



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

EL AVELLANO EUROPEO EN CHILE

Una década de recopilación e investigación



ISSN: 0717-4829

Editor: Miguel Ellena D.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

EL AVELLANO EUROPEO EN CHILE

**Una década de recopilación e
investigación**

EDITOR:

Miguel Ellena D.
Ingeniero Agrónomo, Dr.

2018. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional
INIA Carillanca. Km 10 camino Cajón - Vilcún.
Fono: (56-45) 2217100, Casilla 58-D, Temuco - Chile

Inscripción N° 294.248
ISBN: 978-956-7016-48-8
ISSN: 0717-4713

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin permiso
del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA),
Ministerio de Agricultura.

Comité Editor:

Jaime Mejías B., Ing. Agrónomo Ph.D
Gabriel Sellés V., Ing. Agrónomo, Ph.D
Alesandro Roversi, Ing. Agrónomo, Dr.
Jorge Díaz S., Ing. Agrónomo, Dr.
Adolfo Montenegro B., Ing. Agrónomo M.Sc.
Lilian Avendaño F., Periodista Mg. en Comunicación Estratégica

Editor de Textos: Miguel Ellena D.
Diseño y Diagramación: Ramón Navarrete Díaz
Impresión: Imprenta América.
Cantidad Ejemplares: 300.

Temuco, Chile 2018

Tabla de Contenidos

| | |
|--|------------|
| Introducción | 5 |
| Capítulo 1 Historia, origen, distribución geográfica, taxonomía y características botánicas | 7 |
| Capítulo 2 Requerimientos edafoclimáticos | 45 |
| Capítulo 3 Establecimiento | 61 |
| Capítulo 4 Manejo del suelo | 91 |
| Capítulo 5 Fertilización | 113 |
| Capítulo 6 Riego | 153 |
| Capítulo 7 Poda y sistema de conducción | 197 |
| Capítulo 8 Variedades y portainjertos | 221 |
| Capítulo 9 Propagación | 267 |
| Capítulo 10 Mejoramiento genético | 305 |
| Capítulo 11 Protección del cultivo | 325 |
| Capítulo 12 Polinización | 371 |
| Capítulo 13 Utilización y transformación industrial | 399 |
| Capítulo 14 Conclusión | 423 |



INTRODUCCIÓN

El avellano europeo (*Corylus avellana* L.) es una nueva alternativa productiva en la actualidad para productores e inversionistas en la zona centro sur y sur de Chile, con fuertes incrementos de superficie plantada desde las regiones del Maule a Los Lagos. La mayor superficie establecida y crecimiento del rubro se encuentra en la zona centro sur, debido a sus mejores condiciones climáticas que han permitido expresar un mayor potencial productivo. En consonancia con lo anterior, esta especie frutal es de gran relevancia para el sur del país, siendo un rubro clave para el desarrollo económico y social de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

El interés por el cultivo de avellano europeo en las zonas centro sur y sur del país se demuestra concretamente con el incremento de la superficie establecida a nivel nacional que actualmente supera las 19 mil hectáreas plantadas. La mayoría de los huertos se encuentran en fase de formación (1 a 5 años) y un menor porcentaje en etapa de producción, no alcanzando aún su máximo nivel productivo. Ello se logra a partir del noveno a décimo año de establecido el cultivo, e incluso en años posteriores dependiendo de la zona agroecológica, variedades y nivel de tecnología utilizada. Estos antecedentes se basan en los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), particularmente en el Centro Regional de Investigación INIA Carillanca (comuna de Vilcún, Región de La Araucanía) e INIA Quilmapu (comuna de Chillán, Región del Bío-bío y Ñuble), además de información proveniente de productores de avellanas europeas en Chile.

La oferta chilena de avellanas es aún baja comparada con aquella proveniente de otros países productores como Turquía, Italia, Estados Unidos, Georgia, Azerbaiján y España, que actualmente son los principales productores de esta especie frutal a nivel mundial. No obstante, una vez que los huertos se encuentren en pleno régimen productivo, Chile podría transformarse en uno de los principales productores y oferentes del rubro a nivel mundial. En la actualidad se exporta principalmente avellanas con cáscara, tanto para el consumo directo como para transformación industrial. A futuro, con el incremento en los volúmenes producidos, el país deberá destinar parte importante de su producción de fruta a la transformación industrial para elaboración de materias primas de alta calidad, orientada a la industria alimentaria, como la fabricación de productos terminados que permitan

agregar valor y mayor competitividad a la industria del avellano europeo en Chile. Por ello, el desarrollo tecnológico del cultivo es fundamental para posicionar al país entre los líderes del rubro a nivel mundial.

INIA Carillanca junto a productores y empresas asociadas, con el apoyo sostenido de Innova Corfo y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), ha logrado generar tecnologías de vanguardia para su incorporación en los sistemas productivos actuales y así proporcionar información actualizada sobre este cultivo a inversionistas, productores, asesores, estudiantes y público en general.

Se espera que la información técnica y de mercado presentada en este libro contribuya a mejorar los niveles productivos y calidad de la fruta, con el fin de posicionar a Chile como uno de los mayores productores y oferentes de avellanas europeas y de productos alimentarios derivados de esta fruta seca para los mercados internacionales.



CAPÍTULO 1

HISTORIA, ORIGEN, DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA, TAXONOMÍA Y CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.

1.1. Historia del cultivo

El avellano es una de las principales especies arbóreas que han colonizado la tierra luego de la última glaciación. Actualmente está presente en la mayoría de las zonas templadas del hemisferio boreal, en Japón, China, Manchuria, Tíbet, Cáucaso, Europa y norte de América (Köksal, 2002).

El avellano ha sido uno de los principales frutales utilizados desde tiempos prehistóricos (Gökirmak, *et al.*, 2009) y cultivado por el hombre para satisfacer sus necesidades alimentarias. El lugar y tiempo de su domesticación no es conocido, sin embargo existen antecedentes que era cultivado por los romanos para su consumo (Bocchacci y Botta, 2009). Se cree que los avellanos existían en China desde el siglo 29 A.C. Teofrasto (372-287 A.C.) reportó que este frutal de nuez era cultivado en Anatolia en los siglos 3 y 4 A.C. mencionando que encontró una pequeña avellana (400 años A.C.) en la zona norte de Anatolia a la que denominó "nuez del Pontus". También este mismo autor en su libro de agricultura denominó a las avellanas cultivadas como nuez "heraklit". Plinio, a su vez, señaló en su libro "Historia Naturalis" que los avellanos cultivados se denominaron como "Nuez Pontus", debido a que fueron primeramente traídas desde las costas del Pontus (costas del Mar Negro). Por su parte, el escritor romano Cato reportó 4 diferentes especies de avellano en su obra titulada "De re Rustica" (Ilhami, 2002).

Teofrasto fue uno de los principales escritores de la antigüedad que estableció las características que diferencian los avellanos silvestres de los cultivados. En sus escritos señaló que este frutal se puede multiplicar mediante hijuelos basales, seleccionando de esta manera las mejores plantas respecto a características de frutas y producción. Aun cuando el cultivo del avellano se remonta históricamente a tiempos pasados, en la actualidad el número de cultivares es limitado debido a la selección realizada por el hombre (Kasalpligil, 1972).

No obstante, en el último tiempo, producto de programas de mejoramiento genético en algunos países europeos, y particularmente en Estados Unidos se han licenciado nuevas variedades, muchas de ellas aún en etapa de evaluación, especialmente aquellas más recientes en Chile. Es interesante destacar que, en las últimas décadas, la comunidad científica ha tenido mayor interés en el rescate, colección y uso del germoplasma de avellano europeo, particularmente en programas de mejoramiento genético (Bacchetta *et al.*, 2009; Caramiello *et al.*, 1994; Mehlenbacher, 2009; Rugini *et al.*, 2010a; Rugini *et al.*, 2010b; Kuzmanovic *et al.*, 2009; Rugini y Cristofori, 2011).

1.2. Origen y distribución geográfica

La especie *Corylus avellana* L. es originaria de la Mesopotamia, área geográfica del actual Irán, Irak y Turquía y su distribución es también desde las costas del Atlántico de Europa a Noruega. El límite norte de su distribución incluye las islas Británicas, Escandinavia y regiones del norte de la Federación Rusa. Los límites del norte están en las montañas de los Urales y su límite sur incluye España, Marruecos y Algeria. En el oeste, Italia, Croacia, Serbia, Grecia y Turquía y en el noroeste de Irán y Transcaucasia donde crece como arbusto asociado a otras especies forestales como arce, abedul y roble. Su presencia es mayor en áreas con clima moderado y se encuentra difundido en la cuenca del Mediterráneo, Estados Unidos (Estado de Oregon) y más recientemente en Oceanía y América del Sur, particularmente en las zonas centro sur y sur de Chile (Kasapligil, 1964; Ellena, 2013).



Figura 1. Distribución del avellano europeo en el mundo.

Fuente: elaborado por Plataforma Frutícola INIA Carillanca.

1.3 Taxonomía, características morfológicas y biológicas

El avellano europeo, género *Corylus*, pertenece a la familia de las Betulaceae orden de las Fagales. Todas las especies son monoicas y polinizadas en invierno a través del viento (Lagerstedt, 1979). El número de cromosomas del género es $2n=2x=22$ (Thompson *et al.*, 1996). Los taxonomistas han descrito alrededor de una quincena de especies diferentes. La mayoría de las variedades de avellano pertenecen a la especie *Corylus avellana* L., y se encuentran difundidas por Europa, Asia Menor, el Cáucaso y los Urales como ya se indicó. A la especie *Corylus avellana* L., pertenecen las variedades de avellano actualmente cultivadas y algunos híbridos con *Corylus maxima* Miller.

Corylus avellana vive en forma espontánea como especie del sotobosque en un área muy amplia desde Portugal hasta los Urales por el este, traspasando los Balcanes, Asia menor, Cáucaso y Kazajistán. Al norte, llega hasta los 68° de latitud a lo largo de las costas de Noruega, mientras que al sur se encuentra hasta el Líbano y Siria. Esta especie se caracteriza por su amplia adaptabilidad ambiental. Otras especies que presentan algún interés agronómico son *Corylus colurna* L., presente al estado silvestre desde los Balcanes hasta Afganistán y *Corylus chinensis* Franchet, originario de China central, ambas caracterizadas por presentar un porte arbóreo, no emiten hijuelos y por tal razón son utilizadas directamente o mediante cruzamientos con *Corylus avellana* para obtener portainjertos sin emisión de sierpes para injertar variedades de *Corylus avellana*. Otras especies como *Corylus americana* Waltery, *Corylus cornuta* Marshall de origen norteamericano son utilizados para la obtención de híbridos resistentes a las temperaturas bajas. La especie *Corylus heterophylla* Fisher de origen de Siberia oriental, también ha sido utilizada con el mismo objetivo por su gran resistencia a las bajas temperaturas (Romisondo, 1977).

El avellano europeo es un árbol con crecimiento tipo arbustivo, con ramas de color marrón claro grisáceo que nacen en forma alternada e inserta sobre un plano respecto al eje principal. A nivel del cuello la planta produce numerosos hijuelos que presentan elevado vigor. El árbol en pleno desarrollo, dependiendo de la variedad, alcanza una altura de 3-4 metros con crecimiento arbustivo. Sin embargo, conducido en un solo eje puede alcanzar 4-6 metros de altura, particularmente en variedades vigorosas como Barcelona y otras, como ocurre en plantaciones en Estados Unidos (Mehlenbacher, 1991), en países europeos y en Chile (Ellena, 2013).



Foto 1. Desarrollo radicular de árbol de avellano europeo, cv. Barcelona (7 años de edad), bajo condiciones de riego tecnificado. Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 2. Desarrollo radicular del árbol de avellano europeo, cv. Barcelona (4 años de edad), bajo condiciones de secano. Gorbea, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

1.4 Sistema aéreo

1.4.1 Hábito de crecimiento

La tipología del árbol del avellano europeo es diversa, existiendo los siguientes hábitos de crecimiento: muy erecto (Daviana); erecto (Butler, San Giovanni, Pautet, Segorbe); semi erecto (Tonda di Giffoni, Tonda Gentile delle Langhe, Tonda Romana, Negret, Ennis); expandido (Morel, Tombul); caído-péndulo (Imperiale di Trebizonda, Palaz, *Corylus avellana* var. péndula) y torcido (*Corylus avellana* var. Contorta), (Ellena, 2013).



