

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

**Evaluación de los polinizantes Azul y Blanco en el cultivar Barcelona de
avellano europeo (*Corylus avellana* L., Betulaceae)**

Tesis presentada como parte
de los requisitos para optar al
grado de Licenciado en Agronomía

Maike Angela Uslar Schraudenbach

VALDIVIA – CHILE

2006

PROFESOR PATROCINANTE

Magaly Rivero G.

Prof. Biol. y Quím., Dr. Cs.

PROFESORES INFORMANTES

Roberto Carrillo Ll.

Ing. Agr., M. Sc., Ph.D.

Miguel Neira C.

Ing. Agr.

INSTITUTO DE BOTÁNICA

e

INSTITUTO DE PRODUCCIÓN Y SANIDAD VEGETAL

ÍNDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Antecedentes generales del avellano europeo, <i>Corylus avellana</i> L.	3
2.1.1	Distribución geográfica	4
2.1.2	Características botánicas	5
2.1.2.1	Arbusto	5
2.1.2.2	Hojas	6
2.1.2.3	Flores	6
2.1.2.4	Frutos	7
2.1.3	Fenología	8
2.1.4	Requerimientos del cultivo	11
2.1.4.1	Requerimientos climáticos	11
2.1.4.2	Requerimientos edáficos	13
2.1.5	Valor nutricional del fruto	14
2.1.6	Usos	15
2.1.7	Producción y comercialización	17
2.2	Antecedentes de sistemas de propagación	19
2.2.1	Sistemas asexuales	19
2.2.2	Sistemas sexuales	20
2.3	Polinización y biología floral de <i>Corylus avellana</i>	21
2.3.1	Tipos de polinización	22
2.3.2	Factores que afectan la polinización	24

2.3.3	Polinizantes	25
2.3.4	Disposición de los polinizantes	25
2.4	Incompatibilidad genética	27
2.5	<i>Corylus avellana</i> L. cv. Barcelona	29
3	MATERIAL Y MÉTODO	32
3.1	Ubicación y descripción del predio	32
3.2	Descripción material vegetal	33
3.3	Materiales	35
3.4	Método	36
3.4.1	Cruzamientos experimentales (tratamientos)	36
3.4.2	Descripción de las polinizaciones a realizar	37
3.4.3	Evaluaciones	38
3.4.4	Período experimental	38
3.4.5	Diseño experimental	39
3.5	Análisis estadístico	39
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	40
4.1	Fenología del cultivar Barcelona y los polinizantes Azul y Blanco	40
4.2	Evaluación de los frutos obtenidos	43
4.2.1	Cantidad de frutos obtenidos por tratamiento	44
4.2.1.1	Cantidad de frutos obtenidos por inflorescencia	52
4.2.2	Calidad de los frutos obtenidos por tratamiento	54
4.2.2.1	Tamaño de los frutos	54
4.2.2.2	Peso de los frutos	55
4.3	Evaluación del cultivar Barcelona como polinizante, en base a la cantidad y calidad de los frutos obtenidos	58
4.4	Ensayo de referencia (polinización abierta)	59

5	CONCLUSIONES	61
6	RESUMEN	63
	SUMMARY	64
7	BIBLIOGRAFÍA	65
	ANEXOS	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición y valor calórico de la avellana en 100 g de peso seco	15
2	Resultado de las polinizaciones manuales	43
3	Rendimientos de las polinizaciones manuales realizadas con los tres tratamientos	45
4	Cantidad de frutos/inflorescencia y características de los frutos	53
5	Comparación de los tamaños (mm) de los frutos	55
6	Peso con y sin cáscara (g) de los frutos	56
7	Rendimientos de las polinizaciones manuales realizadas con polen del cultivar Barcelona aplicado sobre el árbol siguiente del mismo cultivar	58
8	Resultado de la polinización abierta	59
9	Características de los frutos	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Distribución del cultivar Barcelona y de los polinizantes Azul y Blanco en el marco de plantación.	34
2	Duración y sobreposición de los períodos de floración femenina del cultivar Barcelona y del período de floración masculina de los polinizantes Azul y Blanco en el predio Las Golondrinas (zona de Trumao, Osorno, Región de Los Lagos)	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1	Glosario botánico	77
2	Calendario de fertilización desde la plantación hasta el quinto año	80
3	Cantidad de frutos/inflorescencia/tratamiento	81
4	Análisis de varianza de la cantidad de frutos/inflorescencia	82
5	Análisis de varianza del tamaño y peso de los frutos por tratamiento	83
6	Gráficos de las variables analizadas	86
7	Cuadro resumen estadístico de los parámetros evaluados por tratamiento	87

1 INTRODUCCIÓN

Las especies de frutos de nuez representan un interesante potencial de cultivo en Chile, dado el clima templado a cálido, con primaveras y veranos secos y generalmente libres de heladas, condiciones indispensables para el desarrollo de la mayoría de estas especies.

La ubicación geográfica del país permite que sea un productor natural de contraestación, con respecto a los principales países productores del Hemisferio Norte y la característica de baja perecibilidad de estos frutos, permite además, aumentar el margen de tiempo para comercializarlos en los diferentes mercados.

El avellano europeo, *Corylus avellana* L., es un frutal de nuez producido principalmente en Turquía, país que controla el 75% de la cosecha mundial (año 2004) (SARIGEDIK, 2005). No obstante, la demanda comercial de la avellana a nivel mundial es bastante estable, y se ha transformado en una buena alternativa de producción y exportación. Además, los mercados internacionales están exigiendo frutos de alta calidad, que el país está en condiciones de entregar.

En el mundo, uno de los cultivares más difundidos para fines agroindustriales es Barcelona, introducido en Chile y ampliamente distribuido en las zonas con potencial para su desarrollo, es decir, desde la VIIª a la Xª región. Barcelona requiere de polinizantes para garantizar la polinización en pleno

invierno, dado los antecedentes de incompatibilidad que presenta entre las flores femeninas y masculinas.

En la Xª región de Los Lagos, los polinizantes más utilizados para el cultivar Barcelona son los denominados Azul y Blanco, ya que ambos cubren completamente el período de floración.

Debido a las adversas condiciones climáticas en las que se produce la polinización en el sur de Chile especialmente, y a los antecedentes de que esta especie es autoincompatible, en el presente trabajo se pretende demostrar que en los huertos de la zona, los polinizantes Azul y Blanco son compatibles con el cultivar Barcelona.

El objetivo general fue evaluar cuál de los dos polinizantes (Azul o Blanco), permite una mayor formación de frutos y determinar su incidencia sobre la calidad de estos.

Los objetivos específicos para lograrlo, fueron los siguientes:

- Determinar la compatibilidad polínica a través de polinizaciones manuales.
- Evaluar el polinizante más adecuado en base a la cantidad y calidad de los frutos obtenidos (F_1).
- Evaluar la combinación de los polinizantes en base a la cantidad y calidad de los frutos obtenidos (F_1).
- Evaluar como referente la compatibilidad polínica del cultivar Barcelona como polinizante sobre el mismo cultivar.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes generales del avellano europeo, *Corylus avellana* L.

El origen del avellano europeo, *Corylus avellana* L., se remonta al período terciario, en el hemisferio boreal, llegando a Europa después del período glacial. Muestras de polen fósil encontrado en turberas de Europa, indicarían que desde el 7500 al 5000 A.C., ya estaba ampliamente difundido caracterizando las zonas boscosas junto a otras especies arbóreas como encinos, tilos y abetos (DE BERASATEGUI, 1997).

Pertenece al orden Fagales, familia Betulaceae, subfamilia Coryloidea, género *Corylus*, con alrededor de 15 especies, pero solo dos especies y sus híbridos tienen frutos aptos para una producción comercial (GERMAIN y SARRAQUIGNE, 2004). Éstas son, *C. avellana*, que produce frutos globosos u ovoidales, con un involucre corto o ligeramente alargado que no cubre completamente el fruto, y *C. maxima*, que se caracteriza por tener frutos grandes, redondos o alargados con un involucre más largo que el fruto. De hecho, muchas de las principales variedades italianas como Tonda de Giffoni, Campónica y Riccia di Talánica, entre otras, son híbridos naturales entre estas dos especies (DE BERASATEGUI, 1997).

Esta especie, conocida también como “Hazelnut”, “Hazelnuss” o “Filbert”, probablemente presente en Chile desde la llegada de los españoles, solo desde la década del 90 se comienza a cultivar comercialmente a pequeña escala (VALENZUELA *et al.*, 2003).

Un error común es asociar esta especie al avellano chileno, *Gevuina avellana*, denominado así por los europeos inmigrantes que al conocer el fruto (denominado por los mapuches “gevuín”), encontraron cierta similitud con ésta en cuanto a tamaño y tipo de fruto. Sin embargo, no existe ninguna relación botánica entre ambas especies (GRAU, 2001).

C. avellana es una especie de gran diversidad genética, ya que la observación de pocos cultivares revela una enorme variabilidad en cuanto a tamaño del árbol, hábitos de crecimiento, tamaño, largo y forma de la nuez, entre otras características morfológicas. Estas características y las regiones geográficas donde cultivares y ecotipos con rasgos similares se encuentran juntos, han sido usadas por numerosos taxonomistas para clasificar los avellanos europeos en supuestas especies distintas. Sin embargo, la carencia de barreras que impidan la hibridación entre estas “especies”, unido a la continua distribución de características morfológicas que aparecen en la progenie, estaría indicando que estas clasificaciones son de dudosa validez (Mehlenbacher, 2000, citado por VALENZUELA, 2000).

LOBOS (1983), coincide en que la gran variabilidad y riqueza genética del material autóctono de las principales áreas de cultivo europeo, su inventario y distinción todavía no está terminada.

2.1.1 Distribución geográfica. Se cultiva principalmente en el sur de Europa, alrededor del Mediterráneo, en Italia y España, en Asia alrededor del Mar Negro, en Turquía, y en el noroeste de Estados Unidos, en la parte occidental de los estados de Oregon y Washington (GERMAIN y SARRAQUIGNE, 2004).

En Turquía, gran parte de la población se dedica a la cosecha y empaque de las avellanas para su posterior procesamiento, convirtiéndose en el país donde esta actividad es la de mayor importancia (ALINIAZEE, 1998).

El avellano es la única especie de frutos secos que se desarrolla y fructifica bien en climas moderados o fríos. Otros, como los castaños, los almendros y los nogales son resistentes, pero no dan frutos si no se cultivan en situaciones climáticas favorables (e incluso en estos casos, no son regulares). Los pecaneros y los pistachos requieren de climas cálidos con veranos calurosos, mientras que el nogal australiano, el castaño de Brasil y el anacardo necesitan climas tropicales (BRICKEL y JOICE, 1996). ARMENGOLLI (2006) agrega que, si bien es cierto que el avellano es el menos exigente de los frutos secos, no significa que no requiera de cuidados y de un adecuado manejo.

2.1.2 Características botánicas. A continuación se describen las características particulares del arbusto, hojas, flores y frutos del avellano europeo.

2.1.2.1 Arbusto. El avellano europeo es una planta naturalmente arbustiva con ramas de color marrón claro grisáceo, que nacen en forma alternada y ubicadas sobre un plano con respecto al eje principal (DE BERASATEGUI, 1997).

WESTWOOD (1982) lo describe como un arbusto de hoja caduca, rara vez árboles. Alcanzan una altura de hasta cinco metros, en Europa, pudiendo excepcionalmente alcanzar 15 metros, en Oregon, Estados Unidos.

La copa es extendida e irregular y produce una gran cantidad de renuevos o sierpes, variando su número según el cultivar. Su crecimiento es simpodial y el vigor de los brotes originados por yemas axilares disminuye del extremo distal a la base del brote del año anterior. Esto significa que el brote de un año presenta una acrotonía, lo cual corresponde a la forma arbórea. Sin embargo, a fines de verano, el árbol presenta una basitonía, porque se produce el crecimiento de renuevos o sierpes, lo cual corresponde a la forma arbustiva. Es por eso que se considera que el avellano europeo presenta una

yuxtaposición de acrotonía a nivel del brote y basitonía a nivel del árbol (TASIAS, 1975).

Las raíces se extienden horizontalmente siguiendo la proyección de la copa y presentan nudosidades de las cuales normalmente emiten los sierpes o vástagos (DE BERASATEGUI, 1997). Son superficiales, (40 a 50 cm de profundidad), y requieren de riego en veranos secos (GENC, s.f.).

Desde el punto de vista vegetativo, se cree que el avellano no entra en estado de dormancia, porque se ha observado que en climas benignos exhibe crecimiento vegetativo durante todo el año (LAGERSTEDT, 1978).

2.1.2.2 Hojas. Éstas son de color verde intenso en el haz, redondeadas, rugosas, doblemente aserradas, de base acorazonada y ápice puntiagudo. Aparecen alternadas y presentan un pecíolo muy corto acompañado de estípulas (WESTWOOD, 1982; DE BERASATEGUI, 1997).

2.1.2.3 Flores. La inflorescencia femenina está formada por cuatro a dieciséis flores y cada una posee un estigma bífido unido en su base y un solo ovario bilocular (AZARENKO, 1994). Están reunidas en un glomérulo de aspecto muy parecido a una yema vegetativa, de hecho, es una yema mixta formada por una parte vegetativa basal, con seis a siete entrenudos, y una parte superior fértil formada por cuatro brácteas, que poseen en sus axilas dos flores femeninas desprovistas de pétalos. Están ubicadas hacia la zona apical de las ramillas o brotes laterales del año en ramas de un año y se pueden reconocer únicamente en plena floración, durante el invierno, cuando aparecen en el extremo de las yemas florales los estigmas de color rojo intenso (LOBOS, 1983 y DE BERASATEGUI, 1997).

La inflorescencia masculina es un amento estaminado, cilíndrico y colgante de cuatro a siete centímetros de largo, formado por 130 a 260 flores apétalas (sin perianto). La yema que da origen a la inflorescencia es simple, lateral, y aparece en las axilas de las hojas en pleno verano, pero madura recién durante el otoño e invierno siguientes. Cada amento, con escamas trilobuladas de color verde claro, en cuya cara interna se insertan 4 a 8 estambres, produce cerca de un millón de granos de polen que son llevados por el viento hacia las plantas circundantes (DE BERASATEGUI, 1997).

THOMPSON (1979b), señala que el avellano presenta una biología floral inusual, ya que todas las especies estudiadas hasta ahora son diclinomonoicas y presentan incompatibilidad esporofítica. Es, por lo tanto, una especie autoincompatible que requiere de polinización cruzada para que se efectúe la fecundación.

Presenta además dicogamia, es decir, que existe un desfase en las épocas de floración entre la liberación del polen y la receptividad del estigma en un mismo cultivar, que puede ser de algunos días o algunas semanas. La causa de este fenómeno, en esta especie es de tipo varietal y principalmente climático, en donde el factor suma de temperaturas es fundamental señala LOBOS (1983).

2.1.2.4 Frutos. Los frutos llamados avellana son nueces, o también denominados aquenios, porque provienen de un ovario monocarpelar. Son monospermos (con una sola semilla) y uniloculares (FONT QUER, 2001). Tienen una testa lisa color canela y un pericarpo leñoso que no se abre a la madurez (es por lo tanto, indehiscente) (GRAU, 2001). Los frutos se agrupan en racimos en un número de uno a doce, pero cada uno está encerrado en una cubierta foliácea o involucre, que varía en longitud de un cuarto hasta dos veces

el largo de la nuez (VALENZUELA, 2000). Éste es irregularmente dentado y a veces, tubular (WESTWOOD, 1982).

Esta clase de frutos no debe confundirse con la llamada vulgarmente nuez, fruto del nogal, otro fruto de nuez, que es una drupa y tiene otro origen botánico.

El período de cosecha de las avellanas se extiende desde fines de febrero hasta fines de marzo o abril, según los cultivares, cuando los frutos comienzan a desprenderse del árbol en forma natural, cayendo sin el involucreo en el caso de *C. avellana* (DE BERASATEGUI, 1997).

2.1.3 Fenología. El avellano europeo es una especie de polinización anemófila, que ocurre en pleno invierno (RYUGO, 1988).

Durante este período de condiciones climáticas desfavorables, se defiende con notables adaptaciones como abundancia de polen, resistencia de los órganos florales al frío, gran superficie receptiva de los estigmas, amplia vía de acceso de los tubos polínicos y un desfase entre la polinización y la fecundación (dicogamia) (TASIAS, 1975).

Las flores estaminadas nacen en los amentos en yemas ubicadas en ramas leñosas de un año, al igual que las flores pistiladas. Estas últimas permanecen receptivas por tres meses (desde mediados de mayo hasta mediados de agosto) y tienen la ventaja de no morir si son dañadas por heladas. Esto, como consecuencia de que el tejido basal emerge nuevamente y funcionalmente (Thompson, 1996, citado por HUMMER, 2006).

La liberación de polen comienza a fines de mayo hasta fines de junio y termina a inicios de julio hasta inicios de agosto (dependiendo del lugar

geográfico), cuando empiezan a brotar las hojas de los árboles (GRAU, 2003). Curiosamente, durante la época de polinización, los óvulos todavía no están formados, y solo se forman entre fines de septiembre y fines de octubre, mientras que los sacos embrionales están dispuestos entre mediados de noviembre y mediados de diciembre. El tubo polínico formado en invierno, que alcanza la base del estilo cuatro a siete días después de caer en la inflorescencia femenina, queda en estado latente protegido en la yema (THOMPSON, 1979a). Su crecimiento se reactiva recién entre los meses de octubre y noviembre, cuando los óvulos dentro del ovario ya están formados, y puede ocurrir la fecundación (GRAU, 2003 y PARRA, 2003). Después de estos cuatro a cinco meses ocurrida la polinización, el gameto masculino se divide en dos células espermáticas, para que una de ellas fecunde el óvulo y se forme el embrión que se transformará en la semilla, mientras que la otra, fecunde el núcleo polar y se forme el endosperma que nutrirá el embrión (SILVA *et al.*, 1996). En este momento, la nuez ya está en la mitad de su tamaño final (Thompson, 1996, citado por HUMMER, 2006).

