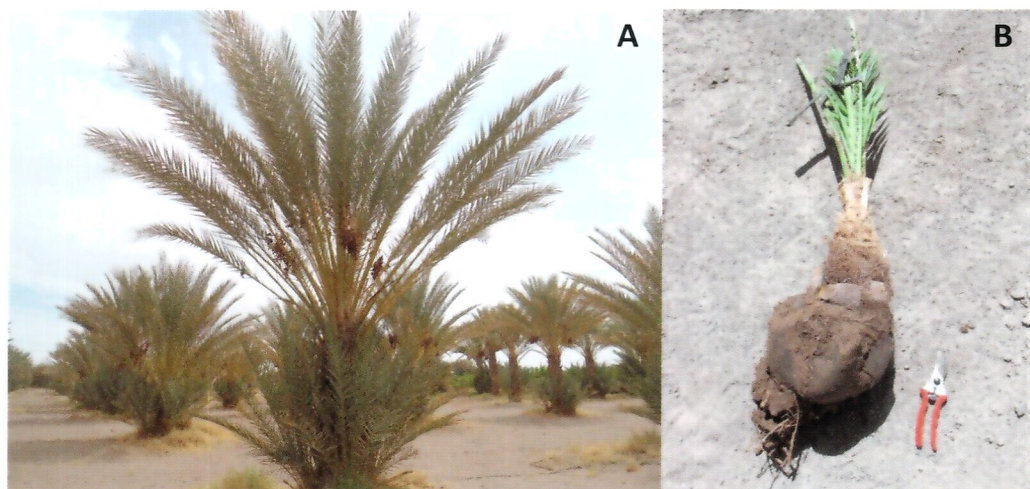


Figura 6.7. Palma datilera variedad Deglet Noor con hijuelos basales (A) e hijuelo basal extraído de la planta madre (B), oasis de Pica, Región de Tarapacá, Chile.

Entre los factores que determinan el éxito del establecimiento de los hijuelos en terreno se registran como más importantes la variedad de palma datilera; la edad y tamaño de los hijuelos; la presencia de raíces; la técnica de extracción empleada; las variables de suelo al momento de la plantación (temperatura, humedad, etc.) y la época del año (Hodel y Pittenger, 2003; Zaid y Wet, 2002d). Hodel y Pittenger (2003) encontraron que la capacidad de establecimiento de los hijuelos está determinada principalmente por la cantidad de raíces que presenta el hijuelo al momento de su extracción, debido a que sobre dos tercios de las nuevas

raíces se originan desde las raíces cortadas al momento de la extracción. Los mismos investigadores encontraron que los hijuelos cuyos diámetros basales se encontraban entre 10 y 35 cm presentaron la mayor tasa de sobrevivencia (80-90%), con respecto a hijuelos más grandes o más pequeños.

Entre las ventajas del método de propagación por hijuelos se encuentran la conservación de la identidad genética de la planta madre, la separación de plantas machos y hembras desde el comienzo, homogeneidad en la calidad de la fruta a cosecha de acuerdo a la

variedad y una entrada en producción más temprana con respecto a plantas de semilla. Como desventaja está su alto costo operacional debido a los siguientes factores: cada hijuelo puede pesar hasta 35 kg dificultando su transporte; se necesita de mano de obra con experiencia en la extracción de hijuelos y para asegurar la sobrevivencia de los hijuelos en condiciones de campo, se requiere de un período de enraizamiento y aclimatación de entre 6 meses y 1 año en condiciones de vivero (Zaid y Wet, 2002d).

Una técnica de propagación clonal de más reciente desarrollo es la propagación *in-vitro*, la que presenta algunas ventajas en comparación a las anteriormente mencionadas. Mediante esta técnica es posible propagar plantas libres de enfermedades y plagas, obtener una multiplicación clonal a gran escala y evitar el efecto estacional en las plantas ya que pueden ser multiplicadas en condiciones controladas en el laboratorio durante todo el año. Pese a esto, esta técnica presenta grandes obstáculos para su masificación, como, por ejemplo, la alta tasa de mortalidad que presentan las plántulas cuando son llevadas a las condiciones de campo y la necesidad de contar con equipos e infraestructura especializada que elevan considerablemente los costos de producción (Zaid y Wet, 2002d).