Foto 3. Variedad Daviana, con hábito de crecimiento muy erecto (derecha).

Fuente: INIA Carillanca



Foto 4. Variedad San Giovanni, con hábito de crecimiento erecto.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 5. Variedad Tonda di Giffoni (izquierda) con hábito de crecimiento semi-erecto, y variedad Barcelona (derecha), con hábito de crecimiento expandido.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 6. Especie *Corylus contorta*, de crecimiento "torcido" de los brotes.

Fuente: Dr. Gian Luca Malviccini, Italia

1.4.2. Vigor del árbol

El vigor de los árboles es un factor de tipo genético y por tanto variable entre las diferentes variedades. Los grados de vigor en avellano europeo son: muy bajo (Imperiale di Trebizonda, 101, Rojo); bajo (Negret, Tombul, Tonda Gentile Romana); intermedio (Tonda di Giffoni, Tonda Gentile delle Langhe, Ennis); alto (Nocchione, Pauetet) y muy alto (Butler, San Giovanni, Segorbe, Barcelona), (UPOV 1979; Bioversity, Fao-Ciheam 2008).



Foto 7. Variedad Imperiale di Trebizonda, con vigor muy bajo (izquierda) y variedad Tonda Romana, con vigor bajo (derecha).

Fuente: INIA Carillanca



Foto 8. Variedad Tonda di Giffoni, con vigor intermedio (izquierda) y variedad Barcelona, con vigor muy alto (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

1.4.3. Densidad de ramas

La densidad de ramas se clasifica en: escasa (Butler, Tonda Gentile Romana); intermedia (Tonda di Giffoni, Tonda Gentile delle Langhe, Negret) y densa (Ennis), (UPOV 1979; Bioversity, Fao-Ciheam 2008).

1.4.4. Emisión de hijuelos

La emisión de hijuelos es una característica varietal clasificada en: ausente (Dundee, Newberg (*Corylus avellana* x *Corylus Corylus*), avellano turco (*Corylus colurna*); muy escasa (Butler, Tonda Bianca); escasa (Daviana, San Giovanni, Ennis); media (Tonda Gentile Romana, Pauetet, Segorbe); alta (Tonda di Giffoni, Barcelona, Tonda Gentile delle Langhe, Negret), muy alta (Imperiale di Trebizonda, Tombul, Palaz), (UPOV 1979; Bioversity, Fao-Ciheam 2008).



Foto 9. Alta emisión de hijuelos cv. Barcelona (izquierda) y escasa emisión de hijuelos cv. Daviana (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

1.5 Yemas

Las yemas son pequeños núcleos meristemáticos subcónicos o semiesféricos que se forman en la axila de las hojas ubicadas a lo largo del eje de los brotes, que contienen un primordio de un eje vegetativo, consideradas como verdaderos brotes en miniatura que dan origen a brotes o flores. La estructura de las yemas es, al principio, muy simple, pero luego es

más compleja debido a la formación de las hojas, de las brácteas y de las pérulas (conjunto de brácteas y sépalos) y a las transformaciones que el ápice meristemático sufre durante su morfogénesis (Baldini, 1992).



Foto 10. Yemas vegetativas y reproductivas vistas en sección longitudinal, variedad Barcelona.

Fuente: INIA Carillanca

En avellano europeo las yemas se encuentran alternadas en los brotes. De las axilas de las hojas se forman las yemas vegetativas, de color verde-marrón y las yemas mixtas que aparecen similares a las anteriores pero presentan en la parte apical un grupo de estilos de color rojo oscuro que emergen de las pérulas. De las yemas se forman brotes, con 4-5 hojas, que portan en su extremidad inflorescencias de 8-10 pistilos bífidos. Además, en la axila de las hojas se desarrollan los amentos, reunidos en grupos de 1 a 5 (Baldini 1992, citado por Ellena, 2013) .



Foto 11. Desarrollo de amentos en la axila de las hojas, variedad Barcelona.

Fuente: INIA Carillanca

1.5.1 Color de las yemas

1. Verde (variedades Tonda Gentile delle Langhe, Segorbe, Du Chilly)
2. Café oscuro (variedad Negret)
3. Rojizo (variedad Merveille de Bollwiller)

1.5.2 Forma

1. Cónica (variedad Merveille de Bollwiller)
2. Ovoide (variedades Negret, Fertile de Coutard)
3. Globular (variedades Tonda Gentile delle Langhe, Du Chilly, Segorbe)



Fotomontaje 1. Color y forma de yemas de distintos cultivares de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) y una selección de *Corylus máxima*.

1.6. Hojas

Las hojas son órganos planos compuestos por dos partes. El pecíolo constituido por vasos provenientes de los brotes, que permiten la comunicación con el tronco o troncos y las raíces, "favoreciendo" el transporte de los nutrientes. El limbo o lámina, que corresponde a la parte plana y delgada, es atravesada por nervaduras provenientes del pecíolo que se ramifican al interior de los tejidos de la lámina. Dicha lámina, está formada por dos partes: el haz y el envés donde existen aperturas denominadas estomas, particularmente numerosos en el envés de la hoja y a veces recubierta por tricomas (pelos). Los estomas tienen la función de permitir el intercambio gaseoso entre los tejidos internos de la hoja y la atmósfera que la rodea. Las dos superficies o caras señaladas presentan una serie de tejidos internos entre los cuales destaca uno con gran cantidad de vacuolas, entre las que circula aire, vapor de agua, entre otros. Las hojas en sección transversal, están constituidas por una epidermis cubierta por una espesa cutícula, el mesófilo, formado a su vez por un tejido en empalizada y el lagunar en el que se abren las cámaras estomáticas (Baldini, 1992).

Las hojas tienen gran importancia en la actividad vegetativa y en la reproductiva de los árboles debido a los numerosos procesos fisiológicos (transpiración, respiración, fotosíntesis, elaboración de fitoreguladores, otros) que en ellas ocurre. Adicionalmente, tienen la capacidad de absorber elementos nutritivos, fitofármacos y fitoreguladores que mediante tratamientos oportunos, llegan a su limbo, particularmente en el envés, a través de la cual dichos compuestos penetran con gran rapidez, (Baldini, 1992, citado por Ellena y Sandoval, 2013).



Foto 12. Haz de la hoja de avellano europeo.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 13. Envés de la hoja de avellano europeo recubierta por tricomas.

Fuente: INIA Carillanca

En todos sus tejidos las hojas presentan un pigmento de color verde denominado clorofila que permite la fotosíntesis, es decir, la función en que el anhídrido carbónico presente en el aire sea transformado en hidratos de carbono. Además, en la hoja se producen las principales transformaciones de los compuestos químicos alimentarios.

1.6.1 Color de hojas

1. Amarillo
2. Ligeramente verde
3. Verde
4. Verde oscuro
5. Rojo verdoso
6. Rojo

Los colores son determinados en la parte axial, cuando los brotes se encuentran lignificados, antes del período de cosecha.

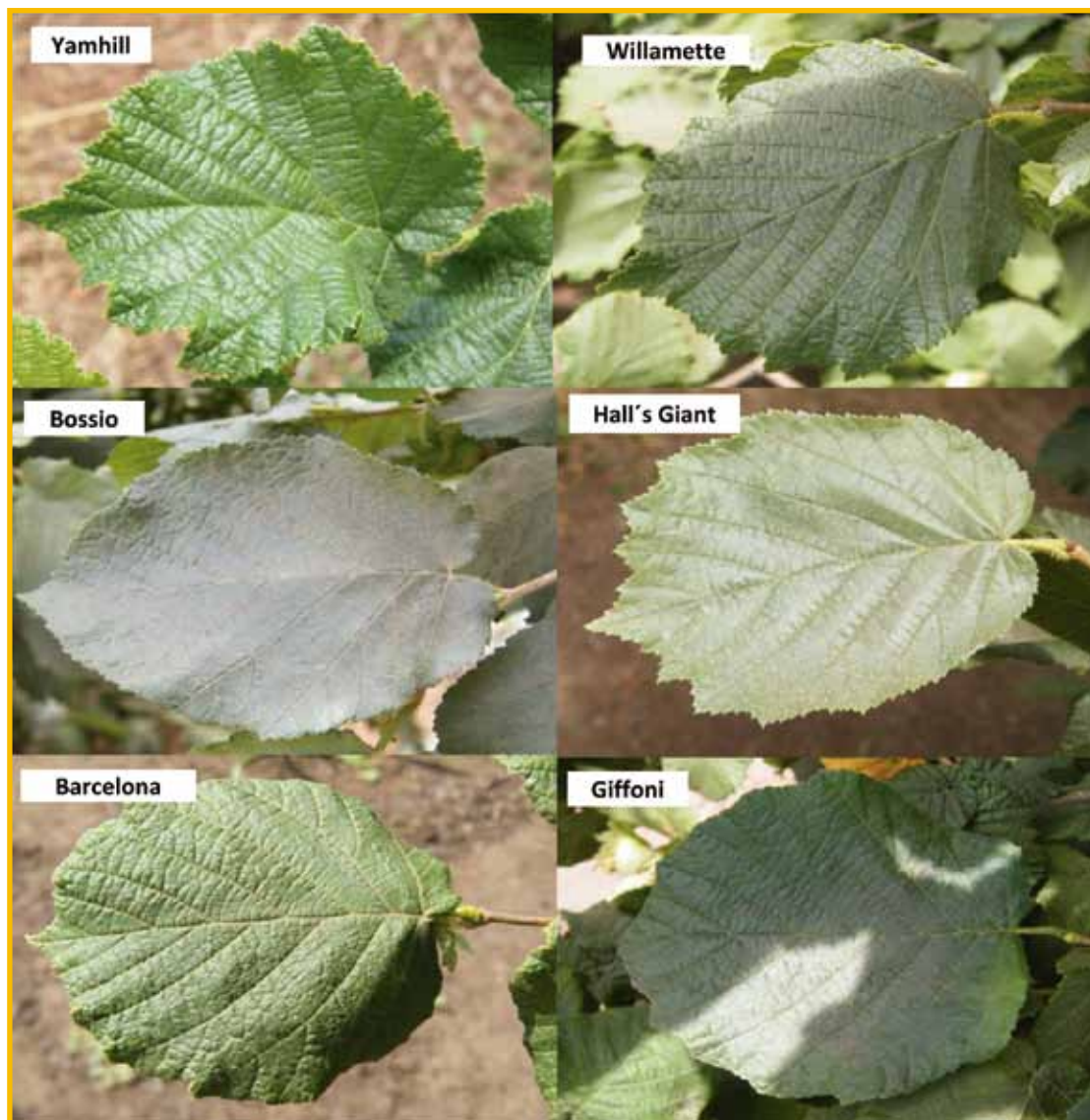


Foto 14. Hoja de color rojo, *Corylus maxima*.

Fuente: INIA Carillanca

1.6.2 Forma de la hoja

1. Elíptica (variedad Merveille de Bollwiller)
2. Ovalada (variedad Du Chilly)
3. Redondeada (variedades Tonda di Giffoni, Negret, Segorbe).



Fotomontaje 2. Color y forma de hoja de algunos cultivares de avellano europeo.

Fuente: INIA Carillanca

1.7 Flores

Según la teoría esporofítica, las flores son brotes transformados con función reproductiva y los elementos que las componen corresponden ontogenéticamente a las hojas.