Luego del período de polinización, los estilos dejan de crecer, se doblan y necrosan (THOMPSON, 1979a y ANDERSEN y MEDAN, 1995). Esto no significa que queden imposibilitados, porque en las polinizaciones realizadas en flores con severos daños visibles en su superficie, éstas han resultado exitosas. Zielinski y Thompson (1966), citado por THOMPSON (1979a), comprobaron esto al polinizar manualmente flores en cinco estados distintos de desarrollo, desde temprano en flores con una pequeña punta roja hasta flores viejas con los estilos doblados y necróticos. ROMISONDO *et al.* (1978) también concluyeron que el período de receptividad es bastante prolongado y que el estado preciso de floración de la inflorescencia femenina no tiene mayor importancia. En definitiva, esto implica que el color de los estilos solo se puede considerar como un criterio limitado de la receptividad de la flor (THOMPSON, 1979a).

La nuez alcanza su tamaño máximo a inicios de enero, mientras que la semilla (embrión) continúa su crecimiento hasta inicios de febrero, cuando la nuez ya está con el pericarpio endurecido. Finalmente cae sin el involucre, cuando está completamente maduro (AZARENKO, 1994). Mientras tanto, y en forma paralela, se inicia el desarrollo de las yemas axilares florales masculinas primero y femeninas después, para emerger en la temporada siguiente. Las flores femeninas recién formadas entran inmediatamente en receso hasta principios de abril, mes en el que también comienza la caída de las hojas ¹.

La cosecha de los frutos se concentra durante el mes de marzo, cuando éstos se tornan de un color café. Una vez terminada, comienza nuevamente la aparición de las flores masculinas desde el mes de mayo y de las flores femeninas desde el mes de junio, ambas hasta fines de agosto aproximadamente. El crecimiento de los amentos (flor masculina), sin embargo, ya se inicia después de que se han caído las hojas y su elongación ocurre hasta fines de julio, en plena época de polinización¹.

La época de poda para el avellano europeo es en invierno, cuando los árboles florecen y los amentos empiezan a producir polen. En un principio, para formar un monoeje, se debe dejar un tronco de 45 cm aproximadamente y solo 3 a 4 laterales fuertes, cortándolos a 22 cm de su base. Después se deja que crezcan 10 a 12 vástagos a partir de las ramas principales (BRICKEL y JOYCE, 1996).

Lo más importante, es que al árbol le debe entrar bien el sol, en todas sus ramas, ya que estas producen dos a tres veces más inflorescencias (futuros frutos) que las que están a la sombra (GRAU, 2003).

¹ PARRA, C. (2005). Ing. Agrónomo PROFO Innovación, Osorno. Comunicación personal.

2.1.4 Requerimientos del cultivo. El avellano europeo es un frutal de nuez conocido por su rusticidad. Se adapta a diversas condiciones edafoclimáticas, siendo más exigente en las condiciones de clima que en las de suelo (GRAU, 2001).

2.1.4.1 Requerimientos climáticos. Es una especie bastante resistente, pero sólo produce cosechas satisfactorias en condiciones moderadas de clima, con veranos frescos e inviernos benignos, sin grandes oscilaciones de temperatura (BALDWIN, 1998 y LEMUS, 2004).

Las temperaturas medias anuales deben oscilar entre 12 y 16 °C, y dependiendo del cultivar, requiere entre 700 a 1200 horas de frío bajo 7 °C desde la caída de las hojas, para que se produzca la floración (LOBOS, 1983 y GRAU, 2001). Los amentos son las estructuras que requieren menos horas de frío, entre 100 a 860 h, le siguen las inflorescencias femeninas, con 290 a 1550 h y finalmente las yemas vegetativas, que requieren entre 365 a 1690 h, de acuerdo a un estudio realizado en Oregon, Estados Unidos, por MEHLENBACHER (1991), con 45 genotipos distintos de *C. avellana* y 13 genotipos de otras especies de *Corylus* e híbridos interespecíficos.

Si bien, el avellano europeo tiene la característica de poseer órganos florales que resisten bajas temperaturas sin manifestar problemas (TASIAS, 1975), se considera que esta resistencia al frío está asociada al cultivar y a cada estado vegetativo en particular (HUMMER *et al.*, 1986; DE BERASATEGUI, 1997).

En general, las flores femeninas se caracterizan por soportar temperaturas de hasta -12 °C (bajo ésta, se congelan) y por tener requerimientos de frío más elevadas que los amentos, que solo toleran temperaturas mínimas de -9 °C (LEMUS, 2004).

Un período de frío demasiado intenso durante la floración masculina puede detener el alargamiento de los amentos y la emisión de polen, y como consecuencia, se pueden generar dicogamias más marcadas en los cultivares de una zona más fría que en una más templada (LOBOS, 1983). Esto implica que la liberación de polen se puede adelantar tanto que no coincida con la aparición de los estigmas y que simplemente no ocurra la fecundación y no exista producción de avellanas.

Para que ocurra una buena polinización, las condiciones pluviométricas, la humedad relativa del aire y el viento son fundamentales (GERMAIN y SARRAQUIGNE, 2004).

Los factores climáticos adversos para el cultivo son temperaturas inferiores a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nivel de órganos florales, lluvias prolongadas en la época de polinización, y vientos fuertes en noviembre – diciembre, que provocan la caída de brotes y pequeños frutos (LOBOS, 1983).

GRAU (2003), agrega que el viento, cuando es excesivo y permanente en invierno, perturba la fecundación y en verano, sobre todo si es cálido, provoca una exagerada transpiración en las hojas (canopia), debido a que el avellano no presenta un mecanismo adecuado o eficiente bajo condiciones de estrés. Una humedad relativa óptima está entre 70 y 80% durante todo el período vegetativo (septiembre - abril), condición que depende del cultivar, pero que en general, mantiene al árbol en un estado adecuado.

Es importante considerar que durante la estación estival, las temperaturas superiores a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una baja humedad ambiental, asociados a excesos de viento, son factores que deben evitarse con cortinas cortaviento o bien, prefiriendo sectores más protegidos para realizar la plantación (GRAU, 2001). KIM *et al.* (1985) encontraron que la germinación del polen disminuye

considerablemente cuando la temperatura aumenta de 15 a 30 °C, en especial en los cultivares Barcelona y Butler.

En conocimiento de los antecedentes de temperaturas mínimas tolerables, en un estudio realizado por KRPINA *et al.* (1994), en Orahovica (Croacia), con tres cultivares diferentes, contrario a lo que se esperaba con temperaturas entre -9 y -19,5°C, la producción de frutos aumentó, comprobándose que el avellano realmente es una especie de gran rusticidad y que su resistencia es mayor si los árboles se encuentran en buenas condiciones sanitarias.

2.1.4.2 Requerimientos edáficos. Prefiere suelos ligeramente ácidos a neutros (pH 6,8 a 7,2), aunque en Europa también crece en suelos más ácidos o más alcalinos desde pH 5,5 hasta pH 7,8. No requiere de suelos muy profundos, ya que su sistema radical es superficial, sin sobrepasar los 40 cm a los 10 años de edad, pero sí con un buen drenaje, dado que no tolera asfixias radiculares (GRAU, 2001).

Se adapta a suelos de distintas naturalezas, salvo los excesivamente arenosos o arcillosos. En el segundo caso, puede verse afectado por las aguas estancadas, adquiriendo las plantas un desarrollo limitado (TASIAS, 1975).

Idealmente prefiere suelos fértiles, de origen volcánico o aluvial, con textura ligera y permeable, ya que si el suelo es excesivamente calcáreo y de naturaleza seca puede resentirse por la falta de humedad (LOBOS, 1983). Es muy frecuente que a la más ligera sequía, se produzca la caída prematura del fruto, y disminuya la cosecha (DE BERASATEGUI, 1997).

BARÓN *et al.* (1997), resumen que las características ideales de suelo para esta especie son: textura franca, permeable, con una profundidad mínima de 80 cm y un pH entre 6 y 7,5.

Previo a la plantación y antes de que comience la producción, es necesario aplicar fertilizantes minerales y orgánicos de acuerdo a un análisis de suelo. Se debe poner especial atención a las aplicaciones de N y K para obtener adecuados crecimientos vegetativos y altos rendimientos con frutos de buena calidad. Aplicaciones excesivas de nitrógeno aumentan el grosor de la cáscara en desmedro del tamaño de la avellana, y solo las aplicaciones correctas de potasio disminuyen la proporción de frutos vanos (GENC, s.f.).

La demanda nutricional del avellano europeo para una producción media de 1,2 ton/ha, de acuerdo a un estudio realizado en Turquía por GENC (s.f.), es de 19 Kg N/ha, 9 Kg P₂O₅/ha, 12 Kg K₂O/ha y 16 Kg CaO/ha. Esto, solo se debe considerar como una referencia, ya que la fertilización es un factor muy relevante en el manejo del huerto, influenciando la producción, la calidad de la fruta y el vigor del árbol, y por lo tanto, siempre es necesario un adecuado diagnóstico con un análisis de suelo, análisis foliar y un íntegro análisis visual de los árboles del huerto.

2.1.5 Valor nutricional del fruto. En una investigación realizada en Turquía por ALASALVAR *et al.* (2003a), se demostró que en las avellanas predominan los lípidos con un 61% aproximadamente, de los cuales el 98,8% corresponden a ácidos grasos no saturados y solo el 1,2% a ácidos grasos saturados. Similares resultados se obtuvieron en Nueva Zelanda, donde se encontraron contenidos totales de lípidos entre 54,6 y 63,2% y rangos entre 9,8 y 13,2% de fibra dietética en las semillas de seis cultivares distintos (SAVAGE y McNEIL, 1998).

Son una excelente fuente de vitamina E (α tocoferol) (24mg/100g) y una buena fuente del complejo B, otras vitaminas, fibra dietética y de aminoácidos como ácido glutámico, arginina y ácido aspártico como los tres de mayor presencia (ALASALVAR *et al.*, 2003a). Contienen un 15% de proteínas, un 7% de azúcar, representado esencialmente por la sucrosa, y son ricas en minerales como potasio, fósforo, calcio y magnesio (GERMAIN y SARRAQUIGNE, 2004).

En el Cuadro 1 se puede observar que los resultados nutricionales que se han obtenido en Chile concuerdan con los citados anteriormente.

CUADRO 1. Composición y valor calórico de la avellana en 100 g de peso seco.

Componente	Rango
Agua	5 – 6 %
Lípidos	55 – 72 %
Proteínas	10 – 22 %
Carbohidratos	3 – 11 %
Fibra	5 – 7 %
Minerales	2 – 3 %
Calorías	600 kcal

Fuente: GRAU (2003).

2.1.6 Usos. La producción de avellanas se destina al consumo de mesa (con cáscara), que adquiere mayor o menor importancia según los países y a la industria (sin cáscara), que absorbe la mayor parte de la producción mundial.

Estados Unidos, regula las normas para las avellanas de consumo de mesa con cáscara, y Turquía, regula las normas para la industria, y además establece otras normas para el consumo de mesa. Ambos países designan los calibres (en milímetros) y las características de los respectivos frutos o semillas.

Las avellanas destinadas a consumo directo deben ser de tamaño grande, redondeadas o levemente alargadas, con la cáscara clara, de fácil rotura, de forma regular, lisa, sin restos de fibra y de buen sabor, con un rendimiento cáscara/semilla no inferior al 40% (DE BERASATEGUI, 1997 y GERMAIN y SARRAQUIGNE, 2004). Estas avellanas de mesa son producidas principalmente por Turquía y Estados Unidos (SAEZ, 2002).

Los tamaños establecidos para el consumo de mesa (con cáscara) por Oregon, Estados Unidos, son rangos de 20 – 24 mm, 16 a 19 mm y de menos de 16 mm y los establecidos por Turquía son tamaños similares de diámetros mayores de 18 mm, entre 16 y 18 mm, entre 13 y 16 mm, y menores de 13 mm. Las avellanas para la industria están clasificadas en tres categorías: Standard 1 (13 a 16 mm), Standard 2 (11 a 13 mm) y Standard 3 (9 a 11 mm), y otras que incluyen a los tamaños extremos de más de 16 mm o menos de 9 mm (DE BERASATEGUI, 1997).

La industria, el mayor consumidor de fruta pelada, le da distintos usos según la variedad, el tamaño y la calidad, correspondiendo sobre el 70% del consumo mundial a la industria de chocolates y, en general, a la repostería (GRAU, 2001). Específicamente, la semilla entera se emplea como núcleo de confites y, tostada o salada, para aperitivos; los trozos grandes o pequeños en pastelería y las avellanas machacadas para pasta de chocolate, cremas y helados (DE BERASATEGUI, 1997). SAEZ (2002) agrega que Italia y España son los países con una mayor oferta de avellanas para la producción de chocolates.

Se ha estudiado el efecto del tostado en los lípidos de las avellanas, encontrándose solo pequeñas e insignificantes variaciones en la composición de éstos, a 125 y 200° C por 5, 10 ó 30 min (AMARAL *et al.*, 2006). Esto podría

permitir su uso a pequeñas escalas de producción y bajo diferentes condiciones de elaboración, sin la adulteración de la calidad inicial.

Existen también otras aplicaciones menos difundidas, como el uso de las cáscaras como combustibles; las hojas secas o frescas como alimento de ganado; la corteza, en medicina, ya que presenta taninos astringentes que detienen hemorragias y elevan la presión sanguínea; y los amentos, como sudorífico, en forma de infusión o cocidos (DE BERASATEGUI, 1997 y GRAU, 2003). La extracción de aceites de la semilla, utilizados en cosmética y jabones, aunque no en forma masiva, porque el tipo de ácidos no saturados que contiene (ALASALVAR *et al.*, 2003b), se enrancia rápidamente y además no existen estudios suficientes que avalen su calidad e inocuidad para la piel (MADHAVEN, 2001). Finalmente, las raíces del avellano europeo, que micorrizan con el hongo *Tuber melanosporum* Vitt., pueden ser inoculadas artificialmente con éste y transformarse en una alternativa comercial con la venta de las exclusivas y muy cotizadas trufas negras (INDUSTRIA DE ALIMENTOS, 2002).

2.1.7 Producción y comercialización. Las perspectivas de futuro de las avellanas están muy condicionadas a las producciones y estrategias comerciales de Turquía, que controla alrededor del 75% de la producción mundial (SARIGEDIK, 2005). En este país al igual que en los europeos, gran parte de los productores almacenan las avellanas durante el año en sus predios y a medida que las industrias las requieran, las comercializan (BALDWIN, 1998).

De acuerdo al Servicio Estadístico Agrícola de Estados Unidos, en la temporada 2004-2005 Turquía tuvo una producción de 425.000 t, Italia le siguió con 135.000 t, Estados Unidos con 48.500 t y España, el cuarto país productor, con 9.000 t. Durante la misma temporada, el precio de las avellanas con

cáscara fue de US\$8/Kg y sin cáscara de US\$10/Kg en enero de 2005, precios bastante elevados si se compara con el precio con cáscara de US\$2,75/Kg del año 2001. Estas fluctuaciones se deben principalmente al stock y correspondiente producción de los principales países productores, en especial de Turquía, donde la Cooperativa Estatal de comercialización “Fiskobirlik”, interviene para regular el Mercado mundial de la avellana (CONTARDO, 1996).

A nivel nacional, las exportaciones han ido evolucionando, pero no han sido constantes a lo largo de los años. En el año 1991 se registraron las primeras exportaciones de avellanas con cáscara de 1 t (US\$2.182 FOB), alcanzando en el año 2005 un volumen de 263,9 t (US\$721.854), mientras que las primeras importaciones de estas avellanas se registraron en 1996 con un volumen de solamente 464 Kg (US\$3.296 CIF) y en el año 2002 las últimas hasta la fecha, de 295 Kg (US\$1.406CIF). Las exportaciones de avellanas procesadas (sin cáscara) han sido mayores y constantes a partir del año 1997. En el año 2002 se registró el mayor volumen exportado hasta la fecha de 13 t (US\$43.594 FOB). Las importaciones de estas avellanas en el año 1992 alcanzaron un máximo de 32 t (US\$152.443 CIF) hasta la fecha (ODEPA y SERVICIO NACIONAL DE ADUANAS, 2006).

El destino de las exportaciones chilenas de avellanas con cáscara durante el año 2004 fue Italia con un retorno de US\$325.654 FOB, y de las avellanas sin cáscara durante el mismo, fueron Argentina (US\$43.695 FOB), Brasil (US\$8.050 FOB), Venezuela (US\$4.500 FOB) y Paraguay (US\$1.634 FOB) (PROCHILE, 2005).

En relación a los aranceles para los frutos de nuez provenientes de Chile, el Tratado de Libre Comercio con la Unión Europea, establece que el arancel es 0% a partir de la entrada en vigencia del tratado, es decir, a partir del 1 de febrero del año 2003. Antes, el arancel era de un 3,2% para las avellanas

con o sin cáscara y de un 5,6% para las castañas y almendras con cáscara (IBACACHE y ROJAS, 2002).

ARMENGOLLI (2006) señala que nuestro país presenta ventajas comparativas para el cultivo del avellano europeo, derivadas fundamentalmente de la ausencia de la enfermedad causada por el hongo *Anisogramma anomala* (Peck) E. Müller, comúnmente conocido como Eastern Filbert Blight, que ha afectado significativamente esta planta en los cultivares de Oregon, en Estados Unidos. Por consiguiente, los rendimientos por hectárea pueden ser mucho mayores, transformándose en una excelente alternativa comercial.

2.2 Antecedentes de sistemas de propagación.

Existen numerosos métodos de propagación para el avellano, tanto asexuales como sexuales (CHILE, CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN, 1983). En forma natural, el avellano europeo se reproduce en forma vegetativa por sierpes o hijuelos que se desarrollan de las yemas adventicias ubicadas en la base del tronco o raíces (LOBOS, 1986).

2.2.1 Sistemas asexuales. Los sistemas de propagación comerciales por sierpes o rebrotes enraizados obtenidos del árbol y plantados directamente utilizados en Turquía, España y gran parte de Italia, son sistemas lentos puesto que de cada planta es posible extraer no más de cinco a seis sierpes. Por otro lado, es difícil obtener un buen desarrollo radicular de ellos y no se tiene la certeza de la autenticidad varietal debido a que el rebrote puede proceder de un pie distinto al de la variedad deseada (LOBOS, 1986).

Actualmente, existen otros sistemas tales como la utilización de portainjertos, injertos de púa, acodos simples y enraizamientos de estacas.