La plantación de huertos tecnificados modernos se realiza en marcos de plantación fijos, siendo el más usado el de 10x10 m (100 plantas/ha). En el último tiempo se han buscado sistemas un poco más intensivos con marcos de 9x9 y 10x8 metros (121 y 125 plantas/ha, respectivamente) (Klein y Zaid, 2002), hasta algunos súper-intensivos de 5x3 metros (667 plantas/ha) (Hodel y Pittenger, 2003).

Debido al dioicismo sexual de esta especie, es necesario incluir individuos machos en las plantaciones comerciales para asegurar la producción de frutos. La proporción de palmas masculina/femenina en una plantación moderna, considerando polinización artificial, es de alrededor de 1:50 (2% de machos) (Morton, 1987).

En cuanto a la época de plantación, en la mayoría de las regiones del hemisferio norte la plantación de palmas (ya sea hijuelos o plantas obtenidas por propagación *in-vitro*) se lleva a cabo en primavera u otoño. Plantaciones en primavera permiten escapar de las heladas invernales y aprovechar las temperaturas cálidas que fomentan un rápido crecimiento, mientras que por las plantaciones efectuadas en otoño le otorgan un mayor tiempo de establecimiento al tejido joven antes de someterse al calor del verano. Para el hemisferio sur se recomienda realizar la plantación en otoño debido a que, por lo general, los

inviernos están libres de temperaturas en extremo bajas, lo que permitiría un tiempo de establecimiento invernal libre de heladas. Adicionalmente, en el hemisferio sur las temperaturas registradas en verano suelen ser muy altas por lo que es apropiado tener un mayor tiempo de establecimiento antes de llegar el verano (Klein y Zaid, 2002)

Manejo del cultivo

- Riego

La palma datilera necesita de grandes volúmenes de agua para tener un crecimiento vigoroso, buen rendimiento y calidad de dátiles. Los volúmenes suministrados, dependiendo de las condiciones edafoclimáticas y el sistema de riego, varían entre 15.000-35.000 m³/ha por año. El riego por tendido es el sistema de riego más antiguo y es aún utilizado en la mayoría de las áreas de producción. Sistemas presurizados de mayor eficiencia, por goteros o aspersores, están siendo cada vez más usados en plantaciones nuevas y su uso está masificado en E.E.U.U. e Israel (Lienbenberg y Zaid, 2002) (figuras 6.8). Si bien es cierto que la cantidad de agua requerida por las palmas es alta, el sistema radical de la palma datilera puede profundizar lo suficiente como para utilizar agua del subsuelo, estrategia que les permite tolerar de mejor manera el déficit hídrico y los fenómenos de sequía y

reducir significativamente sus requerimientos de riego. Es por esto que la disponibilidad y profundidad de las napas freáticas son factores a considerar para el establecimiento de esta especie en una determinada zona geográfica (Michel Ferry, comunicación personal)

- Nutrición mineral

La cantidad de nutrientes extraídos por la fruta (cosecha) y hoja (poda) deben ser consideradas como base para el cálculo de la cantidad de fertilizante requerido por una palma datilera adulta. Según algunos trabajos, una hectárea con 120 palmas exporta 29 kg nitrógeno, 5 kg de fósforo y 70 kg de potasio a los frutos y la extracción de nutrientes eliminados con la poda es de 25 kg de nitrógeno, 2 kg de fosfato y 74 kg de potasio (Klein y Zaid, 2002).

- Poda

La poda se realiza después de la cosecha, generalmente en invierno, y consiste en eliminar las hojas viejas y secas ya que, a diferencia de otras especies frutales, éstas no caen en forma natural y tienen que ser removidas manualmente. Las hojas disminuyen su capacidad fotosintética después del primer año y van recibiendo cada vez menos luz ya que van quedando a la sombra de las hojas más nuevas. Se recomienda eliminar

las hojas viejas debido a que un exceso de hojas puede atrasar y disminuir la maduración de los frutos al aumentar la humedad del aire por la transpiración de las hojas inferiores a los racimos; también las hojas viejas

pueden constituir una competencia por asimilados para los frutos y pueden servir de refugio para diferentes plagas y enfermedades (Zaid y Wet, 2002e).



Figuras 6.8. Huertos de palma datilera con riego tecnificado, valle del Jordán, Israel.

