

5

MACADAMIA

(*Macadamia tetraphylla* L.)

Marisol Reyes M.
Arturo Lavín A.

5.1. Clasificación botánica

El género *Macadamia* pertenece a la familia *Proteaceae*, el que incluye al menos cinco especies en Australia y diez a escala mundial. Debido a que su semilla es comestible, *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche y *Macadamia tetraphylla* L., junto a algunos híbridos entre ambas, son las especies de esta familia que actualmente tienen importancia económica. Ambas son nativas de Australia (Nagao and Hirae, 1992).

En Chile esta familia está representada por árboles de gran valor maderero como lo son, entre otras, *Gevuina avellana* Mol. (Avellano chileno, de fruta similar a macadamia), *Embothrium coccineum* Forst. (“Notro” y “Ciruelillo”), *Lomatia ferruginea* (Cav.) R. Br., (“Fuinque”, “Huinque”), *Lomatia hirsuta* (Lam.) Diels, (“Radal”) y *Orites myrtoidea* (Poepp. et Endl.) Benth et Hook, (“Mirtillo, Radal de hojas chicas”) (Muñoz, 1959; Sudzuki, 1996).

5.2. Origen de la especie

Las macadamias originarias de Australia (entre los 25° y 31° de latitud sur), corresponden a especies relativamente nuevas en cuanto a la comercialización de su fruta y son las únicas plantas nativas de Australia que han sido incorporadas al cultivo comercial por su fruto comestible (Moncur *et al.*, 1985).

M. integrifolia es originaria de los bosques húmedos subtropicales del sudeste de Queensland, lo que la hace poco tolerante a las bajas temperaturas, mientras que *M. tetraphylla* es de origen más meridional, lo que la hace más tolerante a áreas con clima templado (Nagao and Hirae, 1992).

La macadamia fue introducida a Hawai desde Australia hacia fines de los 1.800, pero no fue comercialmente cultivada hasta los inicios de los 1.900 (Nagao and Hirae, 1992). Los principales países productores en la temporada 2002/2003 fueron, Australia, Estados Unidos (Hawai), Sudáfrica, Guatemala y Kenia con 37.000, 23.000, 16.000, 10.000 y 6.500 toneladas, respectivamente, siendo el principal exportador Australia seguida de Sudáfrica y Guatemala (Indexmundi, 2005). Las principales zonas productoras en Australia están en Queensland y Nueva Gales del Sur, de donde proviene, y por lo que también se le conoce como nuez de Queensland. Otros países donde, en la actualidad, se realiza y fomenta su cultivo son Brasil y Costa Rica.

En Chile solo existen plantaciones experimentales en la Región de Coquimbo (Campo Experimental Pan de Azúcar, en la Serena y Campo Experimental Lolol, en Ovalle ambos de INIA), Región de Valparaíso (Piguchén, en la Comuna de Putaendo y San Esteban y en el área de La Cruz-Quillota) y Región del Maule (Centro Experimental Cauquenes de INIA) (Lavín *et al.*, 2001). En la Región de O'Higgins, en la localidad de Panilonco, comuna de Pichilemu, existe una plantación con algunas plantas provenientes de semilla, las que aún no han fructificado.

5.3. Descripción de la especie

Los árboles de macadamia son siempre verdes, de follaje denso (Foto 5.1.), alcanzando los 10 a 20 m de altura y un ancho de copa de 13 a 15 m (Bowen, 1991). En el caso de *M. tetraphylla*, las hojas pueden tener 50 cm de largo, márgenes aserrados (Foto 5.2.) y se presentan en verticilos alrededor de cada nudo, en número de cuatro (Nagao and Hirae, 1992).



Foto 5.1. Vista de un árbol ubicado en el secano de la comuna de Cauquenes.



Foto 5.2. Detalle de hojas con borde aserrado.

Las flores son blanco cremosas o rosadas (Foto 5.3.). Aparecen de julio a septiembre y *M. integrifolia* puede tener varios flujos a través del año. El racimo floral posee 200 o más flores. Cada flor tiene cuatro estambres y un ovario con dos óvulos. Las flores abren desde la base del racimo y la plena floración puede tomar una semana. Después de la floración, solo un óvulo es fertilizado.

Alrededor de cinco a ocho semanas después de la floración, ocurre una considerable caída de frutos, cuando éstos tienen el tamaño de una arveja. Se trata de un ajuste natural de la carga frutal (Quinlan and Wilk, 2005).



Foto 5.3. Racimo floral de macadamia.

El fruto de la macadamia corresponde a un folículo (Foto 5.4.). La semilla, que corresponde a la parte comestible, está cubierta por una cubierta café muy resistente (tegumento), el que está envuelto por el pelón hasta el momento de la cosecha.



Foto 5.4. Frutos de macadamia. Se observa la semilla y tegumento que la protege.

5.4. Características agronómicas

5.4.1. Suelo

Se adapta a un amplio rango de suelos, desde arenosos a arcillosos, siempre que tengan buen drenaje. Sin embargo, su mejor desarrollo se produce en suelos profundos y fértiles, sin capas impermeables, con pH entre 5,5 y 6,5. No tolera suelo o agua con altas concentraciones de sal. Deben preferirse zonas con pendientes inferiores al 25-30%, para facilitar la recolección de las nueces, las cuales caen al suelo cuando están maduras (Gobierno de Costa Rica, 2005; California Rare Fruit Growers, 2005).

5.4.2. Clima

Existen diferencias entre las dos especies cultivadas de macadamia con respecto a su adaptación climática. *M. tetraphylla* se caracteriza por ser más tolerante al frío y a la sequía, por lo que se cultiva en California y, probablemente, sería la más adecuada para ser cultivada en Chile. Shigeura (1981) señala que las áreas que poseen temperaturas mínimas promedio de entre 14 y 17 °C durante los meses de invierno, son adecuadas para *M. integrifolia*, mientras que áreas con temperaturas más bajas podrían ser adecuadas para *M. tetraphylla*.

De acuerdo a Sudzuki (1996), el óptimo de producción se obtiene con temperaturas entre los 15 a 35 °C. Bajo los 10 °C no se desarrolla y sobre los 30 °C la vegetación es clorótica. Sin embargo, es necesario mencionar que además de la temperatura, se debe considerar la altitud, ya que determina el rendimiento y la calidad de la fruta. La elevación óptima para la macadamia está entre los 225 y 550 m.s.n.m¹ (Bowen, 1991). También se ha señalado que tendría ciertos requisitos de acumulación de horas de frío (Moncur *et al.*, 1985).

¹ Metros sobre el nivel del mar.