La injertación se utiliza preferentemente para la propagación sobre portainjertos que controlen la emisión de brotes desde la corona de la planta, pero no es una técnica usual comercialmente, porque existen pocos portainjertos específicos (Thompson, 1984 citado por MEDEL, 1989).

Los métodos de acodado en montículo (o banquillo) y acodado simple (o por mugrones) son los más comunes entre los viveristas, a pesar de que el establecimiento de las cepas madres es lento e impide iniciar la producción en forma rápida y masiva, un problema frente a una alta demanda en el corto plazo (MEDEL, 1989).

La otra alternativa de propagación es el uso de estacas herbáceas, ya que permite prolongar el período de producción de plantas en primavera. El problema que presenta esta metodología es la variabilidad de los resultados en cuanto al porcentaje de enraizamiento y obtención de plantas vigorosas, pero según un ensayo realizado por MEDEL (1989), el cultivar Barcelona ha dado buenos resultados durante el proceso de enraizamiento.

2.2.2 Sistemas sexuales. Por semilla se ha propagado una gran cantidad de plantas, pero la variabilidad del material a plantar no lo hace aconsejable (CHILE, CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN, 1983). MEDEL (1989), agrega que estos métodos de propagación solo tienen interés desde el punto de vista de mejoramiento genético y en la obtención de patrones.

La dificultad de los sistemas de propagación sexuales se debe a que las semillas de las avellanas tienen una cáscara dura, una dormancia interna y una germinación irregular que aumenta con el tiempo de almacenaje (Williams *et al.*, 1973, citado por HUMMER, 2006). La prolongada latencia, que incluso puede durar años, es producto de la inhibición mecánica del pericarpio a la

germinación. Esto puede superarse mediante una estratificación en un medio húmedo-frío (remojándolas por dos a cuatro días en agua y después dejándolas en vermiculita húmeda a 4°C por tres a cinco meses) o con inmersiones en una solución de 25 a 100 ppm de ácido giberélico durante 16 a 24 horas. Este último método es preferible, porque las semillas que no germinan pueden ser tratadas nuevamente con un segundo tratamiento de ácido giberélico. Las que germinaron en un principio, se pueden sembrar directamente en un invernadero o bien, dejarlas sobre papel filtro húmedo en envases pequeños regando frecuentemente (LOBOS, 1986 y Thompson, 1996, citado por HUMMER, 2006).

2.3 Polinización y biología floral de *Corylus avellana*.

La polinización es la transferencia del polen desde las anteras de los estambres (órganos masculinos) hasta el estigma del pistilo (órgano femenino) de la flor (RAZETO, 1999). Una vez que el grano de polen cae sobre el estigma compatible, es hidratado en la superficie estigmática y comienza a germinar formando el tubo polínico. Este penetra a través del estilo el interior del ovario y fecunda un óvulo, originando la semilla del fruto (GIL, 2000).

Este proceso es bastante peculiar en el avellano europeo respecto a otras especies, ya que la polinización ocurre durante el invierno, con bajas temperaturas y lluvias (LAGERSTEDT, 1978). Por otra parte, los pistilos de las flores femeninas son receptivos desde que emergen y su viabilidad permanece por tres meses si no son polinizadas. Este período de receptividad es también más largo que el de la emisión de polen, debido a que su floración es escalonada y las flores laterales son más tardías que las centrales (HAMPSON *et al.*, 1993).

La fecundación del óvulo en esta especie es distinta al resto de las angiospermas, ya que al momento de la polinización, el ovario aun no ha terminado de desarrollarse, encontrándose tejidos ováricos no diferenciados,

aun cuatro a cinco meses después (Jona, 1996, citado por VALENZUELA *et al.*, 2003).

En *C. avellana*, por lo tanto, una vez ocurrida la polinización, el tubo polínico crece hasta la base del estilo y entra en un estado de receso por cuatro a cinco meses, luego del cual el tubo polínico retoma su crecimiento y los óvulos son fecundados (LAGERSTEDT, 1978).

El posterior desarrollo del fruto comienza con la nucela, antes de que se haya llevado a cabo la fecundación. No obstante, aunque es posible apreciar una nuez en desarrollo de color verde blanquecino, si por alguna razón existe algún impedimento u obstrucción que limite la fecundación, o si ésta ocurrió, pero el embrión formado aborta, la nuez queda vana, siendo un factor varietal negativo (Barbeau, 1973, Lagerstedt, 1985 y Romisondo, 1977, citado por SILVA *et al.*, 1996 y Jona, 1996, citado por VALENZUELA *et al.*, 2003).

LAGERSTEDT (1977) y THOMPSON (1979a) concuerdan con lo anterior y señalan que, como la polinización es necesaria para iniciar el desarrollo del ovario, las avellanas que completan su tamaño, pero están vanas al madurar, son el resultado de la polinización sin una fecundación o del aborto del embrión. En estos casos, el nulo crecimiento del pequeño embrión es reemplazado por una falta de estímulo del ovario, porque la cáscara del fruto ya ha alcanzado prácticamente su tamaño final antes del crecimiento del embrión.

2.3.1 Tipos de polinización. Existen dos diferentes métodos de reproducción sexual para que ocurra la fecundación de una flor: la autopolinización y la polinización cruzada, y una de reproducción asexual: la apomixis o agamospermia.

La autopolinización ocurre cuando el polen cae desde la antera dentro del estigma de la misma flor sin la intervención de un agente externo (HARTMANN y KESTER, 1995). En general, se presenta en especies compatibles que no presenten barreras que inhiban la germinación del grano de polen o el crecimiento del tubo polínico (PAREDES, 1995).

Existen algunas plantas que tienen mecanismos que impiden la autofecundación, como lo son la dioecía, monoecía, dicogamia, autoesterilidad y la autoincompatibilidad. Este último, consiste en la incapacidad del polen para crecer en el pistilo de la misma flor o flores de la misma planta, aunque el polen mismo es viable (HARTMANN y KESTER, 1995).

La polinización cruzada se define como la transferencia de polen desde la antera al estigma de la flor de una planta diferente, pero de la misma especie (Free y Williams, 1977, citado por VERA, 2002). Se puede llevar a cabo por agentes como el viento (anemofilia) o insectos (entomofilia) principalmente (HARTMANN y KESTER, 1995). Otros agentes externos que promueven la polinización cruzada en las especies vegetales son animales (zoofilia) y agua (hidrofilia) (KEVAN y BAKER, 1983).

La anemofilia es indudablemente la forma primaria de polinización de los espermatófitos primitivos. El problema de la falta de dirección en el transporte hasta los primordios seminales es superado con la producción de grandes cantidades de polen de bajo peso, a la formación de gotas receptoras del polen en el micropilo de los primordios seminales y a la posición en el extremo de las ramas de las flores femeninas y masculinas (STRASSBURGER *et al.*, 1994).

HARTMANN y KESTER (1995), señalan que la polinización por el viento es la regla cuando las flores no son llamativas. En este caso, el polen es liviano

y seco, mientras que la polinización por insectos es la regla en flores vistosas y de colores brillantes atractivos, con polen pesado y pegajoso.

FRANKEL y GALUN (1977), agregan que la separación temporal de la floración de los sexos es fundamental en las especies que presentan polinización anemófila, y en efecto, es lo que ocurre con el avellano europeo.

La apomixis o agamosperimia ocurre cuando el embrión que forma la semilla no se produce como resultado de la meiosis y posterior fecundación, sino que a partir de una célula que rodea el saco embrionario o de la célula madre del saco embrionario (nucela) que cumple la función de gameto masculino y fecunda a la ovocélula formándose un cigoto de la misma constitución genética del progenitor femenino (HARTMANN y KESTER, 1995).

2.3.2 Factores que afectan la polinización. WESTWOOD (1982), señala que entre los factores de mayor importancia e incidencia se encuentran la incompatibilidad genética, la no viabilidad del polen, la ubicación de los polinizantes y las condiciones climatológicas que afectan además a los insectos polinizadores.

La incompatibilidad genética se manifiesta con la no fecundación provocada por un lento o escaso crecimiento del tubo polínico. Este es un mecanismo genético de la naturaleza para asegurar el crecimiento entre plantas diferentes, pero en los huertos frutícolas donde solamente se plantan una o dos variedades, se considera una desventaja y un importante problema.

La no viabilidad del polen está relacionada a las condiciones de campo como temperaturas moderadas, alta intensidad lumínica y alta humedad, factores que le confieren al polen una baja longevidad y viabilidad (solo algunas horas) (WESTWOOD, 1982). Esto es lo que ocurre en la mayoría de las

especies, pero en el avellano, debido a su inusual biología floral, AZARENKO (1994), señala que requiere de humedad relativa alta para que el polen sea viable.

La importancia de la ubicación de los polinizantes se detallará más adelante, y las condiciones climáticas que afectan a los insectos polinizadores, no se analizarán en profundidad, ya que el avellano tiene polinización anemófila, y el viento es el necesario para sacudir las flores, liberar el polen y finalmente trasladarlo.

2.3.3 Polinizantes. Los polinizantes son las plantas que proveen el polen para la polinización cruzada, necesaria para la producción de frutas (GIL, 2000). Según MEHLENBACHER y MILLER (1988), los factores que deben considerarse en la elección de un polinizante son, en primer lugar, la cantidad de polen de calidad (viable, vigoroso y de larga vida) y, en segundo lugar, la compatibilidad con el pistilo del cultivar a polinizar junto al traslape entre la liberación del polen y la receptividad del estigma. AZARENKO *et al.* (s.f) concuerdan con que las características florales son los factores de mayor importancia y agregan que el destino de los frutos de los polinizantes debiera ser el mismo que el cultivar para facilitar la cosecha.

LOBOS (1983), señala que la dicogamia del avellano, unida a la autoesterilidad, hace necesaria la utilización de variedades polinizantes que permitan la polinización cruzada oportunamente para así lograr producciones comerciales exitosas.

Por otro lado, dado que la mayoría de los cultivares de avellano presentan una autoincompatibilidad esporofítica, en las plantaciones comerciales se recomienda tener dos polinizantes distintos que cubran todo el período de floración y que aseguren una cantidad suficiente de polen

compatible y viable (AZARENKO, 1994 y OLSEN *et al.*, 2000). Es importante además, tener en consideración que los climas templados durante la floración alteran la dicogamia, acelerando más la liberación de polen que la emisión de los estilos (HAMPSON *et al.*, 1993).

2.3.4 Disposición de los polinizantes. La disposición de los polinizantes es indispensable para lograr buenas producciones debido a las características de floración del avellano. El porcentaje de polinizantes, generalmente, varía entre un 15% y un 20% por hectárea (DE BERASATEGUI, 1997; OLSEN *et al.*, 2000).

La información de la distancia de plantación entre los polinizantes y el cultivar está basada en otros frutales, como olivos y pistachos, donde la distancia al árbol a polinizar no supera los 15 a 18 m aproximadamente (AZARENKO *et al.*, s.f.). Para los avellanos se recomienda una distancia no mayor a los 20 m entre el cultivar principal y el polinizante más cercano (OLSEN *et al.*, 2000).

El factor más importante a considerar durante el establecimiento del huerto y la ubicación de los polinizantes, es la dirección del viento dominante en invierno, dado el tipo de polinización que es anemófila. Los polinizantes deben estar cerca del primer lugar que enfrenta el viento para asegurar así una buena llegada del polen a las flores femeninas. Se pueden plantar en filas completas, dado que la calidad de sus frutos no siempre es la óptima, permitiendo su cosecha por separado y facilitando su comercialización (DE BERASATEGUI, 1997). La autora argentina postula que ningún árbol debe estar a más de 25 a 30 m de un polinizador, distancia que es mayor a la establecida en Estados Unidos por OLSEN *et al.* (2000).

2.4 Incompatibilidad genética.

La incompatibilidad es una barrera fisiológica entre la polinización y la fecundación, que ocurre cuando las plantas, teniendo polen funcional y flores femeninas funcionales, son incapaces de fecundarse y desarrollarse cuando se autopolinizan o cruzan con sus parientes (MEHLENBACHER y MILLER, 1988).

FRANKEL y GALUN (1977), agregan que la incompatibilidad es un mecanismo de exclusión para plantas que requieren obligatoriamente de una polinización cruzada, como es el caso de las plantas alógamas. Estas mantienen una variabilidad genética en los individuos de la población, y por consiguiente, contribuyen a que la descendencia heterocigota sea más apta para sobrevivir frente a condiciones adversas (NETTANCOURT, 1977).

Las barreras que impiden la germinación total o parcial del polen pueden expresarse a nivel de estigma, estilo u ovario y son conocidos como sistemas de autoincompatibilidad (NETTANCOURT, 1977). Esta aceptación o rechazo del grano de polen por el pistilo depende de moléculas presentes, por una parte, en la superficie del grano de polen o del tubo polínico, y por otra, en la superficie del estigma o en el estilo (DUMAS *et al.*, 1985). Es así, como se reconocen dos tipos de autoincompatibilidad: gametofítica y esporofítica (ALLARD, 1967).

La autoincompatibilidad es un mecanismo genético que consiste básicamente en el rechazo del polen, por parte del estigma, proveniente del mismo individuo (HESLOP - HARRISON, 1975). Frecuentemente está controlado por un locus simple multialélico, denominado locus S o complejo génico S, que determina la síntesis de una proteína S (HAMPSON *et al.*, 1993). En una población de plantas, puede presentar numerosas variantes o alelos (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , etc.) (DUMAS *et al.*, 1985).

El mismo autor, explica que, como la polinización es regulada por una serie de alelos de un locus "S", la autoincompatibilidad, sea de origen gametofítico o esporofítico, se debe a la presencia de proteínas S idénticas en el polen y en el pistilo, y por lo tanto, desde el punto de vista genético, basta solo con un alelo idéntico en el estigma y el polen para que se produzca el rechazo.

En el caso del avellano europeo, la incompatibilidad es de tipo esporofítica (Germain *et al.*, 1976 y Thompson, 1979, citados por ROVIRA, 1989; Thompson, 1979 y Germain *et al.*, 1981, citados por VALENZUELA, 2000). En este caso, el comportamiento del polen está determinado por el genotipo de los parentales diploides, y por un locus con una serie de alelos (HESLOP - HARRISON, 1975). Actualmente, se ha encontrado que el número de alelos por locus varía entre 2 y 12 (BASSIL *et al.*, 2005), y que existe un total de 25 alelos distintos, con una relación de dominancia o jerarquía en 233 de los 300 posibles pares de alelos tanto en el pistilo como en el polen (MEHLENBACHER, 1997). Estos alelos S son clasificados con un microscopio con luz fluorescente, de acuerdo al crecimiento o no crecimiento del tubo polínico en el estilo 24 horas después de una polinización manual con polen de alelos S conocidos (ME *et al.*, 2000).

Los cultivares diploides presentan dos alelos: en flores femeninas ambos alelos se expresan y por lo tanto, son codominantes, y en las flores masculinas, el polen puede expresar uno o ambos alelos, siendo por lo tanto dominantes o codominantes, respectivamente (OLSEN *et al.*, 2000). HAMPSON *et al.* (1993) describen que en todos los genotipos de avellanos europeos estudiados ocurre esto y especifican que con pruebas realizadas con microscopía electrónica de barrido, se demostró que la incompatibilidad se presenta a nivel de la superficie estigmática, y se caracteriza por el rechazo del polen al entrar en contacto con éste.

En las polinizaciones con polen incompatible, la germinación del grano de polen se atrasa o no ocurre y el tubo polínico se deforma y falla al penetrar en las células del estigma (THOMPSON, 1979b). Además, estos son más pequeños, generalmente curvos o con puntas engrosadas, a diferencia de los tubos polínicos largos que se forman cuando el cruzamiento es compatible (ERDOGAN *et al.*, 2005).

Como resultado de esta incompatibilidad en el avellano, se produce una importante pérdida de producción de nueces debido a la presencia de frutos vanos (LAGERSTEDT, 1977). Este autor señala que, si bien este es un problema universal, que se ha observado en todas las zonas productoras de avellano, con variaciones de año en año, es fundamental para el éxito en la producción, el acabado conocimiento de la compatibilidad entre el cultivar principal y sus polinizantes.

2.5 *Corylus avellana* L. cv. Barcelona.

El cultivar es conocido con ese nombre en Estados Unidos, pero es también conocido como Fertile de Coutard en Francia, donde representó el 15% de la superficie plantada en el año 2003. En España, se conoce como Castanyera y en Portugal, como Grada di Viseu (SAINI, 2004).

En Chile, el Centro Regional de Investigación Carillanca, ubicado en Temuco (IX^a región de La Araucanía), realizó la introducción desde Estados Unidos de *Corylus avellana* L. cv. Barcelona, su cultivar de mayor importancia, y su polinizante Daviana (LOBOS, 1983).

El árbol es vigoroso, de tamaño intermedio y de buena productividad. Posee un fruto esferoidal, de un tamaño con cáscara mediano a grande de un peso de alrededor 3.3 g, subesférico de 21,8 x 22.0 x 18.2 mm, que aparece en un número promedio de 3.3 por involucro. La cáscara es gruesa de color

marrón oscuro con pubescencia en el ápice. La semilla es de un tamaño medio (1.4 g), fácilmente extraíble del perisperma, con un rendimiento cáscara/semilla de 46.2% en la VIII región del Bío Bío (Chile) (GRAU, 2003). Este porcentaje de semillas, puede variar y llegar solo a un 42%, pero aún así es uno de los principales cultivares, con un gran mercado de venta con cáscara, favorecido por su forma y buen sabor para su uso como snack y cocktail (VALENZUELA *et al.*, 2003).

El requerimiento de horas de frío del genotipo Barcelona es de 240 - 290 horas para la flor masculina, 600 - 680 horas para la flor femenina y 990 - 1040 horas para las yemas vegetativas (MEHLENBACHER, 1991).

En este cultivar, casi terminada la floración masculina del cultivar, las flores femeninas se abren completamente (color rojo fucsia) y en este momento, se inicia la apertura escalonada de los amentos de los polinizantes Azules y Blancos, y por lo tanto, ocurre la polinización (PARRA, 2003). Barcelona, al igual que el 90% de los cultivares estudiados, es protándrico (OLSEN *et al.*, 2000). Esto es, la madurez del androceo ocurre antes que la del gineceo (ALLARD, 1967).