- Polinización

En forma natural la polinización puede ser realizada parcialmente por acción del viento y agentes polinizadores como insectos, pero con una producción de frutos muy baja. En consecuencia, bajo un sistema de cultivo, la polinización debe ser artificial. Un aspecto a considerar en la

polinización es que no todas las flores hembras son producidas al mismo tiempo, lo que implica que la polinización debe efectuarse en, a lo menos, tres oportunidades (Zaid y Wet, 2002e). Existen varias técnicas para aplicar el polen a las flores hembras, siendo el método más común y simple colocar secciones de

racimos de flores machos entre las flores del racimo hembra. También se pueden hacer mezclas de polen macho con polvo inerte, las que pueden aplicarse con equipos pulverizadores usados por un operador montado sobre una escalera, o asperjando con un tubo con un sistema de propulsión incorporado. El polen puede ser secado y conservado por 6 meses a temperatura ambiente. Si el polen es almacenado por un año a -13°C puede asegurar un 58% de cuaje de frutos (Morton, 1987).

En general un adecuado cuaje de frutos se obtiene con una polinización efectiva del 60-80% de las flores femeninas, aunque los porcentajes de cuaje varían bastante entre las variedades (Zaid y Wet, 2002e).

Ante la escasez o falta de polen de *Phoenix dactylifera*, el polen de otras especies de *Phoenix* o de otros géneros de *Palmaceae* también puede ser usado, aunque con una menor efectividad (Morton, 1987).

- Raleo

El raleo de frutos es usado para disminuir la alternancia en la producción, aumentar el tamaño de los frutos, adelantar la madurez de estos y facilitar el manejo del racimo. El raleo de frutos puede ser realizado por tres vías: remoción de racimos enteros, reducción en el número de ramilletes por racimo y por reducción

en el número de frutos por ramillete (Zaid y Wet, 2002e).

Plagas y enfermedades

Una de las principales enfermedades que afectan a la palma datilera en sus zonas de cultivo es la conocida como enfermedad "Bayoud" cuyo agente patógeno es el hongo *Fusarium oxysporum* f. *specialisalbedini*. Otras enfermedades importantes son "la enfermedad de la quemadura negra" causada por el hongo *Ceratocystis paradoxa*; "la mancha parda foliar", causado por el hongo *Mycosphaerella tassiana* y la "diplodía", causada por el hongo *Diplodia phoenicum*. Dentro de los principales patógenos que afectan a los frutos, desde el estado *Khalal* hasta plena maduración, están *Aspergillus niger* y *Alternaria* sp (Zaid et al., 2002).

En cuanto a la plagas más importantes, en la literatura extranjera se menciona a la escama *Parlatoria blanchardii*; la conchuela *Phoenicoccus marlatti*; los ácaros *Oligonychus afrasiaticus* y *O. pratensis*, y al lepidóptero *Ectomyelois ceratoniae*, presente en Chile y conocido como "la polilla del algarrobo" (Zaid et al., 2002). En una prospección de plagas en la Estación Esmeralda en Pica se registró la presencia de *Asarcopus palmarum*, el chinche del dátil, y *Phoenicoccus marlatti*, la conchuela del dátil rojo, ambos infestando las plantas, y de *Plodia interpunctella*, "la

polilla de las frutas desecadas”, alimentándose de dátiles almacenados y en la misma planta (Charlín, 1974).

Manejo de cosecha y producciones obtenidas

Los dátiles se pueden cosechar y comercializar en tres estados de su desarrollo (*Khalal*, *Rutab* y *Tamar*) y la elección de cosechar en uno u otro va a depender de características de la variedad, las condiciones climáticas y la demanda del mercado (Glasner *et al.*, 2002). Las características resumidas de estos estados son las siguientes:

***Khalal*:** fruto fisiológicamente maduro, de consistencia dura y crujiente. Contenido de humedad de entre 50 a 85%. De color amarillo brillante a rojo. Perecible.

***Rutab*:** de consistencia más suave que *Khalal* y menor contenido de humedad (30-45%). De color parcialmente pardeado. Perecible.

***Tamar*:** su textura puede variar de suave y flexible a firme y dura. De color ámbar a pardo oscuro. Contenido de humedad bajo (menor a 25%). Puede ser almacenado y conservar sus características por años (Glasner *et al.*, 2002).

Los dátiles cosechados en *Khalal* son comercializados como “fruta fresca” y solamente variedades con baja cantidad de taninos (baja astringencia) en este estado de desarrollo son

adecuados para su consumo y venta. Algunas de las variedades adecuadas para cosechar en este estado son *Barhee*, *Zaghlood*, *Hayani* y *Khalas*. De estas variedades solo *Barhee* tiene importancia en el mercado internacional (Glasner *et al.*, 2002).