1.7.1 Descripción de los órganos florales

El avellano europeo es una especie monoica, es decir en el mismo árbol tiene flores masculinas y femeninas agrupadas cada una de ellas en inflorescencias. No obstante, presenta autoesterilidad y dicogamia, con falta de sincronización entre la liberación del polen desde los amentos (flores masculinas) y la receptividad del estigma (flor femenina) en la misma variedad. La autoesterilidad hace estrictamente necesaria la asociación con variedades polinizadoras para lograr rendimientos satisfactorios. Por ello, se deben establecer en un mismo huerto diversas variedades genéticamente compatibles con la variedad principal y que florezcan de manera simultánea. De modo complementario, también se puede recurrir al empleo de la polinización asistida mediante aplicación de formulados tanto líquidos como en seco con polen genéticamente compatible (Germain, 1994, citado por Ellena y Sandoval, 2013).

1.7.1.1 Flores masculinas

Las flores masculinas están dispuestas en amentos cilíndricos, de 4 a 6 cm de longitud, colgantes, amarillentos y ubicados hacia la parte externa del brote. Los amentos con su conformación y disposición péndula, facilitan la dispersión de polen en el aire. Cada flor masculina tiene una escama trilobulada, en cuya cara interna se insertan 8 estambres y sin restos de pistilo. Las escamas son algodonosas, de color verde claro y terminadas en punta (acuminado). Los amentos están formados por muchas flores masculinas apétalas (sin perianto), que oscilan entre 130 a 260. La yema que da origen a la inflorescencia es simple, lateral, aparece en las axilas de las hojas en pleno verano, pero madura durante el otoño e invierno sucesivo. Cada uno de los amentos produce alrededor de un millón de granos de polen de pequeñas dimensiones (24-40 μ m), que son transportados por el viento hacia los árboles circundantes, llegando a las flores femeninas a los estigmas (Germain, 1994, citado por Ellena y Sandoval, 2013).

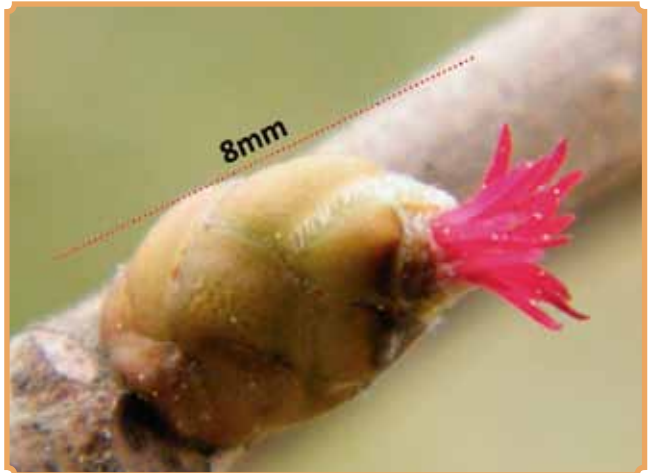


Foto 15. Flor masculina (ament), en fase de emisión de polen (izquierda) y flor femenina receptiva (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

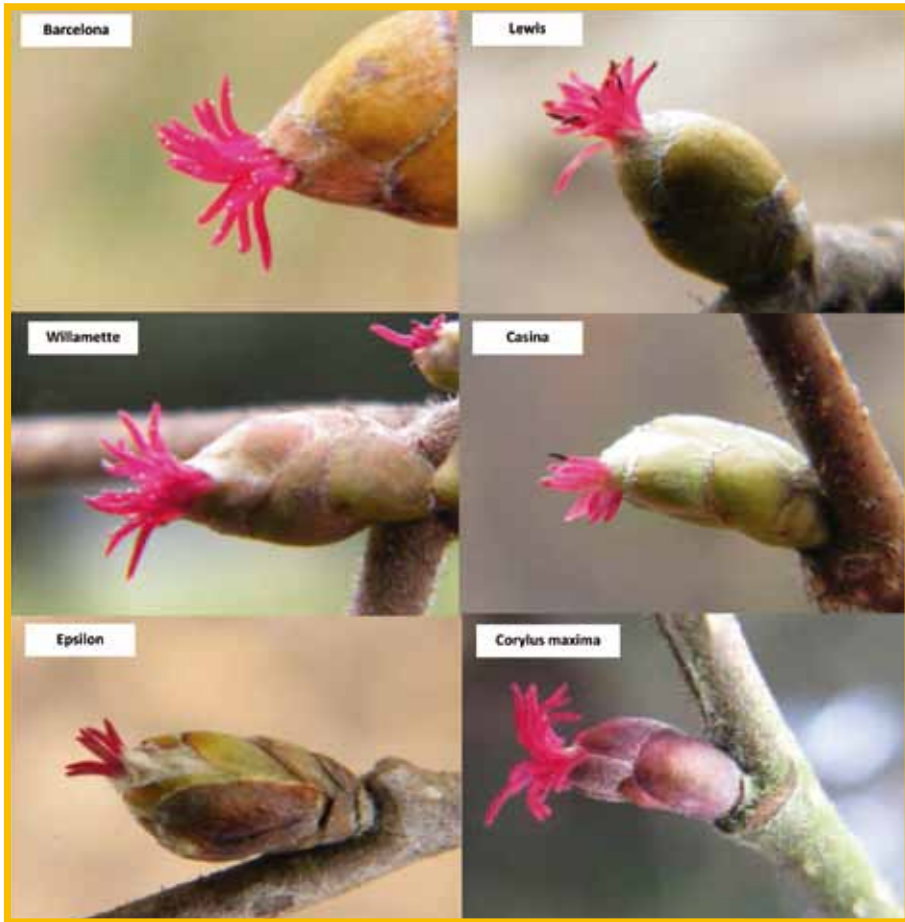
1.7.1.2. Flores femeninas

Las flores femeninas se encuentran usualmente ubicadas en yemas terminales o secundarias. Las yemas con flores femeninas son muy pequeñas y su posición es perpendicular a la rama (ver fotomontaje 2). Estas flores (1-5) se encuentran agrupadas en la terminación de las ramillas laterales, formando glomérulos escamosos de los que sobresalen los estigmas rojizos, dos por cada pistilo. Los glomérulos son yemas mixtas formadas por una parte basal vegetativa y otra parte fértil situada al extremo y formada por 4 brácteas, que poseen en sus axilas dos flores femeninas desprovistas de pétalos. Las flores femeninas están ubicadas hacia la zona apical de las ramillas o brotes laterales del año en ramas de una temporada. Tienen aspecto muy semejante a las yemas vegetativas (Germain, 1994, citado por Ellena y Sandoval, 2013).

En invierno se reconocen al momento de la floración, cuando en sus extremos aparecen los estigmas de color rojo vivo como ya se mencionó. El glomérulo está constituido por un conjunto de 8 flores femeninas. Cada una de ellas consta de dos estilos que presentan una superficie estigmática muy desarrollada. De acuerdo a la posición que ocupan en la ramilla se pueden distinguir dos tipos de glomérulos: los insertos en la misma rama y los que se ubican al pie del amento. Normalmente estos últimos son más pequeños y fructifican menos. Cabe destacar que estos órganos en el período de antesis, durante el transcurso de la polinización (mediados de junio-fines de agosto), no presentan trazas de corola y ovarios. Lo anterior, se debe a que los óvulos se forman posteriormente entre fines de septiembre y fines de octubre. En relación a los sacos embrionales, en la zona sur de Chile se disponen entre mediados de noviembre y mediados de diciembre (Ellena y Sandoval, 2013).

1.7.1.3 Color del estigma

1. Amarillo pálido (selección OSU 899.010, Universidad estatal de Oregon, Estados Unidos).
2. Rosado (variedad San Giovanni)
3. Rojo (variedades Tonda di Giffoni, Tonda Gentile delle Langhe, Barcelona, Ennis)
4. Rojo púrpura (variedades Negret, Merveille de Bollwiller).



Fotomontaje 3. Estigma receptivo de distintos cultivares de *Corylus avellana* y una selección de *Corylus máxima*.

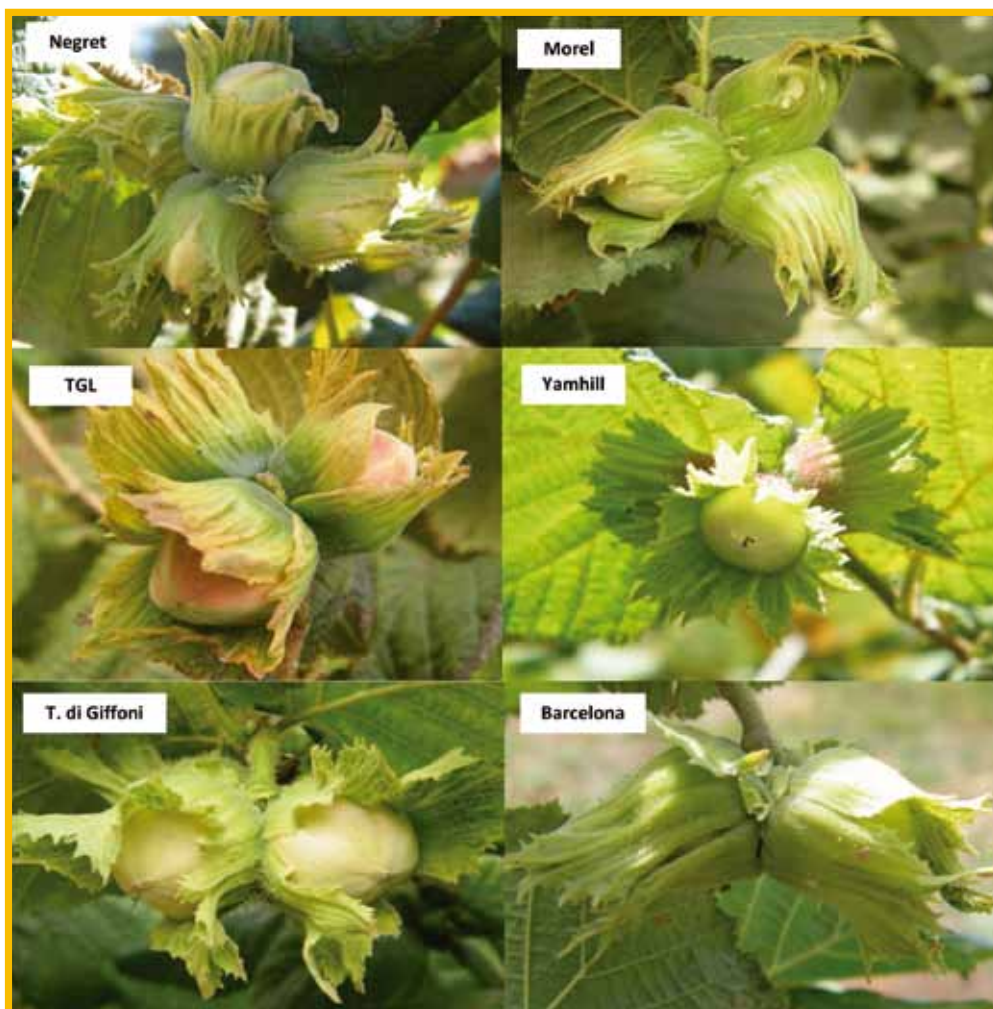
Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

1.8 Morfología del involucre

Las variedades de avellano europeo muestran diferencias en la morfología de sus involucros (conjunto de brácteas colocadas en la base de una flor abrazándola o envolviendo) permitiendo identificar los cultivares. Los involucros de color verde que contienen las avellanas están compuestos por una o dos hojas cilíndricas. Los márgenes de los involucros son levemente o profundamente aserrados. Dependiendo de las especies y variedades, los involucros cubren completamente o parcialmente los frutos. Los involucros de las variedades de países europeos y Estados Unidos como Barcelona, Tonda Gentile delle Langhe, Tonda Romana, Tonda di Giffoni son abiertos y cortos con tamaños similares a los frutos. A la maduración los involucros se abren y permiten la caída de los frutos al suelo. Este carácter permite la cosecha mecanizada de las avellanas desde el suelo, a diferencia de las variedades turcas, cuya cosecha se realiza manualmente (Germain, 1994, citado por Ellena y Sandoval 2013).