El problema de Barcelona es su tendencia a producir frutos vanos que disminuyen enormemente el rendimiento. En estudios realizados por la Universidad de Oregon en Estados Unidos, presenta entre 12 a 16% de frutos vanos (AZARENKO *et al.*, 1997 y AZARENKO *et al.*, 1999). SAINI (2004) también ha encontrado 10 a 12% de frutos vanos cuando las temperaturas son muy bajas en invierno.

En Estados Unidos, el peso y calibre fluctúa entre 3.25 – 3.75 g y 20 – 22 mm respectivamente, cuando el fruto está con cáscara y entre 1.4 – 1.7 g y 15 – 16 mm cuando está sin cáscara (SAINI, 2004).

De acuerdo al calibre, basado en el diámetro ecuatorial de frente o ancho y considerado como un elemento diferenciador entre los distintos cultivares, las avellanas de Barcelona se destinan principalmente al consumo de mesa.

Una excelente cosecha es una producción de 4,5 t/ha (base peso seco), una buena producción se considera cuando se cosechan 2,25 t/ha, y producciones medias, cuando se cosechan 1,15 t/ha (LEMUS, 2004).

3 MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Ubicación y descripción del predio.

El trabajo experimental se realizó en el fundo “Las Golondrinas” ubicado en el Km 20, camino a Trumao, en la comuna de San Pablo, provincia de Osorno, X^a región de Los Lagos, Chile.

El clima de la zona es mediterráneo frío (NOVOA, 1989), también conocido como templado lluvioso con influencia mediterránea. La temperatura máxima promedio, en un período de 65 años es de 23,4 °C, en los meses de enero y febrero. Por otra parte, la temperatura extrema del promedio de temperaturas medias es de 16,3 °C para el mes de enero y 6,8 °C para el mes de julio, y el promedio de temperaturas mínimas es de 7,9 °C para el mes de febrero y de 2,9 °C para el mes de julio, ambos promedios para el mismo período de 65 años.

En el mes de enero se alcanzan las máximas horas de sol (253 h) y en el mes de julio, las mínimas (59 h).

La precipitación media anual de los últimos 10 años fue de 1292 mm (menor al resto de la región por los efectos de la Cordillera Pelada al oeste). Otoño es la estación que registra la media máxima de precipitaciones (504 mm), le siguen los meses de invierno con 433 mm y los meses de primavera con 194 mm y finalmente los meses de verano con 159 mm. La humedad media es superior al 80% y no hay meses con humedad media inferior al 75%.

El suelo del predio pertenece a la Serie Cudico, derivado de cenizas volcánicas antiguas y con un buen drenaje (TOSSO, 1985). Su capacidad de uso potencial es IV (INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES, 1964).

El predio está a alrededor de 99 m.s.n.m. y presenta una topografía de lomajes suaves, con 2 – 5% de pendiente (TOSSO, 1985).

3.2 Descripción del material vegetal.

Se trabajó con árboles de 3 años de edad (de aproximadamente 2 m de altura), plantados en junio del año 2001, del cultivar Barcelona. La distancia entre y sobre las hileras es de 6 x 6 m, equivalente a una densidad de 277 árboles por hectárea.

El marco de plantación utilizado permite un adecuado desarrollo de cada uno de los árboles, ya que Barcelona se considera un cultivar vigoroso. Marcos más estrechos, si bien permiten incrementar los rendimientos los primeros años, debido al mayor número de plantas por superficie, con este cultivar no es conveniente y se está obligado a mantener sistemas de poda mucho más rigurosos.

Las plantas se compraron de un año a raíz desnuda en el Vivero Linares (VII región). Antes de la plantación, las raíces fueron desinfectadas por inmersión con un nematocida y tratadas con un fungicida en el hoyo de plantación. Se utilizó el nematocida sistémico FURADAN 4F, cuyo ingrediente activo es carbofuran, en una dosis de 50 ml/100 L de agua/ha, y el fungicida sistémico residual RIDOMIL 5 GR, cuyo ingrediente activo es metalaxil (ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES E IMPORTADORES DE PLAGUICIDAS AGRÍCOLAS, AFIPA, 2005), aplicado en una dosis de 10 g/planta en la tasa de plantación para evitar futuros problemas fitopatológicos.

Los árboles se plantaron en hileras dispuestas en una posición de 20° norte-sur, con el objetivo de recibir la mayor cantidad posible de polen de los polinizantes distribuidos perpendicularmente al viento predominante en invierno (norte y suroeste o travesía) que es cuando ocurre la polinización.

Los polinizantes Azul y Blanco (ecotipos nacionales), estaban plantados cada 8 hileras de forma alternada, es decir, en una empezando con Azul, continuando con Blanco y así sucesivamente, y en otra, al revés, comenzando con Blanco (Figura 1).

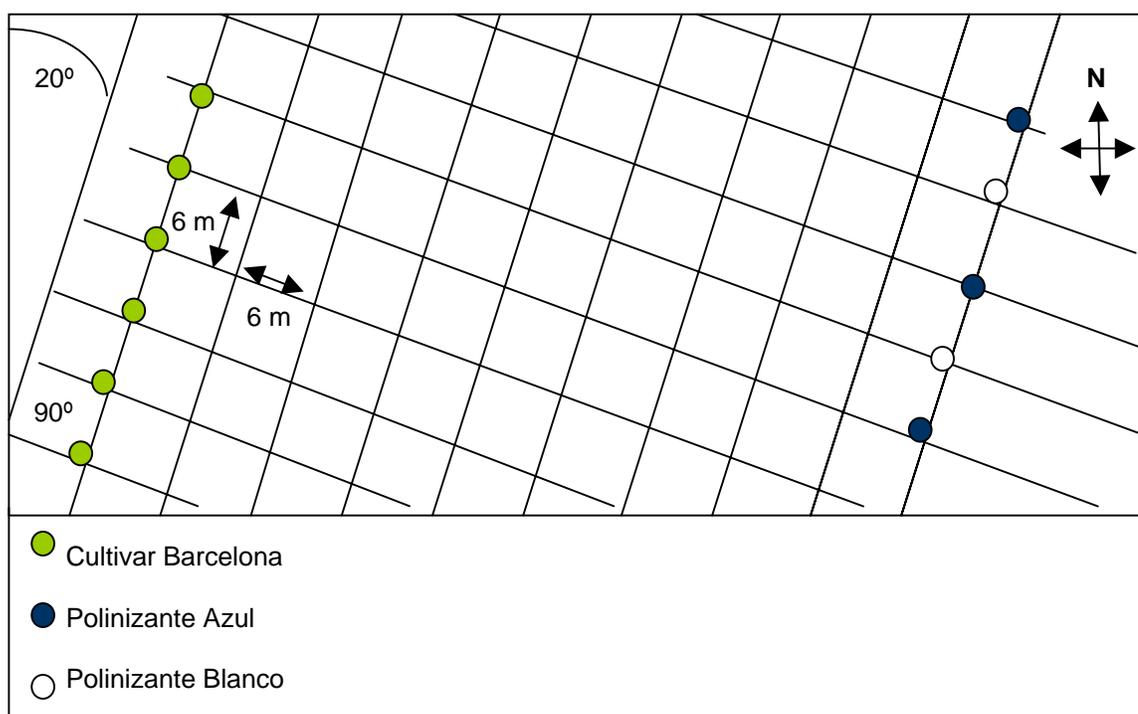


FIGURA 1. Distribución del cultivar Barcelona y de los polinizantes Azul y Blanco en el marco de plantación.

A los árboles se les aplicó 1,1 t/ha de cal y 27,7 Kg/ha de una mezcla comercial de 26 U N y 14 U K₂O post plantación (en el mes de octubre de 2001). Se continúan fertilizando con diferentes mezclas comerciales de nutrientes (ANEXO 1), de acuerdo a un análisis de suelo y a la edad de los

árboles. Se podaron en eje central a fines de invierno y se regaron manualmente e individualmente con 10 L de agua cada 5 días.

El manejo fitosanitario del huerto consistió en el control de insectos (pulgones y burritos) y malezas principalmente. Los pulgones, *Myzocallis coryli* (Goeze) se controlaron, de acuerdo a la intensidad del ataque, aplicando un insecticida de amplio espectro de acción, LORSBAN 4E (ingrediente activo clorpirifos), en una dosis de 100 ml/100 L de agua/ha, y un insecticida piretroide de contacto (HALMARK, cuyo ingrediente activo es esfenvalerato) (AFIPA, 2005), en una dosis de 6 ml/100 L de agua/ha. El control de burritos, *Aegorhinus spp.*, consistió en poner en cada tronco, a 30 – 50 cm del suelo, una Banda INIA (de 15 a 20 cm de ancho) impregnada con insecticida INIA 82.4 GS (grasa oleosa con 40 g de azinfos metil por cada Kg de producto comercial), en una dosis de 3 a 6 g por árbol, de acuerdo al diámetro en su base, a fines de octubre.

El control de malezas se realizó aplicando un herbicida sistémico, no selectivo y postemergente cuyo ingrediente activo fue glifosato, en una dosis de 625 ml/100 L de agua/ha, una vez caídas las hojas de los árboles y un herbicida de contacto postemergente, cuyo ingrediente activo fue paraquat o bien, paraquat y diquat, en una dosis de 625 ml/100 L de agua/ha, después de iniciado el crecimiento de las yemas (detectado este por el aumento de su tamaño).

La producción de avellanas se envió a Linares, a la empresa “Sunwest”, encargada de exportarlas.

3.3 Materiales.

En la realización de este trabajo se utilizaron diversos materiales. En terreno, cuaderno, lápiz pasta, plumón indeleble, pinceles finos, cinta de papel

adhesiva, bolsas de papel sueco, bolsas plásticas de diferentes tamaños, bolsas de papel de envolver y corchetera; y en laboratorio, un pie de metro (Vernier), una balanza y un mortero.

3.4 Método.

Durante el desarrollo del trabajo práctico se utilizó metodologías que optimizaran el tiempo y permitieran realizar una mayor cantidad de cruzamientos, basada en la metodología establecida por Bawa (1974), adaptada por RIVERO (1991).

3.4.1 Cruzamientos experimentales (tratamientos). Se realizaron manualmente y por separado, cada uno de los tres tratamientos que se detallan a continuación.

- Tratamiento 1: Polinización cruzada manual con polen del polinizante Azul en flores femeninas del cultivar Barcelona.
- Tratamiento 2: Polinización cruzada manual con polen del polinizante Blanco en flores femeninas del cultivar Barcelona.
- Tratamiento 3: Polinización cruzada manual con una mezcla de polen de los polinizantes Azul y Blanco en flores femeninas del cultivar Barcelona.

La polinización cruzada manual consistió en obtener polen de los polinizantes Azul y Blanco por separado, y posteriormente aplicarlo en yemas florales del cultivar Barcelona.

Dado que la polinización anemófila ocurre completamente al azar, paralelamente, para comprobar el efecto del polen de Barcelona sobre flores del mismo, y con la finalidad de corroborar su autoincompatibilidad, se realizó una autopolinización artificial manual con polen del cultivar aplicado en yemas florales del árbol siguiente del mismo cultivar.

Además, se realizó un ensayo de referencia, dejando flores expuestas normalmente al efecto del ambiente, debidamente marcadas, como testigos.

3.4.2 Descripción de las polinizaciones realizadas. El polen utilizado para los distintos tratamientos se recolectó el mismo día en que se realizaron los cruzamientos. Este se obtuvo reuniendo en distintas bolsas de papel, amentos del polinizante Azul, Blanco y del cultivar Barcelona, y dejándolos por 1 hora a temperatura ambiente. Una vez obtenido suficiente polen, se polinizaron las flores femeninas del cultivar Barcelona.

El criterio de selección de las flores femeninas a polinizar fue su estado de madurez y receptividad. En este caso, solo se polinizaron aquellas flores que se encontraban en etapa inicial de maduración y aquellas que presentaban 3 a 4 estigmas color rojo intenso, de 3 a 4 mm de largo, para asegurar que las flores no hubieran sido previamente polinizadas.

El polen se aplicó con un pincel (distinto para cada polinizante), de punta fina y cerdas suaves, teniendo la precaución de no dejarlo expuesto al ambiente para evitar que se contamine con otro tipo de polen dispersado por el viento y así no alterar su pureza. Las flores quedaron completamente cubiertas de polen, lo que era fácil de observar por el color amarillo del polen.

Cada una de las polinizaciones se distinguió con una cinta adhesiva blanca, cuidadosamente dispuesta bajo la yema floral polinizada y designada con el tipo de cruzamiento y la fecha de la polinización. Todo se marcó con un lápiz indeleble, a prueba de agua y resistente a la acción del sol. Cada árbol polinizado se marcó con la misma cinta adhesiva blanca en el tronco, para su fácil reconocimiento durante las posteriores evaluaciones.

Dado que esta especie es anemófila y a que la floración y maduración del polen de los polinizantes y del cultivar, se sobreponen en algún momento (pudiendo interferir en forma benéfica o detractora en el proceso dirigido de polinización), una vez realizadas las polinizaciones, se tuvo la precaución de cubrir cada una de las inflorescencias con bolsas de papel sueco, para evitar la contaminación con otro polen. Después de una semana, tiempo que se demora en germinar el polen y llegar hasta la pared del ovario, se retiraron las bolsas de papel para evitar daños en las flores por el efecto del roce y de las fuertes lluvias.

3.4.3 Evaluaciones. La cosecha de los frutos se realizó antes de que comenzaran a caer, cuando estaban maduros fisiológicamente, pero no maduros comercialmente. A cada fruto de nuez (avellana) se le evaluó las siguientes características:

- peso y perímetro con cáscara
- peso sin cáscara
- medidas en plano polar (altura), ecuatorial de fondo (grosor) y ecuatorial de frente (ancho)
- porcentaje de frutos vanos y con otros defectos

Todos los frutos se abrieron, para confirmar la presencia y el efectivo desarrollo del embrión en su interior.

3.4.4 Período experimental. Las diferentes polinizaciones se realizaron durante el período de plena floración, a mediados de julio (2004), y la cosecha manual de los frutos se realizó durante la primera semana de marzo (2005), período en el que todavía no se desprendían en forma natural del árbol, pero sí era fácil desprenderlos de su involucro.

3.4.5 Diseño experimental. Se seleccionaron 36 árboles, completamente al azar, dentro de los 970 totales (en 3,5 ha). No se consideraron los árboles de las orillas para evitar un efecto borde.

Las inflorescencias femeninas de *C. avellana* se consideran como una unidad, con 7 a 10 flores (según la literatura), cuyos estigmas emergentes están uno al lado del otro. En terreno, sin embargo, no se observaron más de 4 flores y por lo tanto, para efectos prácticos, se consideró a una inflorescencia con 3 flores realmente emergentes.

Se polinizaron 7 inflorescencias femeninas de 16 árboles del cultivar con polen del polinizante Azul y 7 inflorescencias femeninas de 16 árboles del cultivar con polen del polinizante Blanco. Es decir, un total de 336 flores femeninas con el tratamiento 1 y 336 flores femeninas con el tratamiento 2.

La mezcla de polen de ambos polinizantes (tratamiento 3), se aplicó a 5 inflorescencias femeninas de 4 árboles del cultivar Barcelona, es decir, a un total de 60 flores.

3.5 Análisis estadístico.

Los datos obtenidos de los tres tratamientos se analizaron con un test de homogeneidad de varianza (homocedasticidad), y de distribución normal. Posteriormente, a las variables con datos no homogéneos, se les aplicó la transformación $\arcsen\sqrt{x/100}$, para continuar con un Análisis de Varianza (ANDEVA). Finalmente, para determinar las diferencias entre los tratamientos, se aplicó una Prueba de Rango Múltiple (Tukey) (SOKAL y ROHLF, 1979).

La estadística se realizó utilizando el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1.

4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Fenología del cultivar Barcelona y los polinizantes Azul y Blanco.

La floración de esta especie es dependiente de la temperatura y por consiguiente, se debe considerar que los resultados son variables en función del clima (OLSEN *et al.*, 2000). Esto significa, que las condiciones climáticas invernales durante el período experimental, representarían únicamente a la temporada en estudio, dado que estas son responsables de la evolución de la floración. Lo anterior se corrobora en una investigación realizada al noreste de Portugal por SILVA *et al.* (2005), donde se encontró que existe una constante variación en las producciones de avellanos europeos de un año a otro, y particularmente, que estas dependen de la influencia de los factores climáticos reinantes en el momento y del cultivar. Según esta información, los resultados que se desprendieron podrían considerarse solo en relación al comportamiento de ambos polinizantes frente al cultivar Barcelona en la Décima región, bajo las condiciones climáticas del año 2004.

Los registros de la Estación Agrometeorológica de Osorno, del Centro Regional de Investigación (CRI) Remehue (40° 31' latitud sur, 73° 03' longitud oeste), indican que el año 2004, en los meses de junio, julio y agosto, las precipitaciones fueron de 337,6 mm, 173 mm y 86 mm, respectivamente. Comparado con las precipitaciones que hubo específicamente en el mes de julio, donde se concentra la floración y polinización en la región, de años anteriores (200 mm en el año 2002 y 160 mm en el año 2003), y años posteriores (190 mm en el año 2005 y 250 mm en el año 2006), se puede observar que estas no varían mayormente, siendo la media de los últimos 29

años, 165 mm. A pesar de que las precipitaciones sean relativamente similares durante los meses en que ocurre la polinización, el resto de los factores climáticos durante el resto del año, pudieran también ser importantes para explicar diferencias en la producción del avellano europeo.

Durante la actividad en terreno, en el huerto del predio “Las Golondrinas”, el período de floración de los amentos del polinizante Azul fue desde inicios de junio hasta fines de julio y del polinizante Blanco, desde inicios de julio hasta inicios de agosto, cubriendo por completo el período de floración de las inflorescencias femeninas del cultivar Barcelona, que es desde inicios de junio hasta fines de julio (Figura 2).