Aunque la macadamia crece entre los 0° y 34° de latitud, la producción óptima se encuentra en áreas donde la temperatura no supera los 32 °C ni cae bajo los 13 °C. Los rangos máximos y mínimos de temperatura para una óptima producción están solo parcialmente relacionados con el desarrollo floral, ya que pequeñas variaciones entre la temperatura del día y la noche tendrían un marcado efecto en la intensidad y largo de la floración (Nagao and Hirae, 1992).

5.4.3. Riego

En cuanto a las necesidades de agua, la falta de humedad en el suelo reduce el rendimiento, restringe el crecimiento del tronco y causa abscisión de hojas y muerte regresiva de ramas. El tamaño de la nuez también se reduce cuando los árboles son sometidos a déficit hídrico en verano y temprano en invierno. Los requerimientos hídricos de la macadamia son dependientes del tipo de suelo. En Hawái, en árboles que crecen en suelos de roca volcánica, 3.180 mm/año de lluvias uniformemente distribuidas son suficientes. En suelos más profundos, solo se necesitan 1.650 mm/año. Incluso puede sobrevivir en áreas con 510 mm/año, pero el crecimiento del árbol es lento y la producción es baja en años excesivamente secos.

En zonas de suelos arcillo limosos, con precipitaciones de 1.090 mm/año, se ha tenido buenos resultados al regar cuando la humedad del suelo llega a 0,6 bares a 0,76 m de profundidad del suelo a una distancia de 1,8 m del tronco. En suelos franco-limosos con precipitaciones promedios de 1.520 mm/año, el riego suplementario puede provocar aumentos del 10% en el diámetro de tronco y producción anual, y las diferencias de rendimiento pueden llegar a un 50% en años muy secos. Para estas condiciones, las tasas de riego varían entre 9,5 L/día en árboles jóvenes y 19 L/día para árboles de 10 años de edad (Nagao and Hirae, 1992).

5.4.4. Nutrición

Para determinar los requerimientos nutricionales se recomienda realizar análisis foliares en primavera, coincidiendo con la ocurrencia del mayor desarrollo vegetativo, y con el período cuando las frutas están comenzando su desarrollo. Se toman muestras de hojas maduras que hayan alcanzado recientemente su plena expansión. Como referencia, se entregan los niveles de nutrientes recomendados para Hawai y Australia (Cuadro 5.1.).

Cuadro 5.1. Rangos de concentración de nutrientes en hoja de macadamia, recomendados en Hawai y Australia.

Elemento		Hawai	Australia
Nitrógeno	(%)	1,45 - 2,00	1,40 - 1,50
Fósforo	(%)	0,08 - 0,11	0,08 - 0,10
Potasio	(%)	0,45 - 0,60	0,60 - 0,70
Calcio	(%)	0,55 - 1,00	0,60 - 0,90
Magnesio	(%)	0,08 - 0,10	---
Azufre	(%)	0,24	0,18
Cloro	(%)	---	0,03
Manganeso	(ppm)	50 - 1500	100
Fierro	(ppm)	50	---
Cobre	(ppm)	4,0	4,5
Zinc	(ppm)	15 - 20	15
Boro	(ppm)	40 - 100	40 - 75
Aluminio	(ppm)	<200	---

Fuente: Adaptado de Nagao and Hirae, 1992.

En Venezuela se recomiendan aplicaciones de nitrato de calcio, boro y microelementos en dosis crecientes de acuerdo a la edad de las plantas, además de encalar los suelos ácidos cada dos años.

5.4.5. Fructificación

A pesar de que la polinización ocurre antes de la antesis², la autofecundación es extremadamente baja, mientras que la polinización cruzada entre variedades determina un fuerte incremento en la cuaja, indicando que los racimos son básicamente autoestériles. Sudzuki (1996) señala que la polinización es cruzada y puede haber autopolinización aun cuando existe cierta incompatibilidad por existir dicogamia³. La germinación de los granos de polen comienza 1 a 2 días después de la polinización con un máximo a los tres días. La producción aumenta considerablemente al disponer abejas melíferas en los huertos (Nagao and Hirae, 1992).

Botánicamente, el fruto de la macadamia corresponde a un folículo poseedor de una sola semilla (Bowen, 1991; Sudzuki, 1996; Defilippi y Echeverría, 1997). La envoltura externa correspondiente al llamado “pelón” en la nuez. Lo forman el exocarpio y el mesocarpio, el conjunto es dehiscente mediante una sutura ventral (Defilippi y Echeverría, 1997). La semilla está conformada por el embrión y los cotiledones, los cuales están cubiertos por lo que se conoce normalmente como “cáscara”. Esta “cáscara” está formada por dos tegumentos, el externo duro con muchas fibras y células, y el interno, mucho más delgado, formado a partir de la epidermis interna del tegumento.

El fruto requiere en total 210 días para madurar (Nagao and Hirae, 1992). Después de 45 a 60 días desde la antesis se produce una caída de frutos. En general, no más del 1% de las flores llegan a ser nueces (Quinlan and Wilk, 2005).

Los árboles sometidos a estrés hídrico 5 a 6 semanas después de cuaja, presentan fuertes caídas de fruta. También ocurren abscisiones prematuras cuando no hay suficiente translocación de asimilados para el desarrollo del fruto (Nagao and Hirae, 1992).

² Período de expansión de una flor hasta que está completamente desarrollada y funcional.

³ Maduración de las partes masculina y femenina de la flor en tiempos distintos.

Un árbol de macadamia, injertado, comienza a producir al cuarto año desde su plantación, generando no más de 1kg/árbol. La producción va incrementando para llegar al séptimo año a 4,5 kg/árbol, 10 kg/árbol al año 10 y a 35 kg/árbol en árboles maduros (Trochoulias *et al.* 1984). En Chile, las experiencias productivas se han realizado solo con plantas de semilla (Foto 5.5.).



Foto 5.5. Planta proveniente de semilla. Tregualemu, Región del Maule.

Los frutos poseen un contenido de aceite, de entre 72 a 78%, el que contribuye fuertemente a la calidad de la nuez (Cuadro 5.2.). Se caracteriza por su bajo nivel de ácidos grasos insaturados y sobresale también la presencia de riboflavinas (Sudzuki, 1992; Trochoulias *et al.* 1984). Se considera una de las nueces más finas del mundo y se utiliza en confitería, pastelería, para consumo directo al natural y saladas.

Cuadro 5.2. Composición de 100 g de frutos de macadamia.

Componente		Vitaminas y minerales	
Grasa (%)	78,6	Fósforo (%)	0,24
Proteína (%)	9,3	Calcio (%)	0,06
Carbohidratos (%)	7,5	Riboflavina (mg)	118
Fibras (%)	1,8	Niacina (mg)	1,59
Cenizas (%)	1,4	Thiamina (mg)	0,215
Humedad	1,1	Vitamina A	---
		Ácido ascórbico	---

Fuente: Adaptado de Westwood, 1982.