1.8.1 Tamaño del involucre

1. Corto (variedades Du Chilly, Ennis)
2. Medio (variedad Negret)
3. Largo (variedades Camponica, Montebello, Morel, Mortarella, Tonda Gentile delle Langhe, Tonda Gentile Romana, San Giovanni)
4. Muy largo (variedades Imperiale di Trebizonda, Tonda di Giffoni, Tombul).



Fotomontaje 4. Tamaño del involucre de algunos cultivares de avellano europeo.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca



Fotomontaje 5. Forma de los involucros de diferentes variedades de *Corylus avellana* y una selección de *Corylus máxima*.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

1.8.2 Márgenes del involucre (aserreado)

1. Pequeño (variedades Du Chilly, Ennis, Segorbe, Tombul)
2. Medio (variedad Tonda Gentile delle Langhe)
3. Grande (variedad Negret).

1.9 Fruto

El fruto del avellano corresponde a un aquenio globoso-ovoide, cuyo pericarpio leñoso contiene una semilla comestible rica en aceite y otros compuestos como vitaminas, proteínas, fibra, polifenoles, minerales, entre otros. Dichos frutos están rodeados por un involucre foliáceo de tipo dentado como ya se ha indicado. Las formas son diversas, dependiendo de los cultivares (Köksal, 2002, citado por Ellena y Sandoval, 2013).

1.9.1 Forma del fruto

1. Aplanada (variedad Imperiale di Trebizonda)
2. Globular (variedades Barcelona, Camponica, Montebello, Tonda di Giffoni, Tonda Romana)
3. Cónica (variedad Tombul, Merveille de Bollwiller)
4. Ovoide (variedades Daviana, Negret, Morell, Pauetet)
5. Subcilíndrica corta (variedades Butler, Mortarella, San Giovanni)
6. Subcilíndrica larga (variedades Cosford, Du Chilly).



Fotomontaje 6. Formas de frutos de diversas variedades de avellano europeo.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

1.10 Semilla de avellano europeo

La semilla corresponde a parte del fruto y es una importante fuente de energía con elevado poder nutricional: macronutrientes, buen contenido de proteína, y sobre todo elevada concentración de lípidos.

1.10.1 Rendimiento al descascarado

Este parámetro se define como la relación entre peso de las semillas y peso de las avellanas enteras, se emplea para la evaluación comercial de las partidas de frutos.

1. Bajo (< 43%, variedades Apola, Barcelona, Barrettona, Bearn, Carrello, Nocchione)
2. Medio (> 43%, variedades Camponica, Daviana, Tonda di Giffoni, Tonda Romana, Tonda Gentile delle Langhe)
3. Alto (> 50%, variedades Cosford, Tombul, Sacajawea).

1.11 Ciclo de fructificación

El avellano es una especie monoica y diclina, es decir en el mismo árbol tiene flores masculinas y femeninas agrupadas cada una de ellas en inflorescencias. El ciclo de fructificación comienza con la inducción de las yemas y la diferenciación de los órganos florales, procesos que ocurren en verano en diciembre, enero y febrero, siendo primero para las flores masculinas y luego para las flores femeninas (Ellena y Sandoval, 2013).

1.11.1 Inducción y diferenciación floral

En la zona centro y sur de Chile la inducción floral masculina ocurre entre diciembre-enero y está relacionada con los compuestos hormonales elaborados en las hojas. La floración se desarrolla al invierno siguiente.

La inducción floral femenina ocurre normalmente más tarde que la masculina desde enero a principios de febrero. No obstante, en algunas variedades, dependiendo de las temperaturas existentes, puede preceder a la masculina. Si las ramas del árbol tienen una buena iluminación y una longitud entre 15 y 30 cm, se logra una buena inducción floral femenina. La organización fisiológica de los glomérulos prosigue durante los meses de febrero, marzo y abril, estando todas las flores formadas a principios de mayo.

Durante el verano se produce la diferenciación de los amentos con un progresivo alargamiento y formación de estambres y anteras, en cuyo interior se forman los gránulos polínicos. Estos últimos son transportados a través del viento hacia las superficies estilares de las flores femeninas, constituidas por pistilos, los cuales emergen en invierno desde las yemas.

Cabe destacar que la mayoría de las variedades de avellano europeo son autoestériles. Mediante la fecundación se produce la formación del embrión y de los cotiledones, constituyendo la parte comestible del fruto. En la zona sur de Chile desde fines de enero-febrero las avellanas crecen velozmente y ocurre en su interior el desarrollo de la semilla a partir del tejido medular del ovario que se reduce en un delgado estrato de color rojizo (perisperma) entre la semilla y la cáscara del fruto. La cáscara proviene de la parte externa del ovario y sufre una lignificación de las porciones periféricas con aquellas de conexión con el brote. Alrededor del ovario se desarrollan las estípulas de aspecto cartilaginoso, que forman los involucros del fruto. Los involucros en el caso de variedades de avellano europeo cultivadas en Europa, Oceanía, América del Norte y Sur cubren parcialmente los frutos, que durante su maduración se desprenden y caen al suelo (Ellena, 2013).



Foto 16. Formación de amentos en verano.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

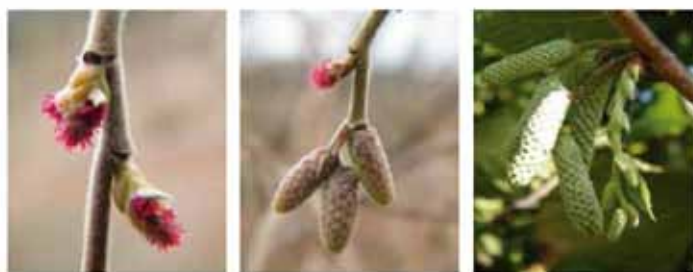
1.11.2 Floración

El reposo invernal de las flores del avellano europeo comienza en marzo y tiene una duración de 2,3 o 4 meses, dependiendo de la variedad. Estos órganos pueden evolucionar de nuevo e iniciar la floración si ocurre un periodo de frío. En general, las necesidades de frío oscilan entre 350-600 horas de frío (temperaturas inferiores a 7°C) para las flores masculinas y entre 600-800 horas de frío para las femeninas. Las floraciones dentro de un mismo árbol ocurren paulatinamente. No todos los amentos ni todos los glomérulos llegan al mismo tiempo a plena floración, fenómeno denominado dicogamia. En el fotomontaje 7 se muestran los estados fenológicos de la flor femenina del avellano (Germain, 1994).



Fotomontaje 7. Estados fenológicos de la flor femenina del avellano europeo (*Corylus avellana* L.) con formación de frutos.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca



Amentos compactos y rígidos



Apertura total de anteras, plena emisión del polen



Elongación y apertura de amentos

Inicio emisión del polen



**Senescencia de los amentos,
término de liberación del polen**

Caída de amentos

Fotomontaje 8. Fenología de la flor masculina (amentos) del avellano europeo.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

La cantidad de flores masculinas y femeninas está relacionada con los siguientes factores: genotipo, longitud de brotes de un año mayor a 15 cm, buena penetración de luz (marco de plantación, poda de producción), máxima superficie foliar, mínimo daño en las hojas por plagas, enfermedades, estrés ambiental y buen estado nutricional.

1.11.3 Polinización y fecundación

Se denomina polinización al proceso de transporte o movilización del polen desde las anteras de las flores masculinas a los estigmas de las flores femeninas, al momento de la antesis (plena floración). El polen del avellano europeo, se caracteriza por ser de tamaño pequeño y muy liviano, facilitando su transporte a grandes distancias a través del viento (polinización anemófila).



Foto 17. Gránulos de polen sobre estigmas de flores femeninas en estado de receptividad.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

El período de polinización es más bien prolongado en avellano europeo. Una cantidad importante de variedades son dicógamas y las protándricas son altamente prevalentes. Se reporta que alrededor del 90% de las variedades en Europa y Estados Unidos son protándricas, es decir, que la flor masculina libera el polen antes que la flor femenina esté receptiva (Mehlenbacher, 1991). En las variedades turcas como Tombul, Incekara, Kalinkara y Badem la floración femenina es más temprana (protógina) que la emisión de polen desde los amentos y más tardía (protándrica) en las variedades Sivri y Palaz (Cabi, 1970; Köksal, 2002).

La polinización de esta especie ocurre en invierno, durante un período en que las condiciones ambientales no son muy favorables para el desarrollo biológico de este proceso. No obstante, el avellano está muy bien adaptado

para realizarlo. Este cultivo presenta gran resistencia al frío, en particular de las flores femeninas que pueden soportar hasta -10°C sin afectarse, mientras que las flores masculinas pueden tolerar hasta -16°C cuando se encuentran en desarrollo y hasta -7°C durante plena floración. Las flores femeninas tienen una gran superficie estigmática (elevada capacidad de retener gran cantidad de granos de polen). El tiempo de receptividad es de aproximadamente un mes y la cantidad de granos de polen permite que ocurra la polinización. Condiciones ambientales como: vientos frecuentes en época de antesis, inexistencia de nieblas y lluvias, tiempo seco, días serenos y temperaturas suaves después de la polinización favorecen este proceso. (Thompson, 1979a; Ellena, 2013).

En términos generales, la mayoría de los cultivares tienen un elevado porcentaje de polen viable (50-80%) (Köksal, 2002). Sin embargo, algunas variedades presentan una translocación heterocigótica a nivel de un cromosoma por causas genéticas, que reduce el porcentaje de polen viable. No obstante, una pequeña cantidad de granos de polen que llegue a la superficie estigmática germina y se inicia sucesivamente el crecimiento del tubo polínico a través de los tejidos en dirección a los ovarios. Su crecimiento es muy rápido, en 4 a 8 días llegan a la base del estilo (Ellena, 2013).

1.11.4 Tubo polínico

Los granos de polen transportados por el viento a los estigmas germinan emitiendo un tubo polínico, desarrollado al interior de los tejidos del estilo. La germinación de los granos de polen ocurre en un par de días, alcanzando la base del pistilo donde se desarrolla el ovario. En la germinación del grano de polen influyen positivamente los iones Ca^{2+} y la cantidad de polen captado por los estigmas (Baldini, 1992).

Este fenómeno es conocido como efecto masa y se traduce en que la germinación y la velocidad de crecimiento de los tubos germinativos se incrementan al aumentar también la densidad de granos existentes en los estigmas. El mecanismo bioquímico de la germinación es bastante complejo y prevé la liberación, por parte de la membrana de cada grano de polen, de proteínas que actúan en muy poco tiempo y la síntesis de otras proteínas y de ácidos nucleicos que intervienen, algunas veces consecutivamente. El polen una vez llegado al estigma se hidrata y libera las denominadas "proteínas de reconocimiento" del tipo del estigma en el que está retenido. Un papel fundamental en el proceso germinativo es el que representan las auxinas (de las que el polen es muy rico) y otros reguladores del crecimiento, entre los que destacan en particular las poliaminas (putrescina, espermitina, espermidina), (Ellena, 2010; Ellena y Sandoval, 2013).

El tubo polínico se forma durante el invierno. Este permanece en estado de latencia y se encuentra protegido en la yema, activándose recién durante la primavera, esperando que se formen los óvulos para ser fecundados. Por ello, el proceso fecundativo se desarrolla en dos tiempos: al principio los granos de polen retenidos en los estigmas germinan y llegan con sus tubos polínicos a la base de los estilos. Posteriormente, una vez terminada la macroesporogénesis, se produce la gamia. Cabe destacar, que entre el período de polinización y fecundación transcurren alrededor de 4 a 5 meses (Ellena, 2013; Köksal, 2002; Olsen, 2013).

La fecundación se produce desde fines de noviembre a mediados de enero, período en que las condiciones climáticas son más favorables. El núcleo germinativo del polen se funde con la ovocélula para originar el embrión, mientras el núcleo vegetativo se une al núcleo secundario para desarrollar el endosperma (Olsen, 2013). Una vez fecundados los óvulos se inicia su desarrollo. Al principio, durante las primeras 3 a 5 semanas después de la fecundación, la evolución del embrión es lenta (Ellena, 2013; Olsen, 2013).