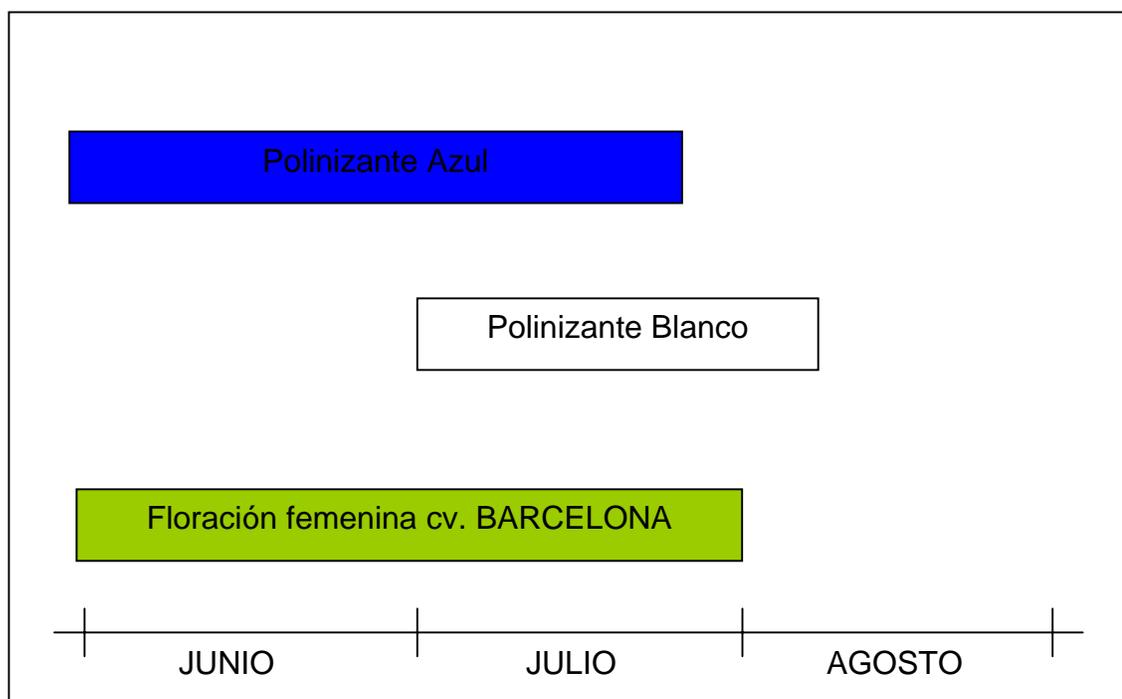


FIGURA 2. Duración y sobreposición del período de floración femenina del cultivar Barcelona y del período de floración masculina de los polinizantes Azul y Blanco en el predio Las Golondrinas (zona de Trumao, Osorno, Región de Los Lagos).

La evidente sobreposición de la floración de los amentos de los polinizantes y la floración femenina de Barcelona, favorece enormemente la polinización, pero como ya se ha mencionado, el clima reinante es el que determina finalmente la efectividad de ésta.

Durante los meses de invierno, la liberación de polen desde las anteras no se ve favorecida, si se considera que es el resultado de un proceso natural de apertura y dispersión de los granos de polen por deshidratación. Esta desventaja, sin embargo, es contrarrestada por la presencia de pocas y todavía pequeñas hojas que rodean a las inflorescencias femeninas, y por el viento noroeste predominante, que permiten que se genere el libre flujo de polen para que ocurra la polinización anemófila.

En el momento de realizar las polinizaciones manuales (cruzamientos), las flores femeninas se encontraban con los estigmas visibles de colores rojos, lo que permitió el fácil acceso a cada una de las unidades a polinizar (inflorescencias).

Los primeros esbozos de frutos, resultado de las polinizaciones manuales, se observaron durante la primera quincena de noviembre, después de la fecundación de los óvulos ya formados y previa reactivación del tubo polínico en los meses de octubre – noviembre.

A fines de noviembre, las avellanas se encontraban en la mitad de su tamaño final, a inicios de enero en su tamaño definitivo y a mediados de febrero, su pericarpo estaba completamente duro. A principios de marzo, cada uno de los frutos presentaba su característico color café canela y se encontraba protegido por la cubierta foliácea de color verde, mimetizándose con el resto del árbol, completamente cubierto de hojas.

Durante el crecimiento y desarrollo de las avellanas, se observaron tanto frutos individuales, como también dos, tres, cuatro, cinco y hasta seis frutos por inflorescencia, lo que refleja la enorme variabilidad de la fecundación efectiva, característico del avellano. Según McKAY (1966), la cantidad de avellanas por inflorescencia es un factor que aparentemente es complejo y ha sido poco estudiado, aunque se considera normal encontrar de 1 a 6 frutos por inflorescencia, como lo observado en este estudio.

Es importante destacar que el huerto, en el momento de realizar las polinizaciones y durante la cosecha, se encontraba en buenas condiciones, reflejado esto en los largos brotes, las grandes hojas de color verde intenso y los involucros de un tamaño adecuado. Esto manifiesta un apropiado manejo y nutrición, en especial de nitrógeno, potasio y boro, fácilmente deficientes y esenciales para el avellano.

Por último, se debe señalar que durante la floración de los árboles del huerto, las especies vegetales de alrededor no se encontraban en iguales condiciones. Esto significa, que el polen que llegó a los estigmas de las flores femeninas del cultivar Barcelona, debería corresponder principalmente al liberado por los polinizantes Azul y Blanco.

La cantidad y calidad de los frutos obtenidos con los tres tratamientos, evaluando los parámetros de peso con cáscara, peso sin cáscara, perímetro y medidas de altura, ancho y grosor, se presentan a continuación.

4.2 Evaluación de los frutos obtenidos.

Después de los 7 días post-polinización manual, algunas flores se encontraron invadidas por tijeretas y otras completamente destruidas. Éstas se eliminaron, quedando solo 156 flores (52 inflorescencias) polinizadas con Azul, 267 flores (89 inflorescencias) polinizadas con Blanco y 27 flores (9

inflorescencias) polinizadas con la mezcla de polen de ambos polinizantes (Cuadro 2). Se debe señalar que a pesar del menor número de polinizaciones realizadas con el tercer tratamiento (mezcla de polen de ambos polinizantes), se analizará con los otros dos tratamientos, para determinar las diferencias de todos los tratamientos en conjunto.

CUADRO 2. Resultado de las polinizaciones manuales.

Número	Tratamientos		
	(1) Azul	(2) Blanco	(3) Mezcla
Inflorescencias	52	89	9
Flores	156	267	27
Frutos	46	85	14

4.2.1 Cantidad de frutos obtenidos por tratamiento. Dado que en el análisis de los cruzamientos se consideró a una inflorescencia equivalente a tres flores, se deberían haber obtenido 156 frutos de los cruzamientos con Azul, 267 frutos de los cruzamientos con Blanco y 27 frutos de los cruzamientos con la mezcla. Sin embargo, del total de las flores polinizadas, se obtuvieron solamente 46, 85 y 14 frutos respectivamente (Cuadro 3). Esto significa que el rendimiento de frutos, definido particularmente como la relación entre los frutos obtenidos y los frutos potenciales, no superó el 29,49% y el 31,84% en los tratamientos con polen de los polinizantes por separado (tratamientos 1 y 2), y el 51,85%, al evaluar la incidencia de la mezcla de polen de ambos polinizantes (tratamiento 3). Este último rendimiento, es bastante mayor a los anteriores.

En el Cuadro 3, donde se presenta el rendimiento de los cruzamientos realizados con los tres tratamientos (Azul, Blanco y la mezcla de ambos), se puede observar que del total de frutos formados, existe un 19,57%, un 16,47% y un 14,29% de frutos vanos, y un 8,70%, un 8,25% y 14,29% de frutos con otros

defectos, en cada uno de los tratamientos respectivamente. El porcentaje total de frutos defectuosos es la suma de ambos problemas.

CUADRO 3. Rendimientos de las polinizaciones manuales realizadas con los tres tratamientos.

	T r a t a m i e n t o s					
	(1) Azul		(2) Blanco		(3) Mezcla	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Frutos potenciales	156		267		27	
Frutos reales	46	29,49	85	31,84	14	51,85
Frutos sin problemas	33	71,74	63	74,12	10	71,43
Frutos vanos	9	19,57	14	16,47	2	14,29
Frutos con otros defectos	4	8,70	8	8,25	2	14,29
Total frutos defectuosos	13	28,27	22	25,88	4	28,58

El porcentaje total de frutos defectuosos en los tratamientos 1 y 3 fue similar, aunque en el primero fue mayor el porcentaje de frutos vanos (19,57%), y menor el de frutos con otros defectos (8,70%), mientras que en el segundo, estos porcentajes fueron iguales (14,29%). El tratamiento 2 fue el que obtuvo un menor porcentaje total de frutos defectuosos, pero aún así, el porcentaje de frutos vanos superó al del tratamiento 3.

Si se considera el rendimiento de frutos sin problemas, el tratamiento 2 con un 74,12%, superó a los tratamientos 1 y 3, con un 71,74 y un 71,43% respectivamente. Estos resultados, son muy similares a los obtenidos por AZARENKO *et al.* (1999), de 70 y 74% en el mismo cultivar, durante los dos años en los que realizaron investigaciones, con polinizantes que, lamentablemente, no se señalan.

En el cultivar Barcelona es normal encontrar un total de 27 a 30% de frutos con algún tipo de defecto, ya sea enmohecido, con dos embriones

unidos, de mala calidad o un fruto vano (AZARENKO *et al.*, 1999). Mehlenbacher *et al.* (1993), citado por SILVA *et al.* (1996), en un estudio de la nuez y la semilla del avellano europeo, en Oregon, Estados Unidos, encontraron que los defectos más comunes son los frutos vanos (13,6%), las nueces escasamente desarrolladas (10,6%), las semillas enmohecidas (4,5%), las semillas arrugadas (3,7%) y por último, los frutos con puntas negras (2,9%). En el presente análisis de los frutos, se encontraron frutos arrugados, escasamente desarrollados (muy pequeños con un peso menor a 1 g), con 2 embriones unidos y otros, con una leve presencia de hongos (En el Cuadro 3 estos corresponden a los frutos con otros defectos).

En un estudio realizado por VALENZUELA (2000), en Curicó, Chile, el porcentaje de frutos vanos de Barcelona fue de un 10%, inferior al obtenido por los 3 tratamientos. En este estudio realizado en Oregon, Estados Unidos, por MEHLENBACHER *et al.* (2000), MEHLENBACHER *et al.* (2001) y MEHLENBACHER *et al.* (2004), los porcentajes de frutos vanos fueron menores a los obtenidos en este trabajo, de 7,5%, 11,4% y 11,9% respectivamente, pero aún así, entre un año y otro, señalan que las diferencias fueron notables. Romisondo (1978), citado por SILVA *et al.* (1996) menciona que de un año a otro ha encontrado variaciones de 1 a 45% en el cultivar Tonda Gentile delle Langhe, mientras que Mehlenbacher *et al.* (1993) citado por SILVA *et al.* (1996) señalan un mínimo de 5,5% en el cultivar Segorbe y un máximo de 17,1% en el cultivar Gasaway. Woodworth (1940), citado por McKAY (1966), también encontró que existen algunos cultivares que producen sobre 25% de frutos vanos en algunos años y atribuye la razón al origen híbrido de la mayoría de los cultivares comerciales y a la presencia de “cromosomas irregulares” durante la meiosis de las células madres del polen, originados por las hibridaciones.

Por el momento, no existen estudios similares y específicos del origen híbrido de los cultivares comerciales actualmente plantados en Chile, a pesar

de ser muy necesarios para determinar la cantidad de cromosomas pares y la regularidad de estos procesos productivos. Esto, dado que McKAY (1966) concluye que la naturaleza heterocigota de los avellanos (como resultado de hibridaciones interespecíficas) podría ser la razón de la producción de polen anormal y por consiguiente, de frutos vanos. ERDOGAN y MEHLENBACHER (2000), después de realizar distintas hibridaciones interespecíficas, efectivamente encontraron altos porcentajes de frutos vanos (hasta un 100% en algunos cruzamientos).

SILVA *et al.* (1996), respaldan este planteamiento y señalan que definitivamente, la formación de frutos vanos es un serio problema en varios cultivares de avellano europeo y que representan una importante pérdida económica para los productores.

Una de las razones asociadas al problema de frutos vanos es la cantidad de polen disponible en relación con su germinabilidad, lo que limitaría la cantidad de frutos con el embrión desarrollado (VALENZUELA *et al.*, 2003). Con respecto a este problema, OLSEN *et al.* (2000) agregan que, si bien los polinizantes y el cultivar, pueden ser genéticamente compatibles, alguno de ellos puede producir altos porcentajes de polen inviable, que no germine, y contribuir a la no formación de frutos comerciales.

AZARENKO (1994), señala que también puede pasar que, a pesar de que el polen sea viable, por razones de altas temperaturas (con baja humedad relativa), disminuya considerablemente su viabilidad. Esto por la inusual floración del avellano que necesita de humedad relativa alta para que el polen sea viable. La autora no especifica las temperaturas altas desfavorables, pero aún así en la Décima región, donde se realizó el trabajo práctico, no se han sobrepasado los 13 °C durante el período de polinización, temperatura que en ningún caso se considera alta. Esta situación no ocurrió en el ensayo y por los

datos entregados de los últimos 65 años, es altamente improbable que ocurra en la zona de estudio.

Otra causa de frutos vanos es señalada por DE BERASATEGUI (1997), quien agrega que en el caso de que las flores femeninas no hayan sido polinizadas, el ovario evoluciona muy poco y simplemente aborta con un diámetro no mayor a 0,5 mm, situación que se podría descartar como causa de la presencia de frutos vanos, en este caso, ya que las polinizaciones fueron manuales y dirigidas.

En condiciones naturales, el transporte de polen desde los amentos de los polinizantes hasta las inflorescencias femeninas del cultivar Barcelona, ocurre completamente al azar y para asegurar la polinización, se debe producir gran cantidad de polen, compensando de esta manera la pérdida que se produce desde su liberación hasta la efectiva llegada a los estigmas. También se debe tener presente, que el libre flujo de polen involucra la liberación de polen de todos los amentos, sin importar si este es o no compatible con las flores femeninas que se tienen que polinizar. Es decir, que los granos de polen del cultivar Barcelona también pueden llegar a la superficie estigmática de sus propias flores femeninas. De la misma forma, es probable que se adhieran elementos extraños que, unido a los granos de polen no deseados, solo estarían ocupando espacio y entorpeciendo la llegada de un grano de polen con un patrón genético compatible para que en cuatro a cinco meses después pueda producirse una efectiva fecundación y formación de frutos.

Lo anterior corroboraría la hipótesis de AYRE y WHELAN (1989), que postulan que la baja proporción de semillas viables sería consecuencia de la insuficiente cantidad de polen genéticamente compatible que llega al estigma.

El avellano es considerado una especie frutal particular, que requiere de humedad relativa alta, aunque no excesiva, para que el polen sea viable, en oposición a las condiciones ideales para el flujo de polen. Según FRANKEL y GALUN (1977), las temperaturas altas y una humedad relativa baja son favorables para un adecuado flujo de polen, con la consecuencia quizás de una efectiva polinización. Estas condiciones en la Décima región, donde la humedad relativa existente suele ser elevada, pero las temperaturas relativamente bajas, sobre todo durante el invierno, época en la que ocurre la polinización, no son las favorables para el flujo de polen, pero sí para que el polen sea viable.

Un estudio realizado en Francia, indica que las temperaturas no solo influyen durante el período de polinización, sino que también durante los meses de octubre a enero, que es el período de crecimiento activo y cuando ocurre la fecundación, donde las temperaturas frías aumentan la frecuencia de encontrar frutos vanos, ya que éstas probablemente alteran la llegada del tubo polínico al ovario de las flores femeninas². Es por eso, que es muy importante considerar un detallado estudio climático, antes de elegir la localidad para establecer un huerto, y así poder obtener frutos de calidad exportable.

Brewbaker's (1957), citado por HAMPSON *et al.* (1993), considera que el avellano europeo es una excepción entre las especies que presentan autoincompatibilidad esporofítica, ya que, a diferencia del característico polen tricelular y de vida corta, común entre éstas, tiene polen bicelular, potencialmente de vida larga. Lo anterior, puede interpretarse como una mayor tolerancia tal vez, frente a las adversidades del clima durante la época de polinización.

² MEHLENBACHER, S. (2006). Hazelnut Breeding & Genetics, Oregon State University. United States of America. Comunicación personal.

Aparte de las condiciones climáticas durante el período de polinización y posterior fecundación, los polinizantes juegan también un muy importante rol en la fructificación de los avellanos europeos. Si bien las características florales de éstos deben ser: presentar la compatibilidad deseada, liberar gran cantidad de polen y además durante todo el período de floración del cultivar, de los polinizantes Azul y Blanco utilizados en el país, solo se tiene la certeza de la última característica. No se debe olvidar, además, que el polen de los avellanos europeos, tiende a ser defectuoso, porque se pueden observar amentos con anteras arrugadas, encorvadas y en general, estructuras con puntas engrosadas, durante el período de emisión de polen. Esto significa que, además de las condiciones climáticas, la correcta elección de los polinizantes, de acuerdo a la cantidad de polen de calidad y al traslape de la floración de sus amentos con la floración femenina del cultivar principal, unido a la adecuada plantación de éstos en las plantaciones comerciales, son factores que se deben considerar prioritarios.

En este caso, dado que el origen de los polinizantes Azul y Blanco no está identificado genéticamente, y a la inexistente investigación publicada en el país acerca del porcentaje de polen defectuoso o inviable, no se puede descartar esto como una posible y muy factible causa al problema de la presencia de frutos vanos o a la no formación de frutos. Lo anterior, lógicamente, unido a la también inexistente identificación de los alelos incompatibles que se expresan en el polen de ambos polinizantes, con técnicas avanzadas y específicas, utilizando marcadores moleculares, como se ha hecho con la mayoría de los cultivares plantados en Estados Unidos.

Los polinizantes Azul y Blanco, son selecciones de plantas de un huerto de Linares, basadas en el período de floración y emisión de polen, complementarias al cultivar Barcelona plantado en el país. Este último, se logró identificar del mismo huerto, de acuerdo a las características del fruto, y

propagándose comercialmente después³. Esto implica, por lo tanto, que ambos polinizantes no se pueden considerar, en ningún caso, como cultivares distintos o nuevos, lo que estaría corroborando la incertidumbre de su origen genético.