5.4.6. Patrones y variedades

Si bien en el cultivo de la macadamia se injertan los árboles, para poder tener árboles uniformes en cuanto a sus características, especialmente de frutos, se usan como patrones plantas provenientes de semilla de las mismas especies. Se recomienda obtener las semillas para propagación de árboles vigorosos (Trochoulias *et al.* 1984).

Diversos métodos de injertación, tanto en invernadero como en el campo, son usados con éxito. Solo se recomienda evitar injertar en invierno.

Si bien aún en Chile no existen variedades comerciales, en los países productores se utilizan básicamente variedades de *M. integrifolia*, ya que se considera que produce nueces de mejor calidad, aunque es mucho más susceptible a las bajas temperaturas invernales. También existen algunas variedades comerciales de *M. tetraphylla* e incluso de algunos híbridos entre ambas especies.

En Nueva Gales del Sur, Australia, las siguientes variedades de *M. integrifolia* son de uso comercial: Keauhou (HAES 246), Kakea (HAES 508), Hinde (H2), Keaau (HAES 660), Ikaika (HAES 333), Kau (HAES 344), Mauka (HAES 741), Makai (HAES 800) Own Choice y Senimke (SI). Algunos híbridos también han sido plantados, pero en pequeñas superficies como: Greber Hybrid, Rankine (HY) y Renown (D4) (Trochoulias *et al.* 1984).

En California, Estados Unidos, se usan variedades de ambas especies y algunos híbridos como Dorado, James, Keaau, Keauhou y Waimanalo de *M. integrifolia*; Burdick y Cate de *M. tetraphylla*; e híbridos como Beaumont, Elimbah y Vista (California Rare Fruit Growers, 2005).

5.4.7. Sanidad

Según Sudzuki (1996), en nuestro país la macadamia está prácticamente libre de plagas y enfermedades que afecten la economía del cultivo. Sin embargo, en Australia, existen plagas que pueden dañar severamente los brotes, hojas, flores y frutos. En Hawai las flores pueden ser atacadas por los hongos *Phytophthora capsici*, *Botrytis cinerea* y *Cladosporium* sp. En Sudáfrica se han aislado *Alternaria*, *Stemphyllum* y *Botrytis* sp., todas ellas presentes en nuestro país.

En Cauquenes, al propagar semillas en bolsas y mantenerlas en invernadero durante el verano, es decir con alta humedad y temperatura, se produjo una alta mortalidad de plantas debido, aparentemente, al ataque de un hongo en el cuello y raíces (*Ophiostoma* sp.) hongo presente en bosques de pino insigne donde solo ataca árboles debilitados.

5.5. Variables estudiadas

El estudio se realizó en el Centro Experimental Cauquenes de INIA, ubicado al oriente de la Cordillera de la Costa, en los 36°40'S y 38°21'O, en un sector de lomajes típicos del secano interior (Lavín, informes anuales⁴).

Los árboles utilizados provinieron de semillas introducidas por INIA en 1982 desde California, Estados Unidos, las que fueron multiplicadas en un vivero de la

⁴ Evaluación de nuevas alternativas frutícolas para el secano interior, Informes técnicos presentados a Odepa 1984, 1985, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992 y 1993.

Estación Experimental la Platina en Santiago, donde se seleccionó el material que se plantó en Cauquenes durante 1984. El marco de plantación fue de 4 x 9 m (278 árboles por hectárea) y quedó conformado por 46 árboles distribuidos en 4 hileras. Se realizaron prácticas de manejo, como poda durante la primavera de 1994, y se fertilizó el huerto desde el tercer al noveno año.

Para describir el comportamiento de los árboles, se utilizaron los registros medidos desde plantación, en 1984, hasta el 2003 en algunos casos. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

5.5.1. Supervivencia

Considera anualmente el porcentaje de plantas vivas sobre la base del total plantado en 1984.

5.5.2. Salida de juvenilidad

Contabiliza el número de árboles que anualmente florecen por primera vez desde su plantación.

5.5.3. Producción

Se evaluó la producción (kg/árbol) para nueve temporadas (1993/94 – 2001/02) expresándose, también, en rendimiento unitario (kg/ha) para lo que se consideraron 278 árboles/ha.

La evaluación se realizó sobre la base de frutos sin pelón (pericarpio), el que fue retirado una vez realizada la cosecha. Tanto la cosecha como la eliminación del pelón se realizaron siempre manualmente.

5.5.4. Situación nutricional

Dado que desde los primeros años después de plantados, varios de los árboles mostraron sectores del follaje con una clorosis y alteración del tamaño y forma de las hojas, en un comienzo se atribuyó esta sintomatología a efectos de bajas temperaturas, especialmente durante algunos días de invierno. Pero la ubicación del follaje alterado no siempre era en los sectores bajos de la copa y, por lo tanto, más susceptible a sufrir daños por frío. Esto hizo pensar en algún problema nutricional y, por ello, en septiembre de 1994 se realizaron análisis foliares para macro y micronutrientes en hojas con y sin clorosis.

5.5.5. Caracterización de los frutos

Para las temporadas 1993/94 a 2001/02, exceptuándose las temporadas 1995/96 y 1996/97 en las que debido a las heladas no hubo producción, se determinó en los frutos la distribución de calibres y el peso promedio. Se clasificaron los frutos en cuatro categorías según su diámetro: inferiores a 20 mm, entre 20-20,3 mm; entre 20,3-20,6 mm y superiores a 20,6 mm, expresándose cada categoría como porcentaje del total. El peso de los frutos se obtuvo pesando el número de frutos en cada categoría de diámetro, expresándolo en gramos. También se obtuvo el peso promedio del total de frutos.

Para obtener la relación semilla/fruto, en las temporadas 1993/94 y 1994/95, de cada árbol se pesaron 0,5 kg de frutos, especialmente la semilla y la cubierta seminal. Además, durante la temporada 1999/2000 para el total de frutos cosechados se evaluó el porcentaje de nuez respecto al folículo (fruto con pelón).

En la temporada 1994/95, a una muestra de aproximadamente 0,5 kg de los frutos de siete de los árboles más productivos, se le sometió a análisis físico y químico para conocer las características de los frutos de esta especie al cultivarla en el país.