La fecundación puede ser impedida u obstaculizada por diversos factores. La carencia de algunos elementos nutritivos, por ejemplo boro (B) o calcio (Ca), pueden influir negativamente en la germinabilidad del grano de polen. Una insuficiente disponibilidad de nitrógeno o estados de competencia nutricional pueden causar aborto de los ovarios. La falta de horas frío puede provocar también esterilidad debido a alteraciones en el curso de la formación de los órganos reproductivos (Ellena, 2010; Ellena, 2013; Olsen, 2013).

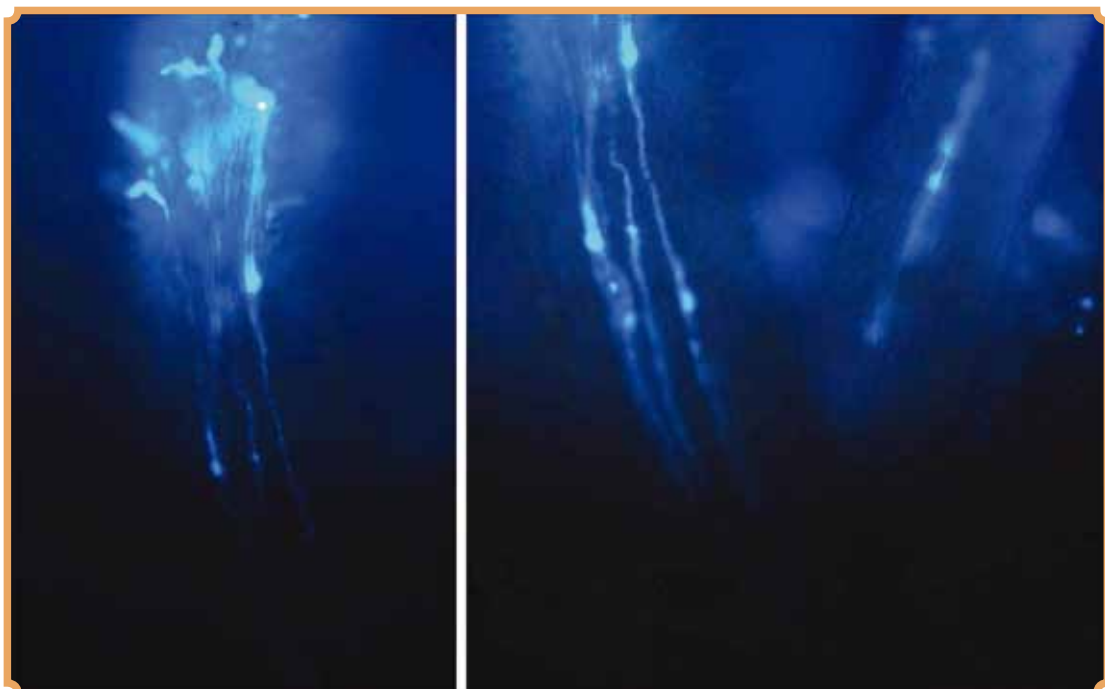
Además, las lluvias persistentes durante la floración pueden lavar los estigmas y provocar la muerte de los granos de polen. El exceso de humedad altera la capilaridad, dilatando e incluso provocando ruptura celular. A los casos de esterilidad citados, todos dependientes de causas climáticas o de manejo agronómico, hay que señalar los provocados por causas genéticas. Como ejemplo, la incompatibilidad entre variedades o autoincompatibilidad.

Las condiciones climáticas son variables en las zonas productoras de avellano europeo, como es el caso de las comunas de Vilcún, Gorbea y Nueva Imperial en la Región de La Araucanía, Chile (Cuadro 1), siendo importante su conocimiento por parte de los productores de esta especie frutal.

Cuadro 1. Condiciones climáticas durante el proceso de polinización en tres áreas de cultivo del avellano europeo en la Región de La Araucanía, Chile. Año 2015.

| Localidad | Meses | Precipitación Acumulada (mm) | Temperatura del Aire Máxima abs. (°C) | Humedad Relativa (%) | Velocidad del Viento (km/h) | Horas Frío (N° de horas) |
|----------------|----------|------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Vilcún | jun-2015 | 231,6 | 15,9 | 91,2 | 6,1 | 270 |
| | jul-2015 | 258,1 | 15,9 | 89,4 | 7,9 | 317 |
| | ago-2015 | 202,0 | 16,9 | 86,0 | 7,9 | 179 |
| Gorbea | jun-2015 | 354,8 | 17,1 | 90,5 | 2,2 | 273 |
| | jul-2015 | 430,2 | 16,1 | 91,5 | 2,9 | 307 |
| | ago-2015 | 346,1 | 17 | 86,5 | 4,3 | 173 |
| Nueva Imperial | jun-2015 | 170,2 | 17,5 | 88,4 | 4,7 | 206 |
| | jul-2015 | 201,9 | 17,9 | 89,0 | 6,5 | 271 |
| | ago-2015 | 202,7 | 17,1 | 84,7 | 5,8 | 166 |

La mayor precipitación acumulada (entre el 15 de junio y 15 de agosto de 2015) corresponde a la comuna de Gorbea (1.131 mm), en contraste con aquella registrada en la comuna de Nueva Imperial cuyo valor es notoriamente inferior (574,8 mm). En esta última se presentarían mejores condiciones climáticas durante el proceso de polinización, debido a que el exceso de agua puede lavar el polen presente en los estigmas.

**Foto 18. Crecimiento del tubo polínico, vital en avellano europeo.**

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

1.11.5 Desarrollo del fruto de avellano europeo

Luego de la fecundación, los frutos crecen rápidamente alcanzando en el transcurso de un mes su tamaño definitivo. El crecimiento y la lignificación del endocarpo (cáscara) ocurren entre fines de enero y principios de febrero. Posteriormente, el embrión evoluciona con rapidez, logrando su volumen definitivo en aproximadamente 2 a 3 semanas, entre mediados de febrero y principios de marzo, dependiendo de la variedad. Inicialmente, los tejidos son ricos en agua, el incremento de materia seca es gradual y constante hasta la cosecha. Los frutos maduros caen desprendiéndose del involucreo y están constituidos por 50-60% de cáscara y 39-50% de semilla, dependiendo de la variedad y de los manejos culturales (Ellena y Sandoval, 2013).



Foto 19. Crecimiento y lignificación de la cáscara del fruto del avellano europeo

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca



Foto 20. Fruto de avellano europeo completamente desarrollado previo a su cosecha.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

La avellana presenta una curva de crecimiento sigmoidea y tres diferentes períodos de desarrollo, tanto en los frutos como en las semillas. El primer estadio se produce a partir de la fecundación, con una duración aproximada de 4-5 semanas; un segundo estadio desde la 5^a a la semana 12, y el tercero desde la semana 14 hasta su completo desarrollo.

1.11.6 Frutos vanos

Las avellanas vanas, sin presencia de semilla, caen al suelo con su involucro previo a la maduración de los frutos. Bajo las condiciones agroecológicas del sur de Chile, los porcentajes de frutos vanos o vacíos son variables (6-10%) dependiendo de los cultivares, inadecuada polinización, condiciones climáticas de la temporada y técnicas culturales. Entre los manejos que pueden incidir sobre el número de frutos vanos se pueden mencionar la poda, déficit hídrico y nutrición. En el caso de la poda, se ha demostrado que la falta de esta práctica para la renovación de madera frutal afecta negativamente la producción con una mayor presencia de frutos vanos (Roversi *et al.*, 2008). Adicionalmente, la carencia de agua puede estar asociada a un elevado porcentaje de frutos con estas características. Los frutos vanos también están relacionados con el tipo de suelo, particularmente con la disponibilidad de potasio de éste. Una adecuada disponibilidad de dicho elemento en el suelo pareciera reducir el número de avellanas vacías. Junto a los factores genéticos y culturales, también los parámetros climáticos juegan un rol importante en este fenómeno. Se ha observado que bajas temperaturas y elevadas precipitaciones durante la fecundación están relacionadas con un alto porcentaje de frutos vanos (Ellena y Sandoval, 2013).



Foto 21. Fruto vano, sin presencia de semilla y pegado al involucro.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

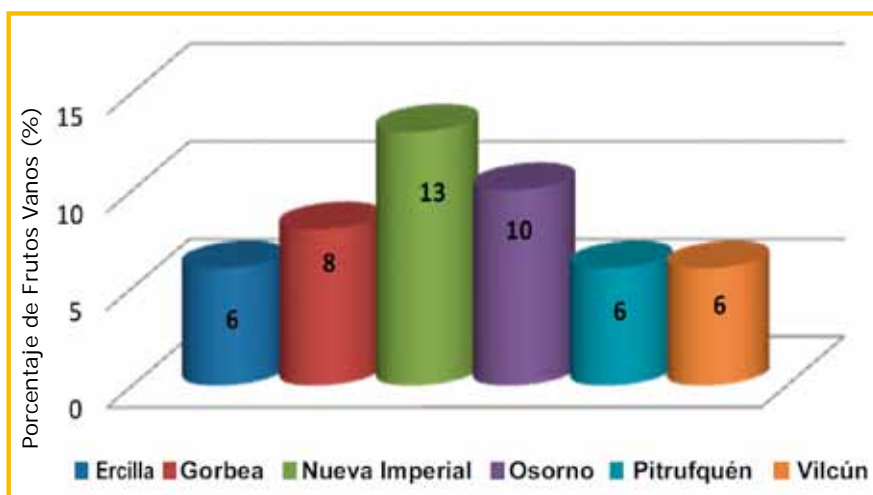


Figura 1. Porcentaje (%) de frutos vanos en seis localidades del sur de Chile. Temporada 2014.

Se aprecia un mayor número de frutos vanos en las comunas de Nueva Imperial y Osorno (Figura 1), debido a fallas en la polinización por exceso de lluvia y viento durante el período de polinización, que afectó el desplazamiento del polen desde los cultivares polinizadores al estigma de la flor femenina de la variedad principal.

1.11.7 Autoincompatibilidad

La mayor parte de las variedades de avellano europeo son autoincompatibles. La incompatibilidad es de tipo esporofítica y controlada por un gen con múltiples alelos (Thompson, 1979a, b, c; Thompson *et al.*, 1996; Germain *et al.*, 1981). El polen de una variedad no puede fecundar a las flores femeninas de la misma variedad. La causa de este fenómeno es de origen genético, controlado por una serie de alelos de un gen denominado S de esterilidad como ya se ha indicado. Dominancia y co-dominancia ha sido observada entre alelos-S, puede ocurrir en el polen, pero solo co-dominancia ha sido observada en el estigma (Mehlenbacher y Thompson, 1988). En la práctica, la autoincompatibilidad ocurre cuando los granos de polen y los tejidos del estilo de un cultivar son portadores de los mismos alelos de incompatibilidad. Por ello, como se menciona posteriormente, se recomienda la presencia de más de un cultivar polinizador genéticamente compatible, que permita cubrir el período de floración femenina de la variedad principal (Ellena, 2010, Ellena *et al.*, 2012; Ellena, 2013).

Un buen cultivar polinizador debe producir una gran cantidad de amentos con abundante producción de polen viable. Adicionalmente, debe emitir o dispersar su polen en el peak de la antesis femenina. Las flores masculinas pueden estar activas a temperaturas más bajas que las flores femeninas (Stritzke, 1962; Bergamini y Ramina, 1968). El overlap del polen y la receptividad del estigma puede variar de año en año y también de acuerdo a

la variedad (Ellena *et al*; 2012, Köksal, 2002). La reducción en rendimiento, por insuficiente polinización, puede minimizarse plantando 2 o 3 cultivares polinizadores con diferentes períodos de liberación del polen. Sin embargo, como las flores femeninas no polinizadas pueden permanecer receptivas entre 2-3 meses, un polinizador que libere polen tarde es más eficaz que uno que emita su polen temprano.

El período de antesis y la duración en que los polinizadores pueden polinizar a la variedad principal debe coincidir para lograr una adecuada polinización. Como la tendencia en alternar los rendimientos en polen es diferente para las variedades, se requieren más de dos cultivares polinizadores en los huertos para lograr una buena polinización y rendimientos adecuados.