Hasta el momento, se sabe que el cultivar Barcelona (de Oregon), presenta los alelos S_1S_2 , según los estudios realizados con marcadores moleculares en Estados Unidos (AZARENKO *et al.*, s.f.). Consiguientemente, basta con que uno de los dos alelos se exprese en el polen de los polinizantes Azul o Blanco y sea reconocido por la flor femenina de Barcelona, para que exista incompatibilidad y no ocurra la posterior fecundación y fructificación.

Como se comprobó en el estudio realizado, que representa a la mayoría de los huertos de la Décima región, donde los polinizantes son los mismos, definitivamente estos no podrían ser incompatibles, porque sí hubo y existe producción de frutos en todos los huertos. Por ende, si el polen de los polinizantes es compatible con el cultivar, comprobado en este caso solo por la efectiva fructificación, el bajo vigor o la no viabilidad del polen, podrían ser las causantes de los bajos rendimientos obtenidos, aspectos aún poco estudiados en estos dos polinizantes.

Por otra parte, en Croacia, de acuerdo a una investigación realizada por KRPINA *et al.*, (1994), se demostró que la tolerancia a las bajas temperaturas, tanto de la inflorescencia femenina, como de los amentos, inflorescencia masculina, es superior a la indicada por la bibliografía (-7 a -8 °C y -5 a -7 °C

En estos casos, se debería haber visto afectada la superficie del estigma y del grano de polen, influenciando y afectando directamente la polinización y

³ ARMENGOLLI, J. (2006). Agrícola La Campana, VII región, Chile. Comunicación personal. respectivamente).

futura fructificación, situación que no ocurrió. HUMMER *et al.* (1986), coinciden con lo anterior y señalan que la tolerancia depende, en gran medida, específicamente del tejido. Hacen referencia a una resistencia fisiológica en tejidos adultos, y también en sus yemas y amentos. Este factor de suma importancia para el momento de la polinización, no es despreciable y confirma que las temperaturas durante la floración y polinización, no sería un problema para las estructuras florales.

Considerando la efectiva fructificación obtenida como resultado de las polinizaciones manuales realizadas, a pesar de todas las adversidades, refleja una enorme tenacidad de esta especie por producir frutos.

En países como Italia, se ha determinado una relación altamente correlativa entre la floración y la altitud, tipo de suelo y características climáticas (PUPPI y ZANOTTI, 1994). Por lo tanto, un gran desafío para los productores nacionales de avellanas europeas, sería determinar específicamente las zonas productoras y sus características climáticas, ya que los períodos de liberación de polen de los diferentes polinizantes y floración femenina de los cultivares, es un fenómeno complejo, en el cual influyen factores genéticos, culturales y climáticos.

4.2.1.1 Cantidad de frutos obtenidos por inflorescencia. En el Cuadro 4 se detalla la cantidad de frutos obtenidos por inflorescencia, sin considerar los tratamientos.

Se puede observar que hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre la cantidad de frutos/inflorescencia y la altura, ancho y peso sin cáscara, mientras que con el grosor, perímetro y peso con cáscara no hubo diferencias significativas.

En Italia, MIAJA *et al.* (1994) comprobaron que existe una relación entre la cantidad de frutos y el largo de las ramas, no así entre la presencia de amentos y la cantidad de frutos. Si bien en el presente trabajo no se consideró como un factor a evaluar el largo de las ramas donde se encontraban las inflorescencias femeninas para polinizar, sí se tiene la certeza de que estas sobrepasaban siempre los 10 cm, longitud considerada como mínima para que la formación de frutos sea normal. Se puede descartar, por lo tanto, como causante del bajo rendimiento de frutos obtenidos.

Cuadro 4. Cantidad de frutos/inflorescencia y características de los frutos.

Cantidad de frutos/inflorescencia	Características de los frutos					
	Altura (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Perímetro (mm)	Peso con cáscara (g)	Peso sin cáscara (g)
1	20,47 a ¹	23,45 b	20,05 a	69,72 a	3,76 a	1,35 b
2	21,39 ab	23,11 ab	20,00 a	68,95 a	3,47 a	1,07 a
3	21,41 b	22,35 a	19,87 a	67,48 a	3,34 a	1,10 ab

¹ Letras distintas en la columna muestran diferencias estadísticas significativas al 5% con la Prueba de Rango Múltiple de Tukey.

Comúnmente, cuando se forma un mayor número de frutos, y todos compiten por la obtención de nutrientes para su crecimiento, se esperaría encontrar una relación inversa en todas las variables, es decir, a mayor cantidad de frutos, menor tamaño y peso de cada uno. Sin embargo, en la variable altura ocurrió lo contrario, y la relación fue directa. Se produjo también un cambio en la relación altura/ancho, siendo la altura mayor en las inflorescencias que formaron mayor cantidad de frutos, y menor en las que formaron un solo fruto.

El porcentaje de cáscara de las inflorescencias con 1, 2 y 3 frutos formados, fue de 64,10%, 69,16% y 67,07% respectivamente. Esto demuestra que las inflorescencias que formaron un solo fruto, poseen una cáscara más

delgada, y por lo tanto, una semilla de mayor tamaño, reflejado en el mayor peso sin cáscara, mientras que las inflorescencias que formaron 2 y 3 frutos, poseen cáscaras más gruesas y semillas más pequeñas.

De acuerdo a GIL (2000), la máxima producción de frutos se obtiene con toda la carga que el árbol mantiene después de las caídas naturales, pero el tamaño y la calidad de cada uno disminuyen a partir de cierto nivel. Esto significaría, que la energía distribuida en menos unidades, permite que cada una sea de mejor calidad. Según lo anterior, las inflorescencias que formaron solo un fruto, comparado con aquellas que formaron dos o tres, deberían ser de mejores características, condición que efectivamente ocurrió en la mayoría de las variables analizadas.

4.2.2 Calidad de los frutos obtenidos por tratamiento. La calidad de los frutos se evaluó considerando el tamaño y el peso con y sin cáscara de cada uno de ellos. Ambos parámetros son el resultado de aproximadamente 16 meses de diferenciación floral, y por consiguiente, de todos los cuidados agronómicos que recibieron durante este período.

4.2.2.1 Tamaño de los frutos. Esta variable se evaluó considerando el perímetro, el diámetro polar (altura), el diámetro ecuatorial de frente (ancho) y el diámetro ecuatorial de fondo (grosor) de cada uno de los frutos (Cuadro 5).

El perímetro, ancho y grosor de cada uno de los frutos presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento 1 y 2 (siendo mayor en el tratamiento 2), mientras que el tratamiento 3 no fue estadísticamente distinto a ninguno de los dos anteriores. La altura, en cambio, presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento 1 y los tratamientos 2 y 3, siendo menor en el tratamiento 1.

CUADRO 5. Comparación de los tamaños (mm) de los frutos.

Tratamientos	Perímetro ¹	Altura	Ancho	Grosor
(1) AZUL	66,91 a ²	20,42 a	22,40 a	19,19 a
(2) BLANCO	69,59 b	21,40 b	23,39 b	20,37 b
(3) MEZCLA	69,50 ab	21,97 b	23,23 ab	20,11 ab

¹ Variable a la que se le aplicó la transformación $\arcsen\sqrt{x/100}$. Aparecen los datos sin transformar.

² Letras distintas en la columna muestran diferencias estadísticas significativas al 5% con la Prueba de Rango Múltiple de Tukey.

Si se analiza el resultado de todos los parámetros de tamaño, el tratamiento 1 es el que presenta los frutos más pequeños.

De acuerdo a GRAU (2003), en Chile, los frutos de Barcelona son subesféricos de 21,8 x 22,0 x 18,2 mm con cáscara (diámetro polar o altura, diámetro ecuatorial de frente o ancho y diámetro ecuatorial o grosor, respectivamente), en un número de 3,3 por involucro, características que corresponden a las mediciones realizadas y a lo observado en terreno en el presente trabajo. Por otro lado, en la zona productora de Estados Unidos, los frutos del cultivar del mismo nombre, son muy similares y para su comercio, esto es muy conveniente.

4.2.2.2 Peso de los frutos. En el Cuadro 6 se presentan los promedios de los pesos de los frutos con y sin cáscara, el porcentaje de cáscara y el rendimiento cáscara/semilla de los frutos, resultado de los cruzamientos realizados.

El peso con cáscara de los frutos obtenidos con el tratamiento 1 fue el menor (3,11 g) y presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) con los tratamientos 2 y 3, que presentaron pesos mayores y similares de 3,68 y 3,81 g respectivamente. El peso sin cáscara, es decir, el peso de las semillas, en cambio, no fue estadísticamente distinto entre los 3 tratamientos.

CUADRO 6. Peso con y sin cáscara (g) de los frutos.

Tratamientos	Peso con cáscara	Peso sin cáscara	Porcentaje de cáscara
(1) AZUL	3,11 a ¹	0,98 a	71,14 ab
(2) BLANCO	3,68 b	1,21 a	76,54 b
(3) MEZCLA	3,81 b	1,39 a	65,56 a

¹ Letras distintas en la columna muestran diferencias estadísticas significativas al 5% con la Prueba de Rango Múltiple de Tukey.

El porcentaje de cáscara presentó diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el tratamiento 2 y 3, siendo mayor en el tratamiento 2, mientras que el tratamiento 1 no fue estadísticamente distinto a ninguno de los dos anteriores. Esto significa que los frutos obtenidos con el tratamiento 3, que corresponde a la mezcla de polen de ambos polinizantes, fueron los de mayor peso y, a la vez, los que presentaron el menor porcentaje de cáscara, lo que se traduce en semillas de mejor calidad.

En el estudio, a pesar de haber obtenido rendimientos menores debido al porcentaje de frutos vanos principalmente, el peso de cada uno de los frutos con cáscara, en promedio, no fue menor al obtenido por AZARENKO *et al.* (1999) y GRAU (2003) de 3,3 g, aunque sí al obtenido por AZARENKO *et al.* (1997) y por MEHLENBACHER y SMITH (2004) de 4,1 y 3,8 g respectivamente. Estos diferenciales de peso, sin embargo, no afectan el destino final de las avellanas, ya que en el mercado, las normas establecidas por Oregon, Estados Unidos, para este tipo de avellanas, solo especifican que deben ser grandes, redondas, con una cáscara clara y de fácil rotura, con una semilla grande, regular, lisa, sin restos de fibra y de buen sabor, sin alguna exigencia particular de peso óptimo.

Las semillas (frutos sin cáscara) de tamaño medio (1,4 a 1,5 g), generalmente ovoides, según estudios realizados por DE BERASATEGUI

(1997) en el Valle Interior del Río Negro en Argentina, por AZARENKO *et al.* (1999) en Oregon, Estados Unidos, y por GRAU (2003) en la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chillán, en Chile, corresponden en parte a los resultados obtenidos en el predio “Las Golondrinas”, en la Décima región. Hubo semillas con pesos similares, pero la media de los tres tratamientos fue mucho menor (0,98 g con Azul, 1,21 g con Blanco y 1,39 con la mezcla). Los resultados que se obtuvieron, se asemejan más a los obtenidos por VALENZUELA (2000), en la localidad de Los Niches, en Curicó, de 1,12 g. Esto expone un poco la gran adaptabilidad de la especie a distintas condiciones, como lo son Curicó en la Séptima región y Osorno, en la Décima.

El peso de la avellana completa (peso con cáscara), si bien está dentro de lo que especifica la literatura, no refleja la calidad de la semilla y en efecto, en el Cuadro 6, se observa un peso promedio un poco inferior al normal. Esto evidencia, tal vez, un exceso de nitrógeno, nutriente que tiene tendencia a aumentar el grosor de la cáscara, como lo señala GENC (s.f).

El rendimiento promedio cáscara/semilla (o porcentaje de semillas) de los frutos obtenidos con los polinizantes en evaluación, de 31,51%, 32,88% y 36,48% en los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, es bastante inferior a los que han obtenido DE BERASATEGUI (1997), GRAU (2003) y VALENZUELA *et al.* (2003) con el mismo cultivar de 45%, 46,2% y 42% respectivamente. También es menor a los que comúnmente presenta en el hemisferio norte, de un 40% (LAGERSTEDT, 1978), o entre un 39 y 43% (AZARENKO *et al.*, 1999 y MEHLENBACHER y SMITH, 2004). Esto se debe principalmente al elevado número de frutos vanos encontrado, y en menor medida a los frutos escasamente desarrollados y/o deformados.

4.3 Evaluación del cultivar Barcelona como polinizante, en base a la cantidad y calidad de los frutos obtenidos.

El objetivo de este tratamiento, a pesar de saber que el cultivar es autoincompatible, fue descartar completamente la probable polinización cruzada entre los árboles de Barcelona. En el Cuadro 7 se especifican los resultados obtenidos.

CUADRO 7. Rendimientos de las polinizaciones manuales realizadas con polen del cultivar Barcelona aplicado sobre el árbol siguiente del mismo cultivar.

	Polinizante Barcelona	
	Cantidad	%
Inflorescencias polinizadas	13	
Frutos potenciales	39	
Frutos reales	10	25,64
Frutos sin problemas	3	30
Frutos vanos	5	50
Frutos con otros defectos	2	20
Total de frutos defectuosos	7	70

Como se puede apreciar en este cuadro, sí hubo fructificación, lo que significa que los árboles plantados en el huerto, no provienen todos del mismo patrón y que, consecuentemente, la incompatibilidad no es completa entre ellos.

Si bien, del total de 39 flores polinizadas, solo 10 fructificaron realmente y de éstos, solo 3 se desarrollaron adecuadamente, esto puede ser considerado como una ventaja, ya que los amentos del cultivar no estarían entorpeciendo el flujo de polen compatible de los polinizantes, si no que éstos también estarían contribuyendo, en menor medida por supuesto, a la polinización de las inflorescencias femeninas.

4.4 Ensayo de referencia (polinización abierta).

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de la polinización abierta, realizada como referencia del comportamiento de la fructificación entre los polinizantes Azul y Blanco, y el cultivar Barcelona, bajo las condiciones naturales de polinización.

Cuadro 8. Resultado de la polinización abierta.

	Cantidad	%
Inflorescencias polinizadas	10	
Frutos potenciales	30	
Frutos reales	14	46,67
Frutos sin problemas	9	64,29
Frutos vanos	5	35,71
Frutos con otros defectos	-	-
Total de frutos defectuosos	5	35,71

Al comparar estos resultados con los mismos parámetros evaluados con los frutos obtenidos con cada uno de los tratamientos, cabe destacar que el rendimiento entre los frutos obtenidos y los que potencialmente se deberían haber obtenido, es mayor al tratamiento 1 (29,49%) y 2 (31,84%), pero menor al tratamiento 3 (51,85%). El rendimiento de frutos sin problemas (64,29%), es menor al obtenido por los otros tres tratamientos. Si bien, en este caso no hubo formación de frutos con otro tipo de defectos, el porcentaje total de frutos defectuosos es aún mucho mayor al obtenido por los tres tratamientos, ya que el porcentaje de frutos vanos es bastante elevado (35,71%, comparado con un 19,57%, 16,47% y 14,29% en los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente).

En el Cuadro 9 se presentan las características de los frutos obtenidos.

Cuadro 9. Características de los frutos.

Característica	Valores promedio
Altura (mm)	21,41
Ancho (mm)	22,57
Grosor (mm)	20,16
Perímetro (mm)	68,21
Peso con cáscara (g)	3,58
Peso sin cáscara (g)	1,04
Porcentaje de cáscara (%)	70,95

Al comparar estos resultados con las características de los frutos obtenidos con los 3 tratamientos, la altura fue mayor al tratamiento 1 (20,42 mm), levemente mayor al tratamiento 2 (21,40 mm) y menor al tratamiento 3 (21,97 mm). Las medidas de ancho y perímetro solo fueron mayores al tratamiento 1, al igual que el peso con y sin cáscara. El grosor fue mayor a los tratamientos 1 y 3, y menor al tratamiento 2 (20,37 mm).

Después de analizar la fructificación de este ensayo, realizado como referencia, se puede señalar que no existen grandes diferencias entre las polinizaciones manuales realizadas y la polinización que ocurre naturalmente.

En resumen, con la polinización natural, se obtuvo un rendimiento mayor en frutos, que al usar ambos polinizantes por separado y similar al obtenido con la mezcla de ambos polinizantes.

5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación y bajo las condiciones en las que esta se realizó, se puede concluir lo siguiente:

La hipótesis planteada se confirma, ya que efectivamente los polinizantes Azul y Blanco son compatibles con el cultivar Barcelona y hubo producción de frutos.

La floración de ambos polinizantes coincide y cubre completamente el período de floración femenina del cultivar. El polinizante Azul es el que comienza a liberar el polen primero, mientras que el polinizante Blanco, es más tardío.

La formación de frutos fue mayor con los cruzamientos realizados con la mezcla de polen de ambos polinizantes, sin embargo estos presentaron el mayor porcentaje de frutos vanos y con otros defectos (28, 58% del total de frutos). El polinizante Azul fue el que presentó la menor proporción de frutos formados.

En general, el porcentaje de frutos vanos, fue mayor al establecido por la literatura. Una razón asociada es la enorme influencia climática durante los meses de invierno, en los que ocurre la polinización del avellano europeo.

El polinizante Blanco y la mezcla de polen de ambos polinizantes, fueron los tratamientos que formaron los frutos de un mejor calibre, con las mejores características de tamaño con cáscara y peso sin cáscara.

Al evaluar la calidad de la cantidad de frutos formados por inflorescencia, se determinó que aquellas que formaron un solo fruto, poseen una cáscara más delgada, y por lo tanto, una semilla de mayor tamaño, mientras que las inflorescencias que formaron 2 y 3 frutos, poseen cáscaras más gruesas y semillas más pequeñas.

El cultivar Barcelona demostró ser autocompatible en el huerto en estudio.

6 RESUMEN

Se determinó la compatibilidad polínica entre los polinizantes Azul y Blanco, y el cultivar Barcelona de avellanos europeos (*Corylus avellana* L.), evaluando la producción de frutos, en un huerto de la Décima región, ubicado en la zona de Trumao, a 20 Km al norte de la ciudad de Osorno, Chile.

El objetivo de este trabajo fue evaluar cuál de los dos polinizantes (Azul o Blanco) permite una mayor formación de frutos y determinar su incidencia sobre la calidad de estos. Para ello, se polinizaron manualmente flores femeninas del cultivar Barcelona con polen de los polinizantes Azul (tratamiento 1), Blanco (tratamiento 2) y con la mezcla de ambos (tratamiento 3). Posteriormente, se analizaron los frutos obtenidos, determinando la cantidad y calidad (en base al tamaño y peso) de cada uno de ellos.