Debido a que la apertura del pelón es gradual en los frutos de cada árbol, como

una manera de poder uniformar la fecha de cosecha, en la temporada 1993/94 se realizó un ensayo para inducir la apertura del pelón. En los frutos cosechados de los árboles con mayor producción, se probó un tratamiento de inmersión en una solución de Etileno comercial a dosis de 6cc/10 L de agua (300 ppm) por 5 minutos, se le dejó reposar por 12 horas y se evaluó la apertura del pelón.

5.5.6. Estados fenológicos

Desde 1991 a 1999 se registró visualmente la ocurrencia de los estados fenológicos que se detallan a continuación.

Brotación	: Visualización de brotes apicales.
Desarrollo de la inflorescencia	: Aparición de racimos.
Inicio de floración	: 10% de las flores del racimo abiertas.
Plena flor	: 50% de flores abiertas.
Término de floración	: Las flores comienzan a secarse.
Cuaja	: Se comienzan a observar frutos de bajo 4 mm.
Desarrollo del fruto	: Los frutos alcanzan su tamaño final.
Cosecha	: Apertura del pelón y caída de frutos.

También se registró la acumulación de calor efectivo, como Grados Día (GD), mediante la siguiente ecuación:

$$^{\circ}\text{C día} = \sum ((T \text{ max} + T \text{ min})/2 - T_b)$$

Donde **Tmax** y **Tmin** son las temperaturas máximas y mínimas diarias, respectivamente, y **Tb** es la temperatura base de la especie, la que en este caso es 12,5 °C (Nagao and Hirae, 1992). Este cálculo se hizo mensualmente para cada año entre 1993 y 1999, luego se calculó un promedio para cada mes.

5.6. Resultados obtenidos

5.6.1. Supervivencia.

Al quinto año desde plantación había un 65% de árboles vivos, que disminuyó a un 63% en 1996, debido al efecto de las heladas que se ha mantenido en el tiempo (Cuadro 5.3.).

Cuadro 5.3. Supervivencia (N° y %) de árboles de macadamia en Cauquenes.

Año	Árboles vivos	
	N°	%
1991	30	65
1992	30	65
1993	30	65
1994	30	65
1995	30	65
1996	29	63
1997	29	63
1998	29	63
1999	29	63
2000	29	63

Según Defilippi y Echeverría (1997) las plantas jóvenes son muy susceptibles a ser dañadas por heladas débiles y vientos fuertes, debido a que poseen corteza blanda y un sistema radical muy poco desarrollado. La macadamia no tolera heladas severas. El daño se empieza a producir con temperaturas inferiores a -2,7 °C, especialmente si la temperatura baja se mantiene por varias horas (McHargue, 1996).

En Cauquenes, según los datos registrados en la Estación Meteorológica del Centro Experimental Cauquenes de INIA, la ocurrencia de temperaturas bajo ciertos umbrales es muy variable (Cuadro 5.4.). Al relacionar la magnitud del daño sufrido por los árboles con las bajas temperaturas medidas, se ha observado que tanto días aislados con temperaturas muy bajas ($< -3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) como varios días seguidos con temperaturas no tan bajas ($< -2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) provocan daños en el follaje, de leves a severos, ya que hay variabilidad entre árboles. La muerte de árboles solo se ha constatado con la ocurrencia de temperaturas tan bajas como -4°C . En Cauquenes, en el bloque de evaluación, han ocurrido daños en los inviernos de los años 1995, 1996, 2000 y 2002, con muerte de árboles solo durante 1996 ($-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Cada vez que ha habido daño por heladas, se ha perdido toda la cosecha y, generalmente, en la temporada siguiente, la producción de frutos se ha visto disminuida.

5.6.2. Salida de juvenilidad

El término del período de juvenilidad comenzó a ocurrir desde el año 1991, a los siete años desde plantación, y solo en dos árboles. En los tres años siguientes el número de árboles que floreció se incrementó fuertemente llegando a 25 en el año 1994 (Cuadro 5.5.). Producto del daño causado en las yemas florales por heladas durante el período 1995-1996, no se pudo seguir midiendo la evolución del término del período de juvenilidad.

Debe recordarse que las plantas fueron obtenidas de semilla, por lo que era de esperar una entrada en producción alrededor del 6^o año. La obtención de plantas de macadamia mediante mugrón aéreo permite reducir el período de juvenilidad, obteniéndose árboles que entran en producción alrededor de los 4 años, con rendimientos considerados comerciales alrededor de los 6 a 7 años (Nagao and Hirae, 1992).

5.6.3. Producción

Cuadro 5.4. Número de días con temperaturas mínimas bajo distintos umbrales. Años 1989/2002. Estación Meteorológica Centro Experimental Cauquenes INIA.

Mes	Temperatura	Número de días bajo cada temperatura														
		1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
Mayo	0	1	1		2	4						1			1	
	-1								1						0	
	-2								1						1	
	-3														0	
	-4		1												0	
	Min. Extrema	-0,2	-4,0	0,4	-0,6	-0,8	0,2	0,2	-2,0	0,2	2,8	0,0	0,1	1,3	-2,5	
	Min. Promedio	5,1	6,0	7,0	7,6	6,7	6,3	6,1	5,9	8,3	7,7	6,7	5,6	7,7	5,2	
Junio	0		1	3		1	1	1	2	1	1	4	3	1	3	
	-1		1		3				6			1		1	3	
	-2		3		1				3			1			5	
	-3														1	
	-4								1							
	Min. Extrema	1,0	-2,9	-0,8	-2,0	-0,4	-0,6	-0,2	-4,4	-0,2	-0,6	-2,0	-0,6	-1,3	-3,7	
	Min. Promedio	6,4	4,0	5,2	4,9	6,6	7,2	5,9	2,6	6,7	4,1	5,8	7,4	5,2	2,5	
Julio	0	1	1	2	3	4	5	3	4	4	4	2	2	6	4	
	-1	1	2		2	2	1	1	1	1	2	3	3	2	1	
	-2			1	2	2		3				2	2	2		
	-3	1						3							2	
	-4															
	Min. Extrema	-3,2	-1,8	-2,0	-2,6	-2,3	-1,2	-3,6	-1,0	-1,2	-1,8	-2,6	-2,6	-2,2	-3,6	
	Min. Promedio	3,8	4,4	4,7	2,4	3,2	4,1	2,9	4,0	5,2	3,4	2,1	2,1	2,6	2,8	
Agosto	0	1					4	4		2	5					
	-1	1	1	2	3		2	1			1		1			
	-2			3				1			1					
	-3							1								
	-4				1											
	Min. Extrema	-1,0	-1,1	-2,8	-4,0	1,6	-1,2	-3,2	0,0	0,0	-2,6	1,0	-1,8	1,8	0,2	
	Min. Promedio	4,4	5,7	3,4	3,4	5,4	2,4	4,2	6,0	5,5	2,8	5,6	5,8	5,7	6,3	
Septiembre	0					1						1	1			
	-1	1						1								
	-2															
	-3															
	-4															
	Min. Extrema	-1,0	1,0	1,0	1,8	-0,6	0,2	-1,0	0,6	1,4	0,2	-0,2	-0,2	0,7	1,1	
	Min. Promedio	5,1	5,9	6,4	5,4	5,1	6,4	4,7	5,4	6,7	3,8	6,6	6,6	5,4	5,5	

Cuadro 5.5. Salida de juvenilidad (N° y %) de árboles de macadamia en Cauquenes.