Algunos estudios muestran que ciertas combinaciones de cultivares polinizadores producen mayores rendimientos que otras. Por ejemplo, investigaciones realizadas en Turquía han determinado mejores rendimientos para la variedad Tombul polinizada con Incekara y Sivri; Sivri con Tombul y Incekara (Köersal, 2002).

El avellano europeo generalmente tiende a presentar alternancia en la producción, de esta manera se producen anualmente fluctuaciones en los rendimientos. La alternancia en la producción puede ser prevenida mediante una buena polinización y un adecuado manejo agronómico de los huertos, particularmente nutrición, poda y riego (Ellena, 2010 y Ellena, 2013).



Foto 22. Ecotipos polinizadores Azul y Rojo compatibles con cv. Barcelona, con abundante producción de amentos. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

La formación de amentos varía de año en año y depende particularmente de las fluctuaciones en su rendimiento y del crecimiento de los brotes. Adicionalmente, existen diferencias importantes entre cultivares (Mehlenbacher, 1991). En la zona sur de Chile, la mayor producción de amentos se ha observado en la variedad Barcelona y en los ecotipos polinizadores Azul y Rojo.

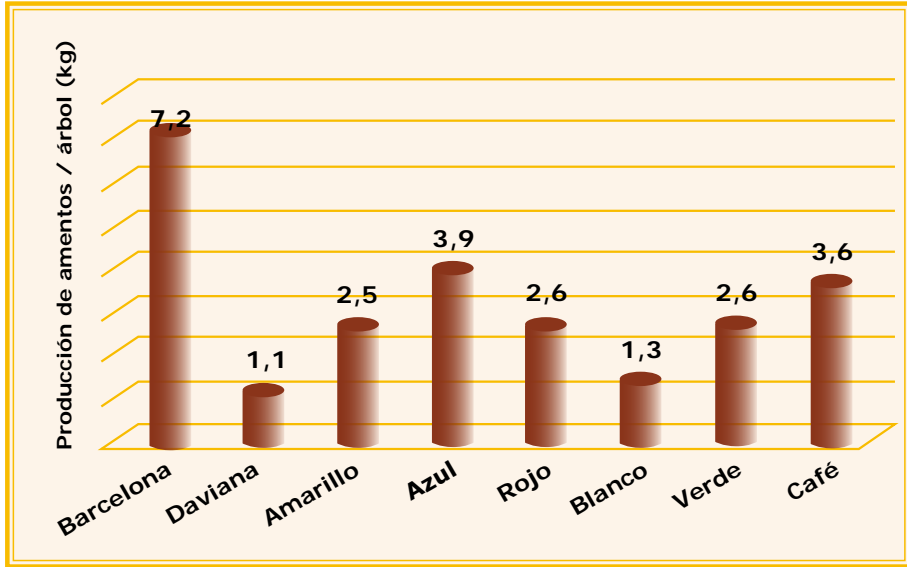
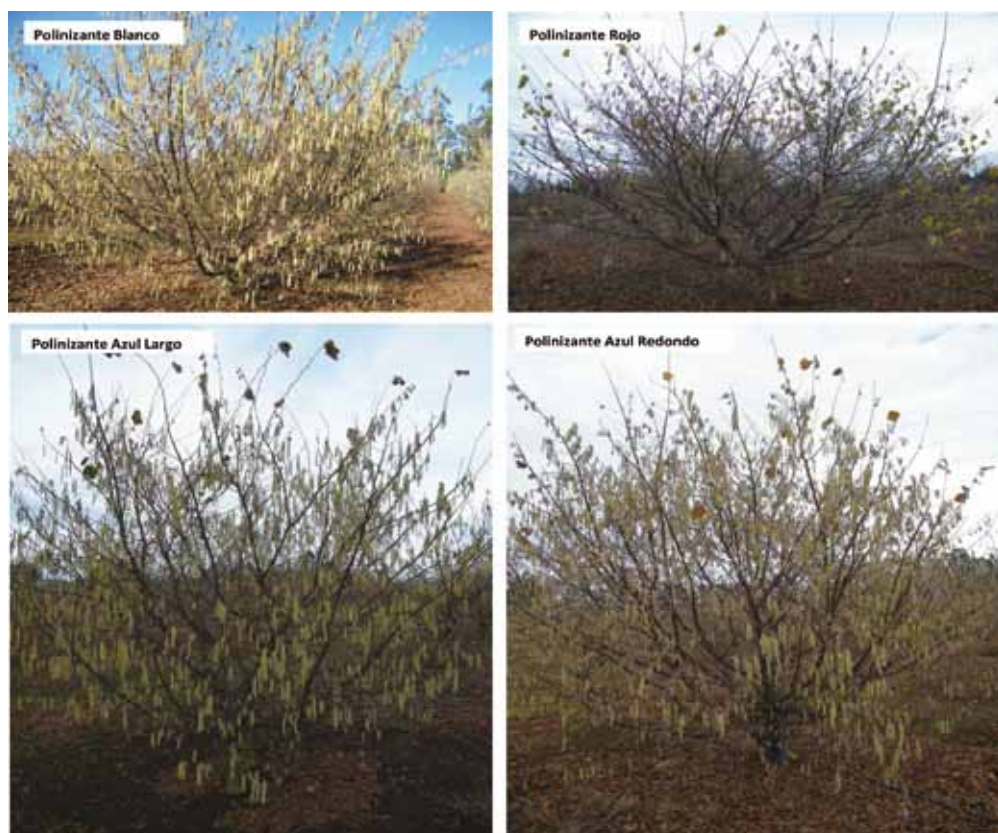


Figura 2. Producción de amentos (kg/árbol⁻¹) en diferentes variedades y ecotipos polinizadoras de avellano europeo.

Cuadro 2. Porcentaje de germinación de polen de diferentes variedades polinizantes de avellano europeo.

| Ecotipos y Variedades Polinizantes | Gránulos de polen (mg g ⁻¹) | Germinación del polen (%) | |
|------------------------------------|---|---------------------------|------|
| | | Temporada | |
| | | 2012 | 2013 |
| Ecotipo 1 | 580 | 65 | 70 |
| Ecotipo 2 | 615 | 11 | 86 |
| Ecotipo 3 | | 11 | 14 |
| Ecotipo 4 | | 9 | |
| Ecotipo 5 | 340 | | 21 |
| Ecotipo 6 | | 58 | |
| Varietal Barcelona | 410 | 24 | 59 |

El porcentaje de germinación del polen varía entre ecotipos (14-86%), determinándose su mayor valor en el ecotipo 2 (86%) en la cosecha 2013.



Fotomontaje 9. Cultivares polinizadores para avellano europeo, cv. Barcelona.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

El período de antesis de las variedades de avellano europeo cultivadas en el sur de Chile puede apreciarse en Cuadro 3.

Cuadro 3. Períodos de antesis masculina y femenina para ecotipos polinizantes y variedades de avellano europeo cultivadas en el sur de Chile.

| Ecotipos y Variedades | Antesis flor masculina | Antesis flor femenina |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Ecotipo Amarillo | 01 julio | 15 junio |
| Ecotipo Azul | 25 junio | 15 junio |
| Ecotipo Blanco | 01 julio | 15 junio |
| Ecotipo Café | 15 julio | 30 junio |
| Ecotipo Rojo | 30 junio | 15 junio |
| Ecotipo Verde | 30 junio | 15 junio |
| Variedad Barcelona | 30 junio | 30 junio |
| Variedad Tonda di Giffoni | 30 junio | 15 junio |

En el capítulo de polinización se analiza con mayor profundidad este tópico y las tecnologías actualmente disponibles.

Referencias Bibliográficas

- Bacchetta, L., Avanzato, D., Botta, R., Boccacci, P., Drogoudi, P., Metzidakis, I., Rovira, M., Silva, A.P., Solar, A., Spera, D., Aramini, M., e B. Di Giovanni. 2009. First results of "Safenut": a European project for the preservation and utilization of hazelnut local genetic resources. *Acta Horticulturae* 845: 55-60.
- Bergamini, A., e A.Ramina. 1968. Contributo allo studio del fabbigsono in freddo del nocciolo (*Corylus avellana* L). *Atti Convegno Nazionale di Studi sul Nocciolo*, Viterbo. p. 445-459.
- Bioversity, FAO-Cihiam 2008. Descriptors for hazelnut (*Corylus avellana* L.). Bioversity International, Rome Italy; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy, International Center for advanced mediterranean agronomic studies, Zaragoza, Spain p55.
- Boccacci, P., and R. Botta. 2009. Investigating the origin of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars using chloroplast microsatellites. *Genet. Resour. Crop Evol.* 56:851-859.
- Cabi, E.O. 1970. Contribution a l'étude du noisetier. La culture en Turquie comparasion avec l'Espagne. *J. Agr. Trop. Appl.* 17:155-170.
- Caramiello, R., Potenza, A., e G. Me. 1994. Caratteristiche merceologiche e biologiche di ibridi di *Corylus avellana* L. (TGL) x *Corylus maxima* Miller. *Acta Horticulturae* 351: 225-231.
- Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. *Boletín INIA* N° 202. 88 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Ellena, M., Sandoval, P., y A. González. 2012. Il boom della coricoltura cilena *Corylus & Co.* Anno III, número 1. p. 21-27.
- Ellena, M. 2013. Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. *Boletín INIA* N° 274. 202 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Ellena, M., y P. Sandoval. 2013. Organografía. p. 27-48. In Ellena, M. (ed.) *Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva.* *Boletín INIA* N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Germain, E.T., L'église, P., et F. Delort. 1981. Analyse du système d'incompatibilité pollinique observe chez le noisetier (*Corylus avellana* L.). Proc. 1er Colloque sur le Recherche Fruitières, Bordeaux, France. p.197-215.

Gökirmak, T., Mehlenbacher, S.A., and N.V. Bassil. 2009. Investigation of genetic diversity among european hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars using SSR markers. Acta Horticulturae 686: 141-147.

Ilhami, A. 2002. Turkish hazelnut cultivars. Ed. Grafics. 131 p.

Kasapligil, B. 1964. A contribution to the histotaxonomy of *Corylus* (Betulaceae). Adansonia 4: 43-90.

Köksal, A.I. 2002. Turkish Hazelnut Cultivars. Hazelnut Promotion Group, Ankara, Turkey. 136 p.

Kuzmanović, L., De Pace, C., and E. Rugini. 2009. Allele segregation at SSR loci and allele traceability for hazelnut accession (*Corylus avellana* L.) from landraces grown in the Latium Region (Italy). Acta Horticulturae 845: 109-114.

Lagerstedt, H.B. 1979. Filberst. In Jaynes R.A. (ed.). Nut tree culture in North America. The Northern Nut Growers Assoc. Or. p. 128-147.

Mehlenbacher, S.A., and M.M. Thompson. 1988. Dominance relationships among S-alleles in *Corylus avellana* L. Theor. Appl. Genet. 76: 669-672.

Mehlenbacher, S.A. 1991. Genetic Resources of Temperate Fruit and nut Crops. Acta Horticulturae 290: 791-836.

Mehlenbacher, S.A. 2009. Genetics resources for hazelnut: state of the art and future perspectives. Acta Horticulturae 845: 33-38.

Olsen, J. 2013. Growing hazelnuts in the Pacific Northwest pollination in nut development. OSU. Oregon State University. p. 1-4.

Romisondo, P. 1977. Aspetti e problema della coltura del nocciolo con particolare riferimento alla biologia fiorale. Origine del nocciolo, specie del gen. *Corylus* e loro importanza culturale. Riv. Ortoflorofruitt. It. 61.

Roversi, A., Malvicini, G.L., Mozzzone, G., and T. Dilmacunal. 2008. A Simple Summer Pruning Trial on Hazelnut. Proc. VIIth International Congress. Acta Horticulturae 845: 367-372.

Rugini, E., e V. Cristofori. 2010a. Luci ed ombre sulla coricoltura. Informazioni dai Georgofili, N° 14.