Los resultados arrojaron que con el tratamiento 3 se obtiene una mayor cantidad de frutos (51,85%), mientras que con el tratamiento 1 y 2 solo se obtiene un 29,49 y 31,84% de frutos respectivamente. El porcentaje de frutos defectuosos, sin embargo, fue mayor en el tratamiento 3 (28,58%) y menor en el tratamiento 1 (28,27%) y 2 (25,88%). El tamaño de cada uno de los frutos, presentó diferencias significativas entre el tratamiento 1 y 2 (siendo mayor en el tratamiento 2). El tratamiento 3 no fue estadísticamente distinto a ninguno de los dos anteriores. El peso de los frutos obtenidos, fue menor con el tratamiento 1 (3,11 g) y presentó diferencias estadísticamente significativas con los tratamientos 2 y 3, que presentaron pesos mayores y similares de 3,68 y 3,81 g respectivamente. El peso sin cáscara, es decir, el peso de las semillas, no fue estadísticamente distinto entre los 3 tratamientos. Adicionalmente, se evaluó las características de los frutos formados por inflorescencia.

SUMMARY

To determinate the polinic compatibility between the Blue and White pollinators, in Barcelona cultivar, European Hazelnut (*Corylus avellana* L.), evaluating the production of nuts, in an orchard located in the Decima Region de Chile, 20 km north of Osorno.

The objective of this work was to determinate which one of the pollinators (Blue or White) allows a better formation of nuts and determine the incidence over their quality. For that purpose female flowers from the cultivar Barcelona were pollinized manually with the pollen from the Blue (treatment 1), White (treatment 2) and the mixture of both pollinators (treatment 3). After, the nuts were analyzed, determinating the quantity and quality (in base of size and weight) from each one of them.

The results were that with the treatment 3 a greater quantity of fruits were formed (51,85%), meanwhile the treatments 1 and 2 resulted in a 29,49% and 31,84% of fruit formation. The percentage of defective nuts was however higher in the treatment 3 (28,58%) than in the treatment 1 (28,27%) and treatment 2 (25,88%). The size of each one of the fruits presented statistical differences between the treatments 1 and 2 (being bigger in treatment 2). The treatment 3 was not statistically different from the other two. The weight of the obtained nuts, was smaller on the treatment 1 (3,11 g) and shows statistically significant differences on the treatments 2 and 3, which both presented higher weight than treatment 1 and similar between them (about 3,68 g and 3,81 g). The weight without shell, this means, the weight of the seeds, was not statistically different between the three treatments. Additionally, the characteristic of the fruits formed per inflorescence were evaluated.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ALASALVAR, C., SHAHIDI, F., LIYANAPATHIRANA, C. y OHSHINA, T. 2003 (a). Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.) 1. Compositional characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(13): 3790 – 3796.
- ALASALVAR, C., SHAHIDI, F., OHSHINA, T., WANASUNDARA, U., YURTTAS, H., LIYANAPATHIRANA, C. y RODRÍGUEZ, F. 2003 (b). Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.) 2. Lipid characteristics and oxidative stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(13): 3797 – 3805.
- ALLARD, R. 1967. Principio de la mejora genética de las plantas. Barcelona, España. Omega. 498 p.
- ANDERSEN, A. y MEDAN, D. 1995. *Corylus avellana* L.: morfología, biología floral y eficiencia productiva en la Provincia de San Luis, La Plata, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía* 71 (1): 21-29.
- ALINIAZEE, T. 1998. Ecology and management of hazelnut pests. *Annual Review of Entomology* 43: 395 – 419.
- AMARAL, J., CASAL, S., SEABRA, R. y OLIVEIRA, B. 2006. Effects of roasting on hazelnut lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (4): 1315 – 1321.

ARMENGOLLI, J. 2006. Jaime Armengolli Hochkoppler, un pionero del cultivo del avellano europeo en la zona central de Chile. *Raíces* 34: 26 – 27.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES E IMPORTADORES DE PLAGUICIDAS AGRÍCOLAS (AFIPA). 2005. Manual fitosanitario 2006-2007. Fundación para el desarrollo frutícola. Santiago, Chile. 1214 p.

AYRE, D. y WHELAN, R. 1989. Factors controlling fruit set in hermaphroditic plants: Studies with the Australian Proteaceae. *Trends in Ecology and Evolution* 4 (9): 267 – 272.

AZARENKO, A. 1994. Oregon's hazelnuts and other specialty horticultural crops. *HortScience* 29 (5): 346.

AZARENKO, A., MEHLENBACHER, S. y OLSEN, J. s.f. Pollinizer selection and spacing. Department of Horticulture, Oregon State University, Corvallis, United States of America. 2 p.

AZARENKO, A., MEHLENBACHER, S., SMITH y McCLUSKEY, R. 1997. Advanced Hazelnut Selections, OSU244.001. Extension Service of the Oregon State University. Corvallis, United States of America. 2 p.

AZARENKO, A., MEHLENBACHER, S., SMITH y McCLUSKEY, R. 1999. New Hazelnuts cultivar "Clark" (OSU276.142). Extension Service of the Oregon State University. Corvallis, United States of America. 2 p.

BALDWIN, B. 1998. Hazelnuts, in the new rural industries. In K. Hyde. A handbook for farmers and investors. Rural Industries Research and Development Corporation. Canberra, Australia. pp: 428 – 435.

- BARÓN, LI., RIGGERT, C., STEBBINS, R y BELL, S. 1997. El cultivo del avellano europeo (*Corylus avellana*). Chile Hortofrutícola 45 (8): 33 – 35.
- BASSIL, N., BOTTA, R. y MEHLENBACHER, S. 2005. Microsatellite markers in hazelnut: isolation, characterization, and cross-species amplification. Journal of the American Society for Horticultural Science 130 (4): 543 – 549.
- BRICKEL, C y JOICE, D. 1996. Pruning and Training. Royal Horticultural Society. London, United Kingdom. Dorling Kindersley Book. 336 p.
- CHILE, CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN (CORFO). 1983. Propagación de algunas especies de interés para el sur de Chile. 84 p.
- CONTARDO, M. 1996. Análisis de los mercados de frutos de nuez: avellano europeo, macadamia, pecano y pistacho. Tesis Lic. Agr. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 198 p.
- DE BERASATEGUI, L. 1997. El avellano en Argentina. Información técnica n° 13. Estación experimental agropecuaria del Valle Inferior del Río Negro. Convenio IDEV – INTA. Río Negro, Argentina. 64 p.
- DUMAS, C., CLARKE, A. y KNOX, B. 1985. La fecundación de las flores. Mundo Científico (España) 55 (44): 188 – 197.
- ERDOGAN, V. y MEHLENBACHER, S. 2000. Interspecific hybridization in hazelnut (*Corylus*). Journal of the American Society for Horticultural Science 125 (4): 489 - 497.

- ERDOGAN, V., MEHLENBACHER, S., KÖKSAL, A. y KURT, H. 2005. Preliminary results of incompatibility alleles expressed in pollen of Turkish hazelnut cultivars. *Acta Horticulturae* 686: 157 – 162.
- FONT QUER, P. 2001. Diccionario de botánica. 2ª Ed. Barcelona, España. Península. 1244 p.
- FRANKEL, R. y GALUN, E. 1977. Pollination mechanism reproduction and plant breeding. New York, United States of America. Springer – Verlag. 270 p.
- GENC, C. s.f. Hazelnut – Filbert (*Corylus avellana* L.). Atatürk Horticultural Research Institute. Yalova-Istanbul, Turkey. pp: 431 – 436.
- GERMAIN, E y SARRAQUIGNE, J. P. 2004. Le noisetier. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Institut National de la Recherche Agronomique, Association Nationale des Producteurs de Noisette. France. 295 p.
- GIL, G. 2000. La producción de fruta: fruta de climas templado y subtropical y uva de vino. Santiago, Chile. Universidad Católica de Chile. 583 p.
- GRAU, P. 2001. El avellano europeo, un fruto de nuez especialmente para la zona centro sur. Boletín nº 56. Informativo Agropecuario Bioleche – INIA Quilamapu. 2 p.
- GRAU, P. 2003. Avellano europeo: manual de plantación y manejo. Boletín INIA nº 108. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile. 90 p.

- HAMPSON, C., AZARENKO, A. y SOELDNER, A. 1993. Pollen-stigma interactions following compatible and incompatible pollinations in hazelnut. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118(6): 814 – 819.
- HARTMANN, H. y KESTER, D. 1995. *Propagación de plantas, principios y prácticas*. México. Continental. 759 p.
- HESLOP – HARRISON, J. 1975. Incompatibility and the pollen - stigma interaction. *Annual Review of Plant Physiology* 26: 403 – 425.
- HUMMER, K. 2006. *Corylus genetic resources*. National Clonal Germplasm Repository of the United States Department of Agriculture (USDA). Corvallis, United States of America.
- HUMMER, K., LAGERSTED, H y KIM, S. 1986. Filbert acclimation, maximum cold hardiness, and deacclimation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 111(3): 474 - 482.
- IBACACHE, A. y ROJAS, N. 2002. *Antecedentes económicos del Nogal*. Centro Regional de Investigación Intihuasi. La Serena, Chile. Informativo nº 17. 4 p.
- INDUSTRIA DE ALIMENTOS. 2002. *Trufas, su cultivo en Chile*. Industria de Alimentos 5 (2): 46.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS NATURALES. 1964. *Suelos: descripciones proyecto aerofotogramétrico, Chile*. Organización de los Estados Americanos (OEA)/ Banco Internacional de Desarrollo (BID). Publicación nº 2. 391 p.

- KEVAN, P y BAKER, H. 1983. Insect as flower visitors and pollinators. Annual Review of Entomology 28: 407 – 453.
- KIM, S., LAGERSTEDT, H. y DALEY, L. 1985. Germination responses of filbert pollen to pH, temperature, glucose, fructose and sucrose. HortScience 20 (5): 944 – 946.
- KRPINA, I., CVRLJE, M., y VUJEVIC, P. 1994. Influence of extremely low winter temperature on some hazelnuts cultivars. Acta Horticulturae 351: 329 – 333.
- LAGERSTEDT, H. 1977. The occurrence of blanks in the filbert *Corylus avellana* L. and possible causes. Economic Botany 31: 155 – 159.
- LAGERSTEDT, H. 1978. The fabulous filbert. HortScience 13 (2): 122.
- LEMUS, G. 2004. El cultivo del avellano (*Corylus avellana*). Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Platina - Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Proyecto FIA N° C.96-I-1-025. 29 p.
- LITTLE, T. y HILLS, J. 1976. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México. Trillas. 270 p.
- LOBOS, W. 1983. El avellano europeo, una nueva alternativa frutícola. Investigación y Progreso Agropecuario (IPA) Carillanca 2 (1): 18 – 21.
- LOBOS, W. 1986. Antecedentes de propagación del avellano europeo (*Corylus avellana* L.). Investigación y Progreso Agropecuario (IPA) Carillanca 5 (3): 28 – 31.

- MADHAVEN, N. 2001. Final report on the safety assessment of *Corylus avellana* seed oil, *Corylus americana* seed oil, *Corylus avellana* seed extract, *Corylus avellana* leaf extract, *Corylus americana* leaf extract and *Corylus rostrata* leaf extract. International Journal of Toxicology 20(1): 15 – 20.
- McKAY, J. 1966. Sterility in filbert (*Corylus*). Journal of the American Society for Horticultural Science 88: 319 – 324.
- ME, G., RADICATI, L., VALLANIA, R., MIAJA, M., VALENTINI, N., PANCHERI, G., GEIBEL, M., FISCHER, M y FISCHER, C. 2000. Research on the genetics of incompatibility in *Corylus*. Acta Horticulturae 538(2): 477 – 481.
- MEDEL, F. 1989. Propagación del avellano europeo por estacas de madera blanda. Agrosur 17 (1): 37 – 47.
- MEHLENBACHER, S. 1991. Chilling requirements of hazelnut cultivars. Scientia Horticulturae 47: 271 - 282.
- MEHLENBACHER, S. 1997. Revised dominance hierarchy for S-alleles in *Corylus avellana* L. Theoretical Applied Genetics 94(3): 360 - 366.
- MELENBACHER, S y MILLER, A. 1988. Choosing pollinizer cultivars: pollinizer management in a hazelnut orchard. Oregon State University. Corvallis, United States of America. 32 p.
- MEHLENBACHER, S. y SMITH, D. 2004. Hazelnut pollenizers “Gamma”, “Delta”, “Epsilon” and “Zeta”. HortScience 39 (6): 1498 – 1499.

- MEHLENBACHER, S., AZARENKO, A., SMITH, D. y McCLUSKEY, R. 2000. Lewis Hazelnut. *HortScience* 35(2): 314-315.
- MEHLENBACHER, S., AZARENKO, A., SMITH, D. y McCLUSKEY, R. 2001. Clark Hazelnut. *HortScience* 36(5): 995-996.
- MIAJA, M., ME, G. y ROMISONDO, P. 1994. Biophysiological interdependence between male and female inflorescences in hazelnut. *Acta Horticulturae* 351: 263 – 271.
- NETTANCOURT, D. 1977. Incompatibility in Angiosperms. *Monographs on Theoretical Applied Genetics* 3. New York, United States of America. Springer-Verlag. 230 p.
- NOVOA, R. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Santiago, Chile. 221 p.
- ODEPA y SERVICIO NACIONAL DE ADUANAS. 2006. Estadísticas agropecuarias. (On line). Comercio exterior silvoagropecuario. <www.odepa.gob.cl> (10 may. 2006).
- OLSEN, J., MEHLENBACHER, S. y AZARENKO, A. 2000. Hazelnut pollination. *HortTechnology* 10: 8 – 10.
- PAREDES, M. 1995. Polinización y factores que afectan el desarrollo de semillas viables en la especie *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. Fagaceae. Tesis Lic. Prof. Biol. Quim. Y Cs. Nat. Valdivia, Universidad Austral de Chile. Facultad de Filosofía y Humanidades. 77 p.

- PARRA, C. 2003. Informe de visita técnica a Agrícola La Campana, comuna de Linares. PROFO Innovación. Osorno, Chile. 10 p.
- PROCHILE. 2005. Perfil de Mercado avellanas – España (On line). ProChile Barcelona. <www.prochile.cl> (25 may. 2006).
- PUPPI, M. y ZANOTTI, T. 1994. *Corylus avellana* flowering: first results of a phenological network in Italy. Acta Horticulturae 351: 257 – 261.
- RAZETO, B. 1999. Para entender la fruticultura. 3^a ed. Santiago, Chile. Vértigo. 373 p.
- RIVERO, M. 1991. Biología reproductiva en especies vegetales de dos comunidades de la zona templada del sur de Chile, 40° S. Tesis Doc. En Cs. con mención en Biol. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias. 301 p.
- ROMISONDO, P., LIMONGELLI, F., ME, G y RADICATI, L. 1978. Studies on the pollen receptivity of the styles in the hazel cv. Tonda Gentile delle Langhe at various stages of female flowering. Revista della Ortoflorofrutticoltura Italiana 62 (6): 655 – 661.
- ROVIRA, M. 1989. Fórmulas alélicas de incompatibilidad polínica en el avellano (*Corylus avellana*). Investigación Agrícola en Producción y Protección Vegetal 4 (1): 61 – 70.
- RYUGO, K. 1988. Fruit culture its science and art. New York, United States of America. 331 p.

- SAEZ, J. 2002. Análisis técnico-económico y de mercado de la producción de avellano europeo, *Corylus avellana*. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de las Américas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 120 p.
- SAINI, P. 2004. V Congreso Internacional sobre Avellanas. Boletín nº 12: Frutales de Nuez. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Gobierno de Chile. 2 p.
- SARIGEDIK, U. 2005. Turkey tree nuts annual 2005. Global Agriculture Information Network Report. United States Department of Agriculture (USDA), Foreign Agricultural Service. 16 p.
- SAVAGE, G. y McNEIL, D. 1998. Chemical composition of hazelnuts (*Corylus avellana* L.) grown in New Zealand. International Journal of Food Sciences and Nutrition 49(3):199 - 203.
- SILVA, A., RIBEIRO, R., SANTOS, A. y ROSA, E. 1996. Blank fruits in hazelnut (*Corylus avellana* L.) cv. Butler: characterization and influence of climate. Journal of Horticultural Science 71 (5): 709 – 720.
- SILVA, A., SANTOS, F., ROSA, E. y SANTOS, A. 2005. Effect of the cultivar and year on the quality of hazelnut fruits (*Corylus avellana* L.). Acta Horticulturae 686: 469 – 475.
- SOKAL, R y ROHLF, J. 1979. Biometría: principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Madrid, España. Blume. 832 p.
- STRASSBURGER, E., NOLL, F., SCHENCK, H. y SCHIMPER, A. 1994. Tratado de Botánica. 8ª ed. Barcelona, España. Omega. 1086 p.

- TASIAS, V. 1975. El avellano en la Provincia de Tarragona Exema. Servicio Agropecuario Provincial Tarragona, España. 152 p.
- THOMPSON, M. 1979 (a). Growth and development of the pistillate flower and nut in "Barcelona" filbert. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104(3): 427 – 432.
- THOMPSON, M. 1979 (b). Genetics of incompatibility in *Corylus avellana* L. *Theoretical Applied Genetics* 54(3): 113 – 116.
- TOSSO, J. 1985. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. 723 p.
- VALENZUELA, J. 2000. Evaluación de polinizantes chilenos para avellano europeo var. Tonda Gentile delle Langhe (*Corylus avellana* L.). Memoria de Título Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. 35 p.
- VALENZUELA, J., LEMUS, G. y LOBATO, A. 2003. Frutales de Nuez: mercado y tecnología. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Santiago, Chile. pp: 42 – 51.
- VERA, M. 2002. Aspectos de biología reproductiva en avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol., Proteaceae). Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. 105 p.
- WESTWOOD, M. 1982. Fruticultura de zonas templadas. Madrid, España. Mundi Prensa. 461 p.

ANEXOS

ANEXO 1. Glosario botánico.