Los dátiles cosechados en *Rutab* suelen obtener los mejores precios en el mercado, con respecto a los cosechados en *Khalal* y *Tamar*, pero tienen las desventajas de presentar una menor vida de poscosecha y una mayor susceptibilidad al daño mecánico, encareciendo su cosecha y transporte. Las principales variedades cosechadas en este estado son *Medjool* y *Deglet Noor* (Glasner *et al.*, 2002).

Frutos cosechados en el estado *Tamar* presentan una muy baja perecibilidad debido a que su bajo contenido de agua (menor al 25%) limita el desarrollo de enfermedades fungosas en poscosecha. Algunas de las variedades cosechadas en este estado son *Dayri*, *Halawy*, *Zahidi* y *Sayer*. Los frutos en este estado son comercializados principalmente como dátiles secos pero su buena preservación permite también su consumo en productos elaborados como galletas, pastas, mermeladas y miel. La mayoría de los dátiles son comercializados como frutos sin semillas, las que pueden ser removidas en forma manual o mecanizada (Glasner *et al.*, 2002) (figuras 6.9).



Figuras 6.9. Dátiles sin semilla en estado de desarrollo “tamar”, importados y comercializados en la ciudad de Arica (A); y dátiles en el mercado de Marrakech, Marruecos (B) y en un almacén de Tel Aviv (Israel).

Una planta de palma datilera promedio produce alrededor de 40 kg de fruta al año, con rendimientos potenciales de más de 100 kg con manejos adecuados. La entrada en producción se puede dar entre el 4° y 6° año de edad y la plena producción se alcanza a los 15 a 20 años, con una vida comercial promedio de 40 a 50 años, pudiendo algunas plantas

mantenerse productivas pasado los 150 años (Chao y Krueger, 2007).

Para la cosecha es necesario acceder a la cima de la planta, desde donde se originan los racimos, por lo que se requiere contar con trabajadores capacitados, escaleras e implementos de seguridad. Se debe considerar que las palmas pueden alcanzar 20 m de altura (Glasner *et al.*, 2002).

Manejo de post-cosecha, almacenamiento y transporte

Al transportar la fruta hacia los centros de embalaje (packing) se debe considerar su estado de desarrollo. Es así como los dátiles cosechados en *Khalal* deben ser transportados con mayor prontitud y en horas más tempranas, dado su mayor contenido de agua. La temperatura de refrigeración comúnmente usada para la preservación a largo plazo de los dátiles es de -18°C , con una humedad relativa entre 20-25%, condiciones en las que los dátiles cosechados en *Rutab* se pueden almacenar desde 6 meses a más de 1 año. A -18°C de temperatura disminuye la pérdida de agua y también disminuye la cristalización de azúcares y la separación entre la piel y la pulpa. Con aumentos en la humedad del aire por sobre 20% aumenta el riesgo de cristalización de azúcares, aún a bajas temperaturas (Barreveld, 1993).

Los frutos de las variedades comercializadas en *Khalal*, tales como *Barhee*, son almacenadas a 1°C , con una preservación de hasta 8 semanas (Barreveld, 1993).

Otros usos

Las palmas datileras producen varios productos útiles para el hombre. El producto principal es el dátil, que se puede comercializar fresco, seco o en varias formas

procesadas, como mermeladas, pastas, snacks, miel y licores. Adicionalmente, casi todas las partes de la palma pueden ser usadas con algún propósito: el tronco puede ser usado como madera y fuente de combustión: las fibras del tronco y hojas pueden ser usadas para la confección de bolsas, canastas, cuerdas, papel, muebles, bandejas e hilo; las hojas secas se pueden usar en la construcción de techos y sombreaderos; la médula del tronco se puede utilizar para hacer harina de palma; las yemas terminales se pueden comer cocidas o crudas en ensaladas; y las semillas pueden destinarse a consumo animal y con su aceite se puede elaborar jabón de palma (Barreveld, 1993).

Por otra parte, la palma datilera tiene un efectivo rol en el control de la desertificación y es ampliamente usada con propósitos ornamentales y paisajísticos (Barreveld, 1993). Con respecto a esto último, la opción de comercializar plantas terminadas, mediante la propagación de hijuelos o por semillas, resulta interesante dado el alto precio² que estas pueden alcanzar.