Rugini, E., Gutiérrez-Pesce, P., e C. De Pace. 2010b. Biodiversità e Miglioramento Genetico. p. 67-88. In Di Barone E., Di Lorenzo R., Sottile, F., Palumbo (eds.). La Biodiversità nell'Arboricoltura Italiana, Atti della giornata di studio, a cura.

Rugini, E., e V. Cristofori. 2011. La coltura del nocciolo nel viterbese: innovazioni tecnologiche e agronomiche nel rispetto della tipicità del prodotto. *Corylus & Co.* p.9-20.

Stritzke, S. 1962. Investigations on the biology of fertilization in hazelnut varieties with special reference to ecological conditions. *Arch. Gartenbau* 10: 573-608.

Thompson, M.M. 1979a. Genetics of incompatibility in *Corylus avellana* L. *Theor. Apply. Genet.* 55:29-33.

Thompson, M.M. 1979b. Incompatibility alleles in *Corylus avellana* L. *Theor. Apply. Genet.* 55: 29-33.

Thompson, M.M. 1979c. Growth and development of the pistillate flower and nut in "Barcelona" filbert. *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* 104:427-432.

Thompson, M.M., Lagerstedt, H.B., and S.A. Mehlenbacher. 1996. Hazelnut. p. 125-184. In Janick, J., and J.N. Moore (eds.) *Fruit Breeding Vol: III, Nuts.* John Wiley & Sons Inc., New York, USA.

UPOV, 1979. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability of hazelnut (*Corylus avellana* L. and *Corylus maxima* Mill). TG/71/3 (online) <http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg-index-numerical.html>

CAPÍTULO 2



REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo

2.1 Clima

El avellano europeo presenta en general una amplia adaptabilidad a las distintas condiciones climáticas, existiendo no obstante diferencias importantes en las diferentes variedades según su origen. Sin embargo, el ambiente óptimo corresponde a aquellas localidades con temperaturas medias anuales entre 12 y 16°C, en las cuales se cumplen las exigencias en frío de las yemas vegetativas con 700-1.200 horas (inferiores a 7°C), que para yemas mixtas con 700 horas y de yemas que dan origen a los amentos (flores masculinas) con 500 horas, existiendo diferencias entre las distintas variedades. Las temperaturas mínimas invernales no deben ser inferiores a -8°C ya que temperaturas más extremas causan daños a nivel de inflorescencias femeninas, existiendo diferencias de importancia entre los distintos cultivares (Köksal, 2002; Ellena, 2013).

En materiales antiguos presentes en el sur de Chile, introducidos del norte de Europa, se ha observado un mayor grado de resistencia al frío. En relación a los tubos polínicos, éstos se desarrollan incluso a temperaturas cercanas a 0°C. Sin embargo, las temperaturas óptimas para su adecuado desarrollo varían entre 10 y 20°C (Köksal, 2002).

En brotación, una vez que han aparecido 2 a 3 hojas desde las pérulas, el nivel de resistencia es de -1°C, por esto las heladas en primavera pueden causar daños severos en los árboles, particularmente en zonas con mayor ocurrencia de ellas en dicho período y en variedades de brotación temprana. No obstante, existen también diferentes niveles de tolerancia entre las variedades. Las temperaturas adecuadas para el desarrollo de la especie varían entre 22-27°C durante el día y de 16-18°C durante la noche. Las temperaturas altas, particularmente superiores a 35°C, aumentan la transpiración y pueden ocasionar el desecamiento de la lámina foliar (Ellena, 2013; Köksal, 2002).

El avellano europeo puede ser cultivado sin riego en aquellas zonas con pluviometrías de al menos 800 mm anuales, con buena distribución durante el año y con períodos secos inferiores al mes. En este sentido, en gran parte de la zona de cultivo de Chile, especialmente en la zona centro sur y sur, se requiere riego para el desarrollo del cultivo de este frutal y alcanzar elevados rendimientos, sobre los 3.000 kg ha⁻¹. Esta especie no tolera las aguas salinas, incluso en zonas costeras con presencia de brisas marinas se han observado daños por sales (Ellena, 2013; Koval, 1972).

Condiciones atmosféricas de brisas suaves y baja humedad ambiental favorecen el transporte del polen desde los cultivares polinizadores a las variedades principales. Las lluvias excesivas en invierno y principios de primavera dificultan la polinización y en otoño la cosecha mecanizada de la fruta. En relación al viento, las brisas ligeras favorecen el movimiento del polen, mientras que vientos fuertes en verano aumentan la transpiración, pueden causar la caída prematura de las avellanas y daños en brotes, particularmente en aquellos no lignificados en pleno crecimiento. Este factor afecta el crecimiento de los avellanos principalmente en sus primeros años al producir doblamiento del eje principal, problemas en la conducción, deformación estructural y muerte de yemas. Adicionalmente, el viento causa un aumento en la demanda hídrica de los árboles. En zonas con ocurrencia frecuente de vientos es recomendable (previo al establecimiento de los huertos) implementar cortinas corta vientos naturales (especies arbóreas) o artificiales (mallas). En el caso de cortinas naturales, se deben privilegiar aquellas especies de rápido crecimiento, que no interfieran con el huerto y que no sean hospederas de plagas potenciales para el avellano (Ellena, 2013).

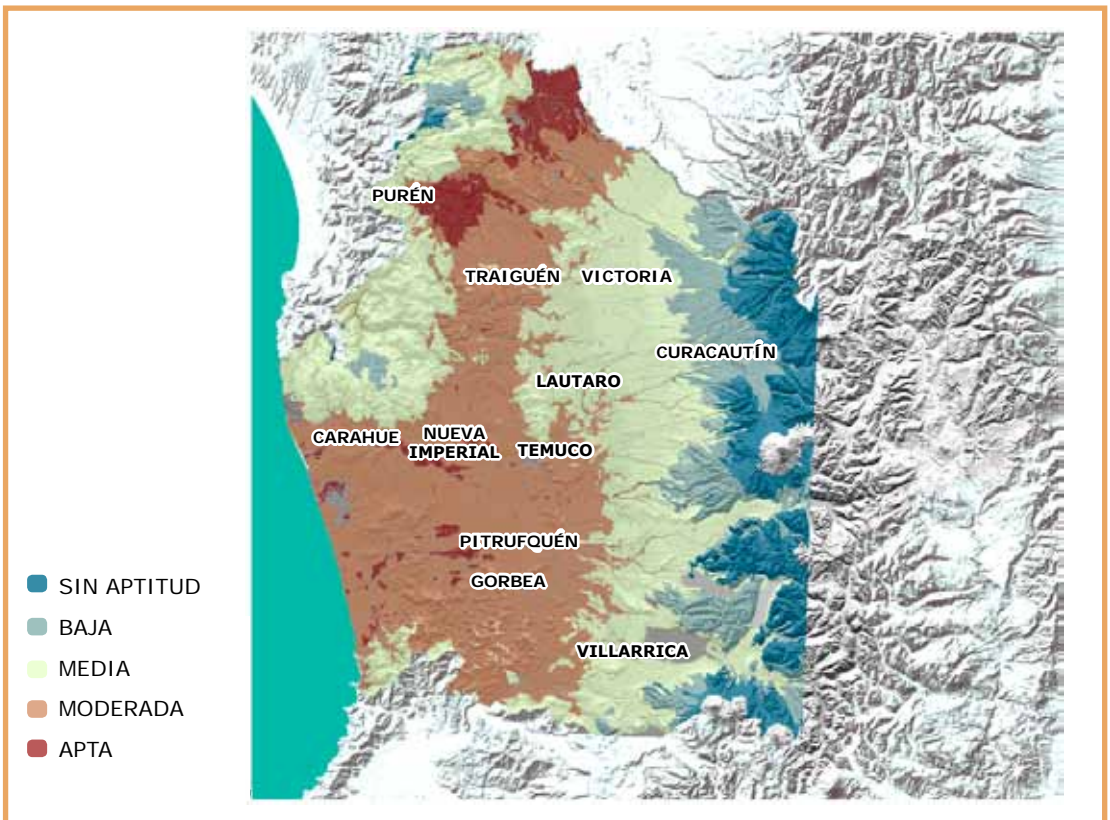


Figura 1. Aptitud climática para el avellano europeo, en la Región de La Araucanía.

Fuente: CIREN, 2016. Zonificación de la aptitud productiva de frutales y berries en la Región de La Araucanía.

Las zonas con aptitud climática para el cultivo del avellano europeo en la Región de La Araucanía se localizan principalmente en la zona norte de la provincia de Malleco y gran parte del valle central de la provincia de Cautín. Estas zonas se caracterizan por presentar un menor riesgo de eventos climáticos adversos (granizo, viento fuerte, helada, lluvia intensa) que pueden afectar estados fenológicos críticos tales como polinización, brotación y cuaja.



Fotomontaje 2. Estados fenológicos del avellano europeo, cultivar Barcelona.

Fuente: Plataforma Frutícola INIA Carillanca

Otro factor climático a considerar es la radiación, particularmente en los últimos años por efecto del cambio climático. Un exceso de radiación solar causa lo que se denomina golpe de sol, que puede afectar madera, hojas y frutos, especialmente en localidades con mayor radiación y en variedades más susceptibles. Como manejo preventivo se sugiere el pintado (color blanco) del tronco y ramas principales, en especial en árboles jóvenes que están más expuestos y en variedades menos tolerantes. En algunas localidades y huertos más expuestos también se ha evaluado la aplicación de productos bloqueadores a base de caolinita para proteger el follaje del exceso de radiación y evitar así el daño por golpe de sol. En relación al rendimiento, en general, se ha observado un aumento de éste en la medida que los huertos se ubiquen más al norte, desde la comuna de Collipulli hacia la zona centro sur del país. Ello se debe fundamentalmente

a que en dichas áreas existen menores riesgos climáticos, particularmente mejores condiciones de temperatura durante el proceso de fecundación en esta especie frutal (Ellena, 2013).



Foto 1. Daño por viento en huerto de avellano europeo, comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 2. Cortina cortavientos de pino Oregón (comuna de Vilcún, Región de La Araucanía) y de eucaliptus (Comuna de Osorno, Región de Los Lagos), Chile.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 3. Daño por “golpe de sol” en frutos y hojas de avellano, cv. Tonda di Giffoni. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 4. Pintado de tronco en huerto joven de avellano europeo, Centro Regional INIA Carillanca.

Fuente: INIA Carillanca

2.2. Suelo

Los árboles de avellano europeo crecen y se desarrollan mejor en suelos profundos, fértiles, con buen drenaje y pH entre 6,0 y 7,5. No obstante, en el sur de Chile las plantaciones efectuadas en suelos con pH 5,7-6,0 han mostrado un buen crecimiento, rendimiento y calidad de fruta. Por tanto, el suelo es uno de los factores que más influye en el crecimiento y productividad de esta especie.

Para una rápida amortización de la inversión, en el manejo actual de los huertos, es prioritario desarrollar rápidamente las plantas durante la fase de formación, por ello deben establecerse de preferencia en suelos de textura media, con buena permeabilidad, evitándose aquellos estratificados, con pobre infiltración en algunos horizontes o en el perfil completo. Los suelos con textura muy pesada (suelos arcillosos) o la presencia de una capa impermeable en ellos pueden ocasionar asfixia radicular, por bajos niveles de oxígeno. La permeabilidad muy lenta también condiciona el movimiento del agua en el suelo, influyendo en la disponibilidad de oxígeno a nivel radicular. Esto provoca inicialmente la muerte de raíces más finas, y si las condiciones anaeróbicas persisten, también comienzan a morir las raíces fibrosas o maduras, perjudicando la absorción y traslocación de nutrientes (Köksal, 2002).