Año	Árboles con flores	
	N°	%
1991	2	7
1992	9	30
1993	19	63
1994	25	83
1995	25	83
1996	25	86
1997	26	90
1998	28	97
1999	28	97
2000	28	97

En Australia, en el primer año de producción, el rendimiento no excede 1 kg/árbol. A los 10 años es de 10 kg/árbol y a los 20 años de 35 kg/árbol (Trochoulias *et al.* 1984). Estos rendimientos varían según el clima y la variedad. En Hawai, el rendimiento de cinco cultivares de entre 10 y 16 años desde plantación, varía entre 37,9 a 47,4 kg por árbol, en huertos plantados a 8 x 9 m (Nagao and Hirae, 1992).

En Cauquenes, la producción en un comienzo mostró una tendencia normal a subir año a año, pero después del primer daño por heladas, ha tenido una tendencia errática como se ve en el Cuadro 5.6., en el que se muestra la producción promedio desde el año 1995. Se observa que aunque en 1998 hay una marcada alza, en el resto de los años no hay una clara tendencia al aumento. Esto podría ser explicado por el hecho de ser plantas provenientes de semilla que no fueron injertadas, por lo que presentan producciones desuniformes y poco estables. Lo anterior, claramente se observa en la Figura 5.1. donde se muestra la producción alcanzada por cada árbol para los años evaluados. Se puede ver que son pocos los que desde su entrada en producción han presentado producción todos los años y menos los que la han aumentado o sostenido en el tiempo. La desuniformidad, tanto en el desarrollo de la plantación como en la producción, puede ser el resultado del método de propagación usado en los árboles. Según Sudzuki (1996)

la macadamia es fácil de propagar por semilla, pero presenta el inconveniente de obtener producción a los 8 a 12 años con calidad impredecible de frutos. Por otro lado, Defilippi y Echeverría (1997) señalan que la mejor manera de obtener precocidad y uniformidad, tanto en el crecimiento como en la producción, y lograr buena calidad, es usando medios de propagación como la injertación, estacas de madera del año o mugrón aéreo.

Los cultivares de macadamia poseen un estrecho rango de adaptabilidad. En

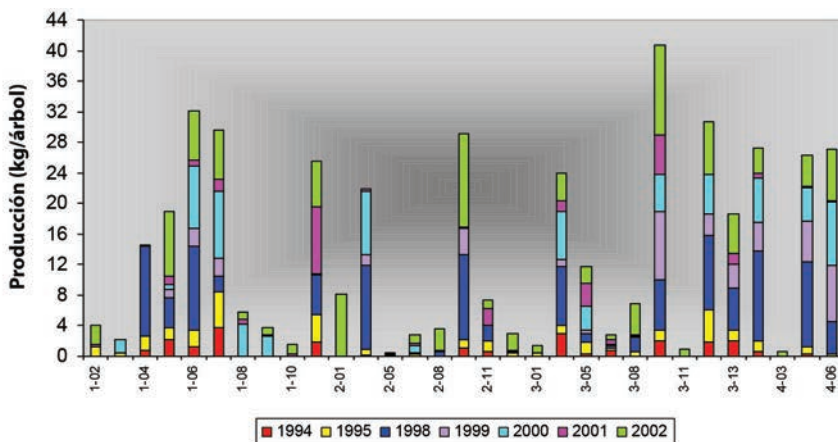


Figura 5.1. Producción acumulada (kg/árbol) para árboles de macadamia, entre los años 1994 y 2002, en Cauquenes.

Cuadro 5.6. Producción evaluada (kg/árbol) y estimada (kg/ha) de árboles de macadamia, para seis temporadas, en Cauquenes.

Temporada	Producción evaluada (kg/árbol)	Producción estimada (kg/ha)
1994/95	1,4	311
1997/98	5,7	1309
1998/99	2,9	732
1999/00	3,9	973
2000/01	1,2	310
2001/02	3,9	977
Promedio	3,2 + 1,7	768 + 400

ensayos realizados en Australia, donde se plantaron variedades Hawaianas, se vio que los rendimientos eran la mitad de lo que se obtenía en Hawai, con árboles de la misma edad. Por este motivo, se recomienda hacer una selección de los cultivares mejor adaptados a cada condición agroclimática (Nagao and Hirae, 1992).

Haciendo una comparación entre los rendimientos promedio y los árboles con mayores rendimientos, se puede hacer una proyección de producción potencial (Figura 5.2.), de donde se puede concluir que es posible subir la producción obtenida en más de un 50%. A esto debiera sumarse una menor distancia de plantación; por ejemplo, en Sudáfrica se recomiendan distancias de hasta 7 x 7m.

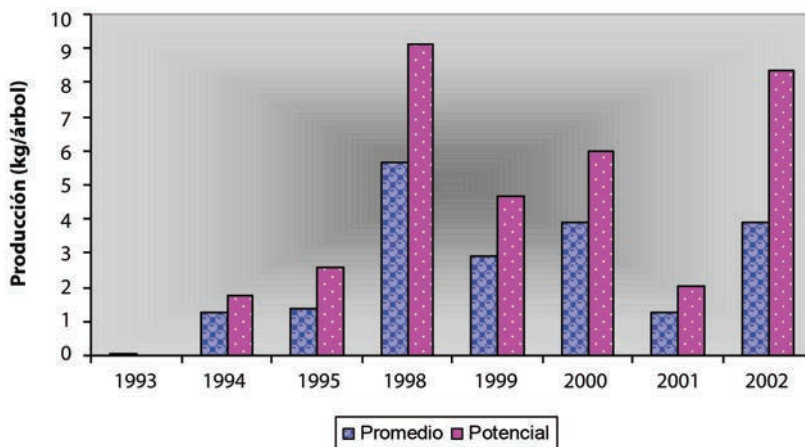


Figura 5.2. Producción promedio y potencial (kg/árbol) de frutos de macadamia en Cauquenes.