² Para ejemplares de *Phoenix dactylifera* los precios fluctuaron entre \$ 18.000 a \$ 90.000 de acuerdo al tamaño de las plantas. Precios vistos en viveros de San Miguel de Azapa en el año 2012.

LITERATURA CITADA

Barreveld, W. H. 1993. Date Palm Products. FAO agricultural services bulletin N°101.

Chao C and R. Krueger. 2007. The Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.): Overview of Biology, Uses, and Cultivation. HortScience vol. 42 (5): 1077-1082.

Charlin, R. 1974. Nuevas plagas de insectos asociados a la palma datilera en la Estación Experimental de Esmeralda, provincia de Tarapacá. Idesia n°3 Universidad del Norte-Arica.

FAOSTAT. 2011. FAOSTAT Agriculture Data. FAO, Rome, Italy. Disponible en <http://faostat.fao.org>

Fernández, F. 2006. Prospección económica de la palma datilera, *Phoenix dactylifera*, y evaluación de localidades de la región de Tarapacá para su cultivo. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 96 p.

Glasner, B., A. Botes, A. Zaid and J. Emmens. 2002. Chapter IX: Date Harvesting, Packinghouse

Management and Marketing Aspects. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.

Hodel, D. and D. Pittenger. 2003. Studies on the Establishment of Date Palm (*Phoenix dactylifera* "Deglet Noor") Offshoots. Part I. Observations on Root Development and Leaf Growth. PALMS 47(4): 191-200.

Hodel, D. and D. Pittenger. 2003. Studies on the Establishment of Date Palm (*Phoenix dactylifera* "Deglet Noor") Offshoots. Part II. Size of Offshoot. PALMS 47(4): 201-205.

Johnson, D. and D. Hodel. 2007. Past and Present Date Varieties in the United States. Acta Horticulturae 736: 39-45.

Klein, P. and A. Zaid. 2002. Chapter VI: Land preparation, Planting Operation and Fertilisation Requirements. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.

Liebenberg, P.J. and A. Zaid. 2002. Chapter VII: Date Palm Irrigation. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.

- Liu, P. 2003. The marketing potential of date palm fruit in the European market, FAO Commodity and trade policy research working paper N° 6, Tropical and Horticultural Products Service, Commodities and Trade Division, FAO, Rome, Italy. 18p.
- Maas, E.V. 1993. Testing crops for salinity tolerance. In: Maranville, J.W., Baligar, B.V., Duncan, R.R., Yohe, J.M. (Eds.), Proceedings Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses. INTSORMIL Pub n° 94-2. Unive of NE, Lincoln, USA, pp. 234-247.
- Pavez, A., H. Escobar and D. Johnson. 2007. Date Palm Cultivation in Chile and Peru (South America): Current Status and Future Prospects for Development. Acta Horticulturae 736: 71-85.
- Morton, J. 1987. Date. In: Morton, J. Fruits of warm climates. Miami, USA. p 5-11.
- Torahi, A. and K. Arzani. 2010. Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit Growth Pattern. Acta Horticulturae 864: 201-206.
- Tripler, E., U. Shani, Y. Mualem and A. Ben-Gal. 2011. Long-term growth, water consumption and yield of date palm as a function of salinity. Agricultural Water Management 99:128-134.
- USDA. 2011. USDA National Nutrient Database for standard reference. Disponible en: <http://ndb.nal.usda.gov/>. Leído en Julio de 2014.
- Valdivia, R. 2002. El Mercado mundial del dátil: Evaluación de posibilidades de inserción para Chile. Memoria de título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 260 p.
- Zaid, A. and P. Wet. 2002 a. Chapter I: Botanical and Systematic Description of the Date Palm. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.
- Zaid, A. and P. Wet. 2002 b: Chapter II: Origin, Geographical Distribution and Nutritional Values of Date Palm. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.
- Zaid, A. and P. Wet. 2002 c. Chapter IV: Climatic Requirements of Date Palm. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1

Zaid, A. and P. Wet. 2002 d. Chapter V: Date Palm Propagation. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.

Zaid, A. and P. Wet. 2002 e. Chapter VIII: Pollination and Bunch Management. In: Date Palm

Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.

Zaid, A., P. Wet, M. Djerbi and A. Oihabi. 2002. Chapter XII. Diseases and Pests of Date palm. In: Date Palm Cultivation. FAO Plant Production and Protection Paper 156 rev. 1.



Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile



Fundación para la
Innovación Agraria



FACULTAD DE CIENCIAS
AGRONÓMICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