Acrotonía: ramificación que se produce solo desde el ápice de los brotes o tallos formados durante el último período de crecimiento.

Agamospermia: fenómeno por el cual se produce una semilla en forma asexual, es decir, sin la intervención de gametos o sin fecundación previa.

Alogamia: sistema de propagación sexual también conocido como polinización cruzada. Fenómeno que tiene efecto cuando el polen llega al estigma procedente de otra flor, tanto si ésta pertenece al mismo pie como si corresponde a otro ejemplar de la misma especie. Garantiza la variabilidad genética y por lo tanto, nuevas combinaciones alélicas dentro de una especie.

Androceo: conjunto de estambres de la flor masculina.

Amento: racimo espiciforme denso, péndulo, con flores pequeñas inconspicuas, generalmente con flores unisexuales y aclamídeas, agrupadas en un eje a lo largo del cual se distribuyen individualmente.

Apomixis: reproducción asexual que se utiliza como sinónimo de agamospermia.

Aquenio: fruto seco, indehiscente, que encierra una sola semilla, no soldada al pericarpio y del que se puede separar con facilidad.

Autoincompatibilidad: consiste en la incapacidad del polen para crecer en el pistilo de la misma flor o flores de la misma planta, aunque el polen mismo es viable.

Autogamia: sistema de reproducción sexual de las plantas hermafroditas, donde se produce la polinización con polen de la misma flor. Las plantas de especies autógamas son, por lo general anuales, con flores pequeñas, poco atractivas para los agentes polinizadores. Es una estrategia útil cuando existe un pequeño número de individuos por área,

donde el éxito de la propagación es más importante que la producción de nuevos genotipos.

Basitonía: ramificación que se origina en la base de los tallos producidos durante el último período de crecimiento.

Dehiscente: fruto que se abre por sí solo a la madurez (contrario a indehiscente).

Diclinomonoico: se refiere a las flores unisexuales masculinas y femeninas que aparecen en un mismo pie.

Dicogamia: es la no coincidencia de la liberación de polen de las flores masculinas con la receptividad de polen de la flor femenina.

Dioico: Especies vegetales que presentan el fenómeno de la dioecia, es decir, con los órganos sexuales en flores distintas y en pies distintos.

Ecotipo: es una selección de un genotipo que normalmente proviene de una población de individuos que presenta una particular adaptación, y/o características especiales, en el área a la cual fue seleccionada. Variedad ligada a las condiciones particulares del medio, pero no a un área geográfica determinada. Es el resultado, sobre una población heterogénea, de una selección por los factores ecológicos dominantes.

Esterilidad: incapacidad para producir semillas viables. Se puede deber a factores morfológicos, cuando existen diferencias de tamaño entre el estilo y el tubo polínico; factores citológicos, cuando los gametos son inviables o defectuosos; o a factores de incompatibilidad fisiológica (gametofítica o esporofítica).

Estigma: sección superior del estilo, donde se recibe el polen y este germina. Puede ser único o estar dividido en lóbulos.

Estilo: en el gineceo o pistilo, es el segmento cilíndrico ubicado entre el ovario y el estigma, a través del cual debe crecer el tubo polínico para fecundar los óvulos.

Fecundación: unión del gameto masculino con el femenino.

Gineceo: parte femenina de la flor, consta de ovario, estilo y estigma.

Homogamia: contrario a dicogamia, donde ambos verticilos florales maduran simultáneamente.

Interesterilidad: situación por la que dos o más cultivares no pueden polinizarse entre sí y producir frutos con semillas.

Intraesterilidad: situación de un grupo de individuos del mismo cultivar en el que ninguno de ellos es compatible con los restantes.

Involucro: conjunto o roseta de brácteas u hojillas que rodea a las flores o inflorescencias.

Monoico: es una especie vegetal que posee ambos sexos (flores masculinas y femeninas), en un mismo eje.

Nucela: célula madre del saco embrional de la flor femenina; tejido del óvulo en que se desarrolla el saco embrionario.

Protándrico: es la liberación del polen maduro, antes de que la flor femenina esté receptiva. Es decir, que el androceo madura antes que el gineceo.

Protogíneo: contrario a protándrico. El gineceo es el que madura primero.

Simpodial: término opuesto a monopódico, donde existe un solo pie o tronco. En una especie simpódica, muere la yema apical y se originan varios brotes.

Sierpe: brote que se origina de tejidos meristemáticos subterráneos y que emerge a distancia del árbol o planta que los origina.

Tubo polínico: crecimiento citoplasmático, en forma de tubo, de la célula vegetal del grano de polen. Es portador de los núcleos fértiles.

Anexo 2. Calendario de fertilización desde la plantación hasta el quinto año.

Año	Mes aplicación	Dosis de fertilizante aplicado por ha (*)
1 (Plantación, 2001)	Octubre	11 Kg de cal + 28 Kg de mezcla 1**
2	Junio	42 Kg de mezcla 2**
	Agosto	42 Kg de Supernitro 30***
	Septiembre	50 Kg de Nitrato de Potasio***
3	Agosto	28 Kg de Supernitro 35*** + 50 Kg de cal + 12 Kg de Muriato de Potasio***
	Septiembre	28 Kg de Supernitro 30
	Noviembre	Aplicación foliar de Nutricale y Codifol-K****
	Diciembre	61 Kg de Supernitro 30
4	Mayo	Aplicación foliar de Solubor****
	Agosto	12 Kg de Sulfomag*** + 8 Kg de Muriato de Potasio*** + 70 Kg de Superfosfato Triple*** + 50 Kg de Hidróxido de Calcio***
	Septiembre	106 Kg de Supernitro 30
	Octubre	50 Kg de cal***
	Noviembre	28 Kg de Supernitro 30
5	Agosto	56,7 Kg de Mezcla 3**
	Noviembre	107 Kg de Supernitro 25***

* 1 ha = 277 árboles.

** Mezclas comerciales:

- Mezcla 1: 26 U N + 14 U K₂O
- Mezcla 2: 27 U N + 24 U K₂O + 49 U CaO
- Mezcla 3: 43 U N + 94 U P₂O₅ + 87 U K₂O + 19 U MgO + 20 U CaO

*** Nombres comerciales de mezclas de nutrientes:

- Cal (Carbonato de Calcio, CaCO_3): 91 U CaCO_3 equivalente + 3 a 6 U Ca(OH)_2 + 1.5 a 2 U yeso + 0.8 a 1.8 U MgO.
- Supernitro 30: 35 U N
- Supernitro 35: 35 U N
- Supernitro 25: 25 U N
- Sulfomag: 22 U K_2O + 22 U S + 18 U MgO
- Superfosfato Triple (SFT): 46 U N + 20 U CaO + 1 U S
- Muriato de Potasio (KCl): 60 U K_2O
- Nitrato de Potasio (KNO_3): 16 U N + 44 U K_2O
- Hidróxido de Calcio (CaOH): Hydroal (con una neutralización de 135% con respecto a la cal Soprocal con base 100).

**** Nombres comerciales de mezclas foliares:

- Codifol-K: 10 g K/ Kg (10% K).
- Solubor: 20,8 U B ((250 g/ 100 L de agua en una dosis que depende de la masa foliar existente y está alrededor de 1,5 Kg/ha).

Anexo 3. Cantidad de frutos/inflorescencia/tratamiento.

Tratamiento	Cantidad de frutos			Total
	1/inflorescencia	2/inflorescencia	3/inflorescencia	
AZUL	15	22	9	46
BLANCO	22	(6 vanos)	(2 vanos)	(9 vanos)
		36	27	85
MEZCLA	(1 vano)	(7 vanos)	(5 vanos)	(13 vanos)
	2	6	6	14
		(1 vano)	(1 vano)	(2 vanos)

Anexo 4. Análisis de varianza (ANOVA) de la cantidad de frutos/inflorescencia.

ANOVA para el promedio de altura y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	17,9913	2	8,99567	4,86	0,0101
Dentro de los Grupos	151,632	82	1,84917		
Total (Corr.)	169,623	84			

ANOVA para el promedio de ancho y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	12,4182	2	6,20911	3,57	0,0326
Dentro de los Grupos	142,637	82	1,73948		
Total (Corr.)	155,055	84			

ANOVA para el promedio de grosor y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	0,325184	2	0,162592	0,10	0,9007
Dentro de los Grupos	127,337	82	1,55289		
Total (Corr.)	127,662	84			

ANOVA para el promedio de perímetro y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	52,3879	2	26,1939	2,26	0,1108
Dentro de los Grupos	950,498	82	11,5914		
Total (Corr.)	1002,89	84			

ANOVA para el promedio de peso con cáscara y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	2,46579	2	1,2329	2,09	0,1301
Dentro de los Grupos	48,3495	82	0,589628		
Total (Corr.)	50,8153	84			

ANOVA para el promedio de peso sin cáscara y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	1,51736	2	0,758682	3,21	0,0453
Dentro de los Grupos	19,3558	82	0,236046		
Total (Corr.)	20,8731	84			

ANOVA para el promedio del porcentaje de cáscara y la cantidad de frutos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	482,878	2	241,439	2,05	0,1354
Dentro de los Grupos	9662,1	82	117,83		
Total (Corr.)	10145,0	84			

Anexo 5. Análisis de varianza (ANOVA) del tamaño y peso de los frutos, por tratamiento.**ANOVA para la altura de los Tratamientos**

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	39,3991	2	19,6995	9,07	0,0002
Dentro de los Grupos	308,3	142	2,17113		
Total (Corr.)	347,7	144			

ANOVA para el ancho de los Tratamientos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	23,1158	2	11,5579	4,64	0,0112
Dentro de los Grupos	353,818	142	2,49167		
Total (Corr.)	376,933	144			

ANOVA para el grosor de los Tratamientos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	42,1402	2	21,0701	10,02	0,0001
Dentro de los Grupos	298,709	142	2,10359		
Total (Corr.)	340,85	144			

ANOVA para el $\arcsin(\sqrt{\text{Perímetro}/100})$ de los Tratamientos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	83,0386	2	41,5193	6,90	0,0014
Dentro de los Grupos	854,703	142	6,01903		
Total (Corr.)	937,741	144			

ANOVA para el peso con cáscara de los Tratamientos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	10,8182	2	5,40912	6,91	0,0014
Dentro de los Grupos	111,157	142	0,782794		
Total (Corr.)	121,975	144			

ANOVA para el peso sin cáscara de los Tratamientos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	2,47385	2	1,23692	2,92	0,0572
Dentro de los Grupos	60,1725	142	0,42375		
Total (Corr.)	62,6464	144			

ANOVA para el porcentaje de cáscara de los Tratamientos

FV	SC	GL	CM	F	P _{valor}
Entre Grupos	1917,75	2	958,877	5,24	0,0064
Dentro de los Grupos	25991,2	142	183,037		
Total (Corr.)	27909,0	144			

LEYENDA: FV = Fuentes de variación
 SC = Suma de cuadrados
 GL = Grados de libertad
 CM = Cuadrado medio

Anexo 6. Gráficos de las variables analizadas.

Gráfico 1. Variables de tamaño por tratamiento.

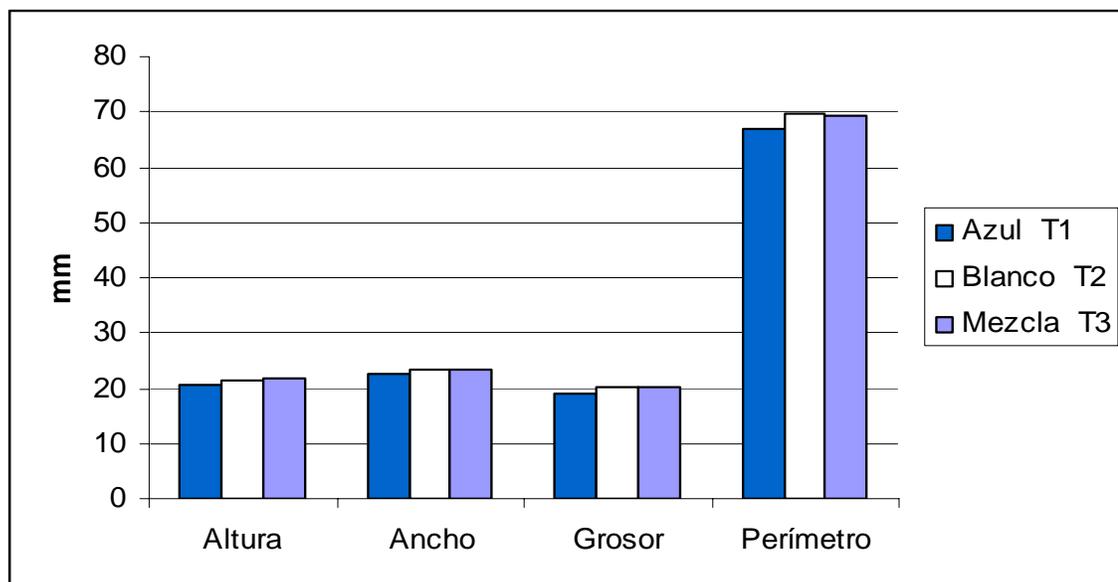


Gráfico 2. Variables de peso por tratamiento.

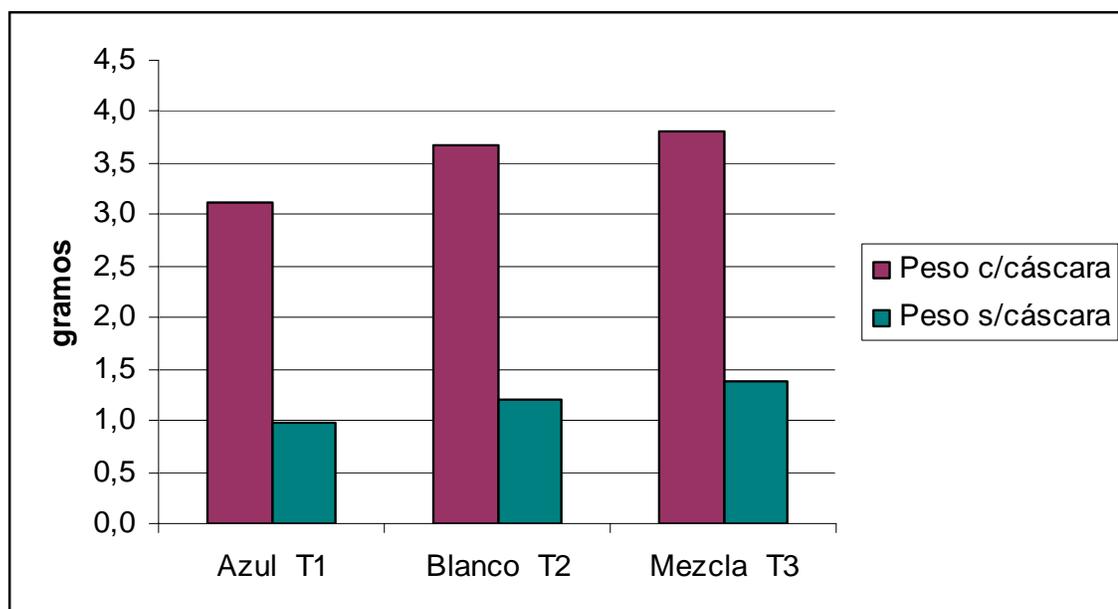
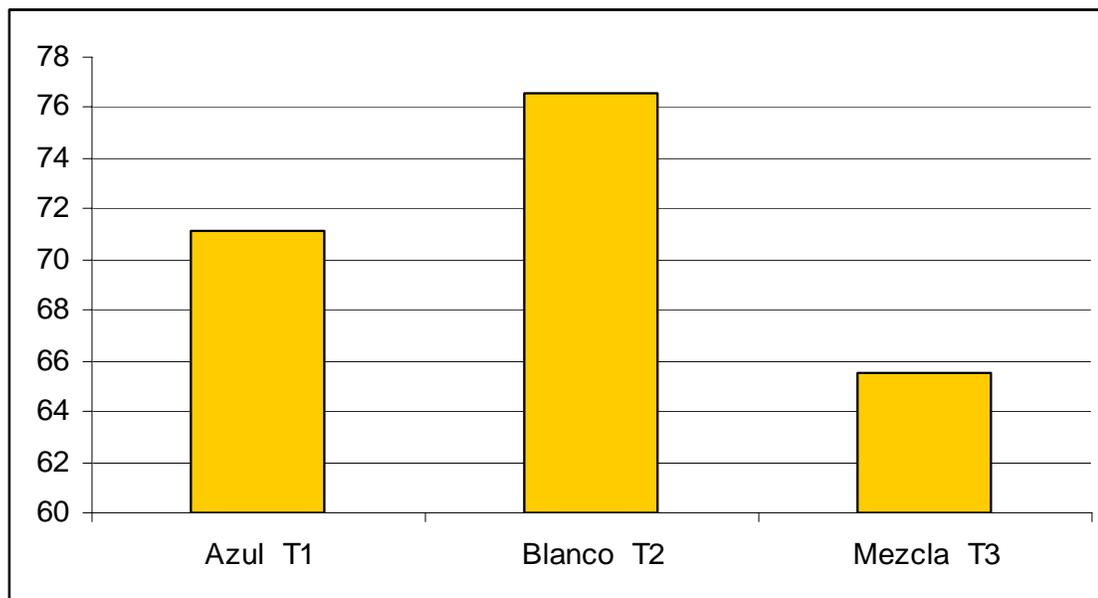


Gráfico 3. Porcentaje de cáscara por tratamiento.



Anexo 7. Cuadro resumen estadístico de los parámetros evaluados por tratamiento.

Parámetro	Tratamientos		
	Azul	Blanco	Mezcla
Altura	20,42 ± 1,54	21,40 ± 1,45	21,97 ± 1,36
Ancho	22,40 ± 1,67	23,39 ± 1,55	23,23 ± 1,41
Grosor	19,19 ± 1,42	20,37 ± 1,49	20,11 ± 1,26
Perímetro	66,91 ± 2,93	69,59 ± 1,19	69,50 ± 2,18
Peso con cáscara	3,11 ± 0,81	3,68 ± 0,90	3,81 ± 1,00
Peso sin cáscara	0,98 ± 0,61	1,21 ± 0,66	1,39 ± 0,70
% de cáscara	71,14 ± 15,65	76,54 ± 12,00	65,56 ± 14,84