5.6.4. Situación nutricional

Para N, P, Mg, Na y Cu se midieron valores similares en las hojas con y sin síntomas, mientras que para K, Ca, Fe, Zn, B y Mn los valores fueron superiores a los de las hojas con síntomas (Cuadro 5.7.). Con respecto a las referencias que existen en Hawai y Australia (Cuadro 5.1.) para los macronutrientes, los valores de N son bajos en ambos casos, los de P normales, los de K alto, sin ser tóxico, en las hojas con síntomas y normal en aquellas sin síntomas. En calcio se da lo contrario; normal para

las con síntomas y bajo para las sin síntomas, mientras que son bajos los niveles de Mg en ambos casos.

Cuadro 5.7. Valores medidos para macro y micronutrientes en hojas con y sin clorosis. Cauquenes, septiembre de 1994.

	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	B ppm
Con síntomas	1,09	0,08	1,10	0,63	0,06	0,04	216	496	146	9,2	14,4
Sin síntomas	1,07	0,08	0,53	0,29	0,05	0,04	62	260	25	8,0	5,8

En micronutrientes, los valores de Mn fueron normales para ambos casos, los de Fe muy alto en las con síntomas y altos en las que no los tuvieron. El Cu fue alto en ambos casos y el Zn muy alto cuando había síntomas y levemente alto cuando no estaban presentes. Los niveles de B fueron diferentes para ambos casos, pero siempre bastante bajos para lo considerado normal en otros países.

Es difícil llegar a una conclusión con tan pocos datos, pero sí se puede concluir que es muy importante determinar los niveles adecuados de nutrientes para la especie bajo las condiciones de los suelos del secano interior.

En ensayos posteriores realizados en el secano costero de la provincia de Cauquenes, no se han detectado problemas nutricionales, aun cuando en ellos también se observan los síntomas antes descritos (Lavín y Reyes, 2005).

5.6.5. Caracterización de los frutos

5.6.5.1. Diámetro

Los frutos de macadamia deben ser de un tamaño que satisfaga las exigencias de los mercados. Contardo (1996) plantea que existe una marcada diferencia entre el producto que se transa internacionalmente entre los países asiáticos y los países de occidente. En los primeros se prefiere macadamia de menor tamaño, la que no tiene gran aceptación en Europa y Estados Unidos.

La distribución porcentual de los frutos según su diámetro se muestra en la Figura 5.3., en la que se observa que casi la mitad de ellos se encuentra entre 20,3 y 20,6 mm, mientras que el menor porcentaje es de aquellos que están bajo los 20 mm.

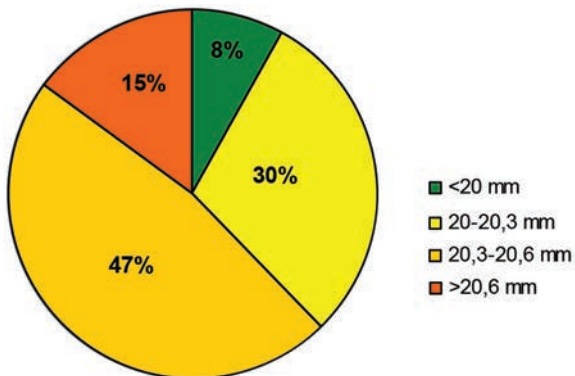


Figura 5.3. Distribución porcentual de frutos para cuatro categorías de diámetro.

5.6.5.2. Peso

El peso de los frutos está en directa relación a su tamaño (diámetro), fluctuando entre 3,1 y 10,1 g, con un promedio general de 6,7 g (Figura 5.4.). La categoría de diámetro con mayor número de frutos (20,3 – 20,6) presentó un peso de 7,7 g. Algunos cultivares seleccionados en Hawai presentan pesos promedio de frutos de entre 6,5 y 7,5 g, mientras que en experiencias en Paraguay (Armadans, 2001) se obtuvieron pesos de frutos de entre 4,7 y 7,5 g.

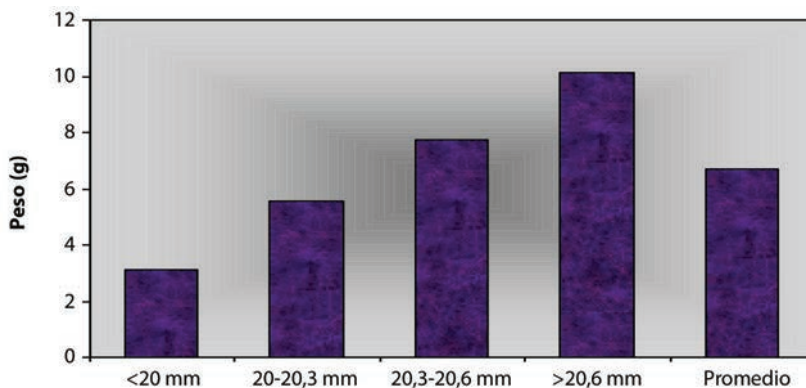


Figura 5.4. Peso promedio de frutos según categoría de diámetro.

5.6.5.3. Relación semilla/cáscara

Los frutos cosechados durante el año 2000 presentaron como promedio 49,69% de semilla, lo que significó que el 50% del fruto correspondió a pelón (pericarpio), lo que es alto comparado con lo que se obtiene en variedades comerciales, donde solamente el 30-35% del folículo corresponde a pelón (Sudzuki, 1996).

5.6.5.4. Relación semilla/fruto

El peso promedio de los frutos para las temporadas evaluadas fue de 6,7 g, con 2,3 g de peso de semilla (Figura 5.5.), lo que corresponde a un 33,7% del peso total. Este valor es levemente superior a lo informado por Armadans (1998), quien reportó valores de 20,3 y 26,3% de semilla.

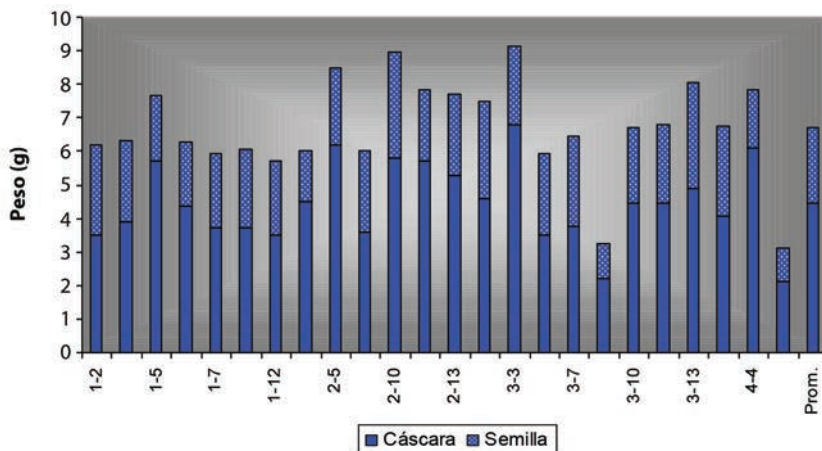


Figura 5.5. Peso de cáscara y peso de semilla, para frutos de macadamia, cosechados las temporadas 1993/94 y 1994/95 en Cauquenes.

Se cree que el grosor de la testa, llamada comúnmente cáscara, puede estar determinado por diversos factores tales como: luz ultravioleta, factor genético y sequía. El grosor tiene puntos a favor y otros en contra. Por ejemplo, una testa gruesa presenta menos parte comestible, pero le confiere mayor protección contra hongos e insectos. Por otro lado, una testa delgada permite que el embrión sea más fácil de pelar, pero más susceptible a la oxidación (Sudzuki, 1996).

5.6.5.5. Composición química

La composición química (Cuadro 5.8.) demuestra que la humedad de todos los frutos analizados fue baja, inferior a 4,5%, lo que aseguraría una buena conservación de la calidad. El nivel de cenizas es similar en todos los árboles estudiados y algo inferior a lo informado en la literatura (1,7%).

Cuadro 5.8. Composición química de frutos de macadamia, provenientes de árboles de semilla, cosechados en Cauquenes. Temporada 1994/95.

Árbol	Humedad %	Cenizas %	Lípidos %	Proteína %	Fibra cruda %	Extracto no nitrogenado %
(1) 6	3,81	0,97	70,33	6,53	1,4	16,96
(1) 6	2,99	0,98	66,91	6,99	3,13	19,00
(2) 10	2,98	0,97	57,64	6,24	4,43	27,75
(2) 12	2,84	0,98	65,08	7,47	3,33	20,30
(2) 13	4,12	0,98	63,08	5,49	3,43	22,90
(3) 3	3,07	0,99	71,85	6,14	2,48	15,47
(3) 10	6,55	0,98	65,02	6,63	3,03	20,79
Promedio	3,34 + 0,45	0,98 + 0,01	65,7 + 4,37	6,5 + 0,59	3,03 + 0,86	20,45 + 3,75
Máximo	4,12	0,99	71,85	7,47	4,42	27,75
Mínimo	2,84	0,97	57,64	5,49	1,4	15,47

El contenido de lípidos es bastante variable, entre 57,64 y 71,85%. Solo dos de los árboles analizados (01-06 y 03-03) se acercan al valor referido por la literatura, 70%, ya que la mayoría dio valores cercanos a 65%. La proteína fluctuó entre 6,50 y 7,47%, lo que está dentro de los rangos citados por otros autores. El contenido de fibra cruda, en la mayoría de los árboles analizados, es alto. Los árboles 01-06 y 03-03, coincidentemente son los de menor contenido de fibra y también de extracto no nitrogenado (hidratos de carbono).

5.6.6. Fenología

En Hawai y Australia, los árboles de macadamia se caracterizan por presentar crecimiento vegetativo durante todo el año, a mayores tasas temprano en primavera, y hacia fines del verano. Estas alzas estarían determinadas por la temperatura, ocurriendo las mayores tasas en períodos en los que las temperaturas fluctúan entre 20 y 30 °C. Bajo 10 y sobre 35 °C, el crecimiento se detiene totalmente. De acuerdo a los registros, en la zona de Cauquenes la brotación se produciría entre agosto y noviembre (Figura 5.6.), período en el que las temperaturas máximas y mínimas fluctúan entre 15,5 a 4,6 °C y 25,3 a 9,0 °C, respectivamente (Novoa *et al.*, 1989).

El desarrollo de la inflorescencia (Figura 5.6.) se produce desde julio hasta fines de septiembre, por lo que la ocurrencia de heladas en invierno las daña en sus primeros estados de desarrollo, haciendo que el daño sea severo.

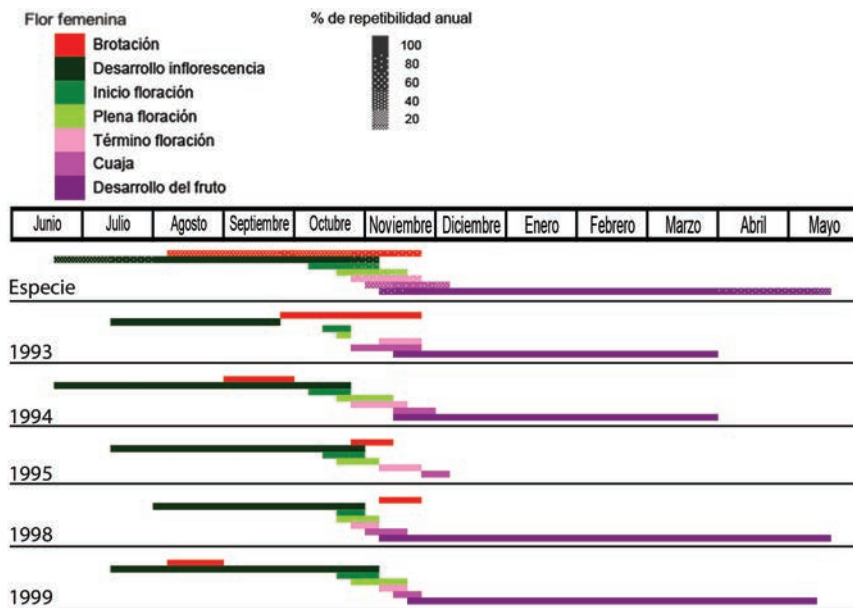


Figura 5.6. Estados fenológicos en árboles de macadamia. Temporadas 1993/94 a 1998/99.

Durante el desarrollo del racimo, es importante la acumulación de calor efectivo o días grado (DG >12,5 °C), ya que contribuye en su elongación (Nagao and Hirae, 1992). Durante el período evaluado, los días grados acumulados hasta el fin de este estado, correspondieron en promedio a 4,3 (Figura 5.7.).

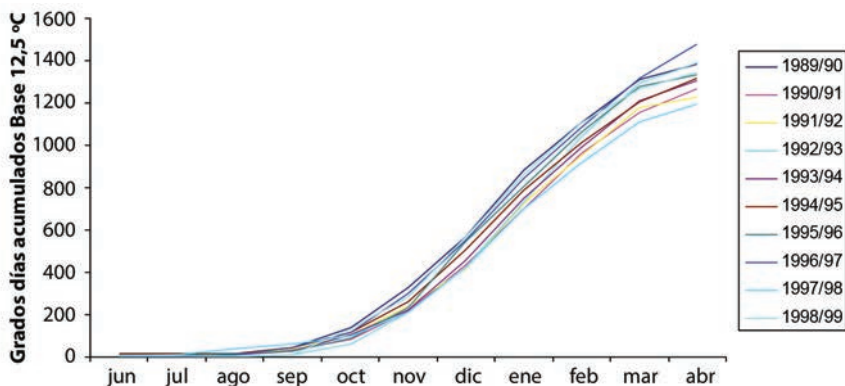


Figura 5.7. Acumulación de Días Grado (DG>12,5 °C) para siete temporadas en Cauquenes.

Los estados fenológicos siguientes (inicio de floración, plena floración y término de floración) ocurrieron desde principios de octubre hasta fines de noviembre. El estado de plena floración se concentró desde fines de octubre hasta la segunda semana de noviembre.

El crecimiento del fruto sigue una curva de modelo sigmoideo simple. La división celular ocurre hasta 4 o 5 semanas después de anthesis (Nagao and Hirae, 1992). Comienza con la cuaja del fruto, que ocurre en noviembre, y termina con la cosecha, al momento en que los frutos han alcanzado su madurez, tanto fisiológica como organoléptica.

En el área de Cauquenes los frutos no abren el pelón en forma natural hasta mayo, prolongándose la cosecha hasta el invierno, lo que es incómodo y podría causar algún problema fungoso. Una solución sería el inducir la apertura del pelón, lo que permitiría cosechar más temprano. El efecto de una inmersión por cinco minutos en una solución de etileno comercial a 300 ppm de los frutos de seis de los trece árboles, se presenta en el Cuadro 5.9., en el que se puede apreciar que fue diferente según el árbol. Para los frutos de los árboles, que fueron sometidos a esta aplicación, existió un aumento en la apertura de los pelones del 100%. Así, desde un 17% de

frutos con pelón abierto en forma natural, se pasó a un 36% de pelones abiertos al aplicar etileno.

Cuadro 5.9. Efecto de tratamiento con etileno comercial sobre la apertura del pelón en frutos de macadamia. Cauquenes, temporada 1993/94.

		Árbol						Total	%
		7	8	3	10	12	13		
Sin etileno comercial	Abierto (Nº)	38	53	1	6	12	0	110	17
	Cerrado (Nº)	73	190	177	35	26	50	551	83
	Total(Nº)	111	243	178	41	38	50	661	
	Abiertos (%)	34	22	1	15	32	0		
Con etileno comercial	Abierto (Nº)	43	145	32	25	19	5	269	36
	Cerrado (Nº)	67	100	241	18	17	45	488	65
	Total(Nº)	110	245	273	43	36	50	757	
	Abiertos (%)	39	59	12	58	53	10		

5.7. Proyección de la especie en el secano interior

Si bien la especie es capaz de crecer vegetativamente y producir cierta cantidad de fruta, las bajas temperaturas invernales que ocurren cada 5 años, aproximadamente (con heladas y temperaturas incluso inferiores a -4 °C) implican daños de diferente grado al follaje y la pérdida total de la cosecha por una o dos temporadas. Por lo tanto, solo en sectores muy particulares, libres de heladas, podría cultivarse la macadamia y preferencialmente plantas de *M. tetraphylla* que es más tolerante a las bajas temperaturas.

Tanto *M. tetraphylla* como *M. integrifolia*, que son menos tolerante al frío, pero que producen mejor calidad de nueces, podrían cultivarse en el secano costero, donde las heladas son de menor intensidad.

5.8. Literatura citada

- Armadans, A. 2001.** Comportamiento de tres variedades de Macadamia (*Macadamia integrifolia*) en el Departamento Central. Revista de Ciencia y Tecnología, Dirección de Investigaciones, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay. 1(3):15-22.
- Bowen, JE. 1991.** Nuez de macadamia, tropical y promisoría. Agricultura de las Américas. 40(5): 30-32,34-36.
- California Rare Fruit Growers, 2005.** Macadamia. <http://www.crfg.org/pubs/ff/macadamia.html>. Leído el 4 de febrero del 2005.
- Contardo, P., 1996.** Análisis de mercado de frutos de nuez: Avellano europeo, Macadamia, Pecano y Pistacho. Escuela de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. Tesis para optar al Título de Ingeniero Agrónomo. 198 p.
- Defilippi, B. y Echeverría, A. 1997.** El cultivo de la macadamia la nuez más fina del mundo. Sociedad Nacional de Agricultura. Santiago, Chile. El Campesino, septiembre-octubre:40-43.
- Gobierno de Costa Rica, 2005. Macadamia.** Disponible en: www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_macadamia.pdf. Leído el 22 de abril del 2005.
- Indexmundi. 2005.** Macadamia Inshell basis-Production, Compsumption, Exports, and Imports Statistics. http://www.indexmundi.com/en/commodities/agricultural/macadamia_inshell_basis/. Leído el 21 de enero del 2005.
- Lavín, A. A.; Lemus, S. G.; Contreras, C. M.; Negrón, M. C. y Orellana, S. A. 2001.** Macadamia. En: Lemus S., G. (ed.) Curso: Frutales de nuez no tradicionales: Macadamia, Pistacho, Pecano, Avellano europeo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago (Chile). Serie Actas N° 7. pp. 2-26.
- McHargue, L. T. 1996.** Macadamia Production in Southern California. p. 458-462. In: J. Janik (ed.), Progres in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.
- Moncur, M. W.; Stephenson, R.A. and Trochoulis, T. 1985.** Floral development of *Macadamia integrifolia* Maiden & Betche under australian conditions. Scientia Horticulturae, 27:87-96.
- Muñoz, P. C. 1959.** Sinopsis de la flora chilena. Ed. Universitaria, Santiago, Chile. 840 p.
- Nagao, M. and Hirae, H. 1992.** Macadamia: Cultivation and Physiology. Critical Reviews in Plant Sciences. 10(5):441-470.

- Novoa, R.; Villaseca, S.; Del Canto, P.; Rouanet, J.; Sierra, C. y Del Pozo, A. 1989.** Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 221 p.
- Quinlan, K and Wilk, P. 2005.** Macadamia culture in NSW. NSW Department of Primary Industries. Disponible en: http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0005/75740/Macadamia-culture-in-NSW-Primefact-5---final.pdf. Consultado en diciembre de 2013.
- Shigeura, G. T. 1981.** Minimum temperature regime for macadamia-a concept. Hawai Macadamia Producers Assoc. 21th Annu. Proc., p. 76.
- Sudzuki, F. 1996.** Frutales subtropicales para Chile. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. p. 115-136.
- Trochoulias, T.; Chalker, F. and Loebel, M. 1984.** Macadamia culture. Agdex 246/20, Dept. of Agriculture, New South Wales, Australia. 11 p.