La profundidad del suelo también condiciona el desarrollo de los árboles. No obstante, su sistema radicular es relativamente superficial, de crecimiento lateral y de menor exploración en profundidad, respecto a otras especies frutales. Lo anterior, está determinado por el tipo de suelo y la disponibilidad de riego tecnificado. La existencia de capas duras o rocosas a escasa profundidad limitan el desarrollo de raíces y por tanto, a la parte epigea de los árboles de avellano, atrasando el desarrollo de las plantas y la entrada en producción del huerto. En la zona sur de Chile, las plantas de avellano europeo presentan un mejor desarrollo de la parte aérea y radicular en suelos profundos de origen volcánico (p. ej. trumaos) que en aquellos con menor profundidad y compactados (arcillosos, graníticos). En relación a los tipos de suelos considerados en estudios realizados, en la Región de La Araucanía, no se han observado diferencias importantes en el desarrollo de los árboles, productividad y calidad de la fruta (Ellena, 2013; Ellena *et al.*, 2014).

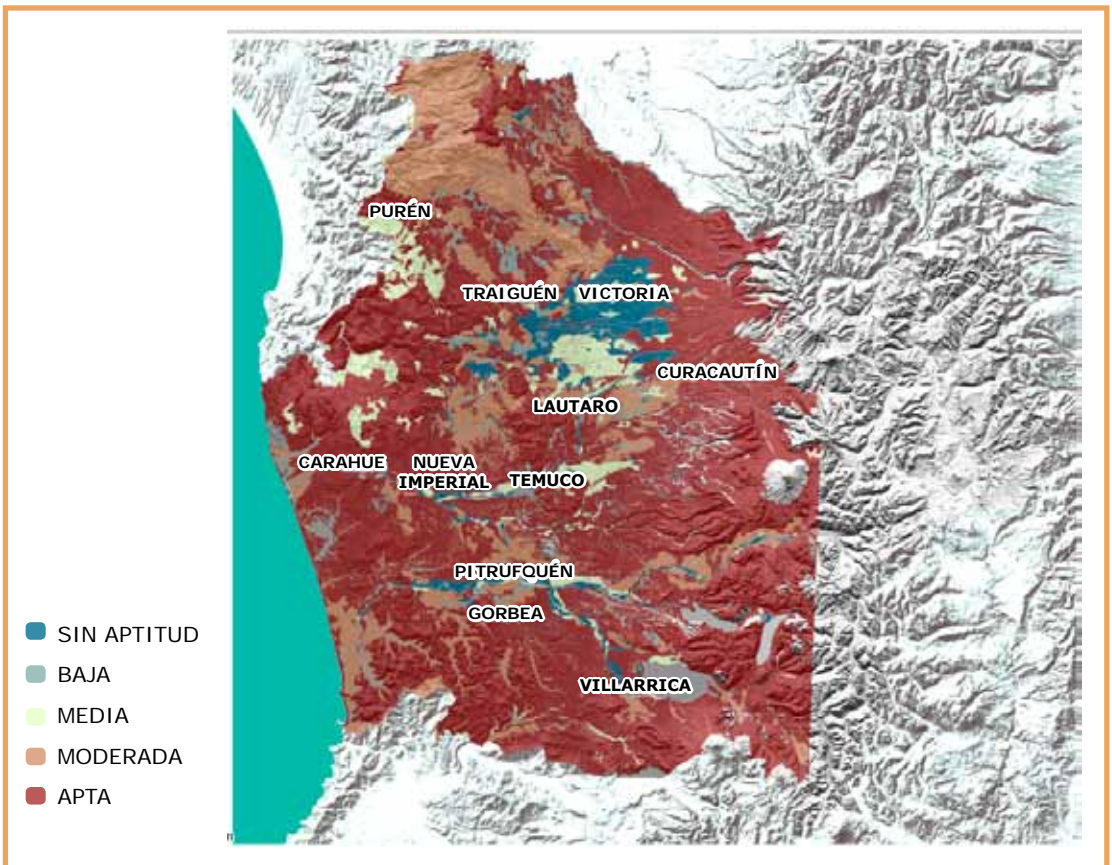


Figura 3. Aptitud de suelo para el avellano europeo en la Región de La Araucanía.
Fuente: CIREN, 2016. Zonificación de la aptitud productiva de frutales y berries en la Región de La Araucanía.

Por lo tanto, suelos con mayor aptitud para el establecimiento del avellano europeo en la Región de La Araucanía son principalmente aquellos profundos y de buen drenaje, ubicados en el valle central de las provincias de Malleco y Cautín y en algunas localidades de la precordillera con suelos trumaos sin limitaciones físicas.



Foto 5. Sistema radicular de avellano europeo, cv. Barcelona (4 años de edad), bajo riego tecnificado. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 6. Diferencias en desarrollo de sistemas radicales de huertos de avellano europeo, cvs. Barcelona (derecha) y Tonda di Giffoni (izquierda), (7 años de edad), suelo rojo arcilloso. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

Como ya fue señalado, es de gran importancia elegir un suelo con buena permeabilidad, que permita una adecuada infiltración de agua a través de su perfil. Para la determinación práctica de la permeabilidad del suelo se recomienda efectuar una calicata de aproximadamente 1 m de profundidad y luego de ocurrida una lluvia de mediana intensidad, observar el comportamiento del agua depositada en el fondo del hoyo de la excavación. Si el agua permanece por varios días apozada, el suelo debería considerarse

no apropiado para la plantación. Alternativamente debería contemplarse el diseño y construcción de una obra de drenaje. El uso de técnicas culturales como araduras profundas (por ejemplo, con arado topo), permite mejorar temporalmente la permeabilidad del suelo, creando un ambiente inicial muy favorable para el desarrollo de los árboles, en particular del sistema radicular en profundidad. Sin embargo, con el transcurso del tiempo las raíces eventualmente pueden presentar problemas en su desarrollo y sobrevivencia, especialmente en aquellas localizadas a mayor profundidad en el perfil del suelo (Ellena *et al.*, 2012; Ellena, 2013).



Foto 7. Construcción de calicata para determinación práctica de permeabilidad del suelo, comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

2.2.1. Características de los principales suelos cultivados con avellano europeo en el sur de Chile y sus efectos sobre el comportamiento de los árboles.

2.2.1.1 Suelos trumaos

Estos suelos presentan una mayor superficie con aptitud para el establecimiento de huertos de avellano en la zona sur de Chile. Se caracterizan por tener un desarrollo no muy avanzado, derivado de un material generador formado principalmente de cenizas volcánicas y que presentan una baja cantidad de bases de intercambio en sus horizontes (Mac Donald, 1987). La ceniza volcánica es de tipo andesítico-basáltico (CIREN-CORFO-UACH, 1978). Estas se han depositado sobre diferentes sustratos por medio eólica directa o depositación sub aérea, aluvial, corrientes de barro, por el viento (loess nefrítico) y transporte glacial (Wright, 1965). En relación a su topografía, es compleja con dominancia de terrenos planos y lomajes suaves o levemente ondulados en la depresión intermedia, y con mayor pendiente en la precordillera y cordillera andina (Mac Donald, 1987).

2.2.1.2. Suelos rojo arcillosos

Este tipo de suelos corresponde a un complejo de suelos diferentes localizados en la cordillera, precordillera de la costa y depresión intermedia. Algunos son generados a partir de roca metamórfica, sedimentos marinos y de cenizas volcánicas pleistocénicas y han sido clasificados como Humults, Ustoxs, Ustafals y (Soil Management Support Service y Sociedad chilena de la Ciencia del Suelo, 1984; Alcayaga y Luzio, 1987; CIREN- CORFO-UACH, 1978). En estos suelos predominan colores rojizos y son de textura franco arcillosa o arcillosa en superficie, incrementándose significativamente el contenido de arcilla en profundidad. Esto implica que posean menor aireación y porosidad de agua útil que los trumaos, presentando un mayor déficit hídrico en verano. Estos suelos son friables cuando su contenido de humedad es bajo, lo cual limita considerablemente las oportunidades de laboreo y aumenta los riesgos de erosión de ellos (Ellies y Mac Donald, 1985).

En relación a su caracterización química, estos suelos podrían considerarse más aptos para el cultivo del avellano en relación con los trumaos, dada su menor capacidad de fijación de fósforo (65-86%). No obstante, en general, sus niveles de fósforo disponible son medios a bajos en el rango de 2 a 6 ppm. El nivel de nitrógeno total y disponible es bajo, presentando por tanto alta respuesta a la fertilización nitrogenada. El contenido de azufre es medio a bajo lográndose también una respuesta efectiva a la fertilización azufrada. En relación a micronutrientes, el boro presenta niveles medios y los cationes de intercambio como calcio, magnesio, potasio y sodio se encuentran en niveles medios (Honorato *et al.*, 1984).

En general, la mayoría de los suelos con mejores condiciones para el establecimiento de avellano europeo corresponde a los trumaos y a escasas áreas de rojo arcillosos. Entre las características físicas a considerar se pueden mencionar las siguientes: topografía, profundidad de arraigamiento, textura y drenaje.

2.3. Topografía del suelo

Para la facilidad de laboreo del suelo, manejos agronómicos (riego, fertirrigación) y mecanización (soplado e hilerado de frutos, poda, cosecha) es recomendable que los suelos sean planos a ondulados con pendientes máximas de 8%. Suelos con pendientes superiores ocasionan mayores dificultades de manejo, particularmente para conservar el recurso suelo con menor posibilidad de evitar su degradación (Ellena *et al.*, 2012; Ellena, 2013).

2.4. Profundidad del suelo

Los árboles con su sistema radicular exploran un volumen de suelo que les proporciona nutrientes y agua, esta última de gran importancia para el desarrollo y respuesta productiva de las plantas. No obstante, se puede proporcionar agua mediante riego. Si el volumen de suelo o el volumen total de poros para los árboles de avellano es reducido, se requiere una mayor frecuencia de riego, lo que implica un aumento de costos. Para especies arbóreas como avellano europeo, la profundidad de suelo deseable varían entre 60-90 cm, dependiendo del desarrollo radicular de las diferentes variedades y combinación portainjerto-variedad (Ellena, 2013).

2.5. Textura y estructura del suelo

La textura o granulometría y la estructura definen la cantidad y distribución de poros y también las características de consistencia, esta última definirá oportunidades de laboreo. Para frutales como el avellano europeo se consideran principalmente texturas medias. Las texturas más finas y gruesas afectan el drenaje y por tanto, el desarrollo y productividad de los árboles (Ellena, 2013).

2.6. Drenaje del suelo

El drenaje de los suelos para el cultivo de esta especie frutal debe ser bueno con el fin de evitar asfixia radicular, pudriciones de raíces y ataque de enfermedades como *Phytophthora spp.* Los suelos con mal drenaje pueden presentar anegamientos, que ocurren cuando su contenido de agua se mantiene en valores superiores a los de su capacidad de campo, hasta ocasionar la saturación total de los poros.



Foto 8. Suelo con limitación física, comuna de Cunco (localidad Radal), Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

El anegamiento puede ser subterráneo o bien presentarse en la superficie del terreno. Lo anterior es poco habitual en suelos de textura gruesa y bastante común en aquellos de tipo arcillosos o limosos no drenados. Los suelos expuestos a encharcamiento presentan destrucción de agregados en su estructura, descenso del potencial de oxidorreducción, detención de procesos de nitrificación, inicio de desnitrificación, aumento del contenido de anhídrido carbónico, etileno, formación de toxinas y disminución de la actividad de microorganismos aerobios, sustituida por la de los microorganismos anaerobios. Esto produce consecuencias negativas en los árboles, en la mayoría de los casos consecuencias graves, sobre todo si la situación perdura y no ocurre el drenaje del agua en exceso. Como ya se señaló, el efecto más importante es la asfixia radicular debida al reducido contenido de aire en el suelo. Las raíces de las plantas se deterioran progresivamente, se ennegrecen y luego se saturan de agua, presentando síntomas visibles de lenticelosis; y finalmente se producen exfoliaciones en torno a éstas y una envoltura constituida por partículas arcilliformes de color gris ceniciento con desprendimiento de un fuerte olor azufrado. Por otra parte, la falta de oxígeno causa fermentación celular, con formación de compuestos tóxicos (ácido cianhídrico), que contribuyen en a la necrosis de tejidos y muerte de raíces (Baldini, 1992).

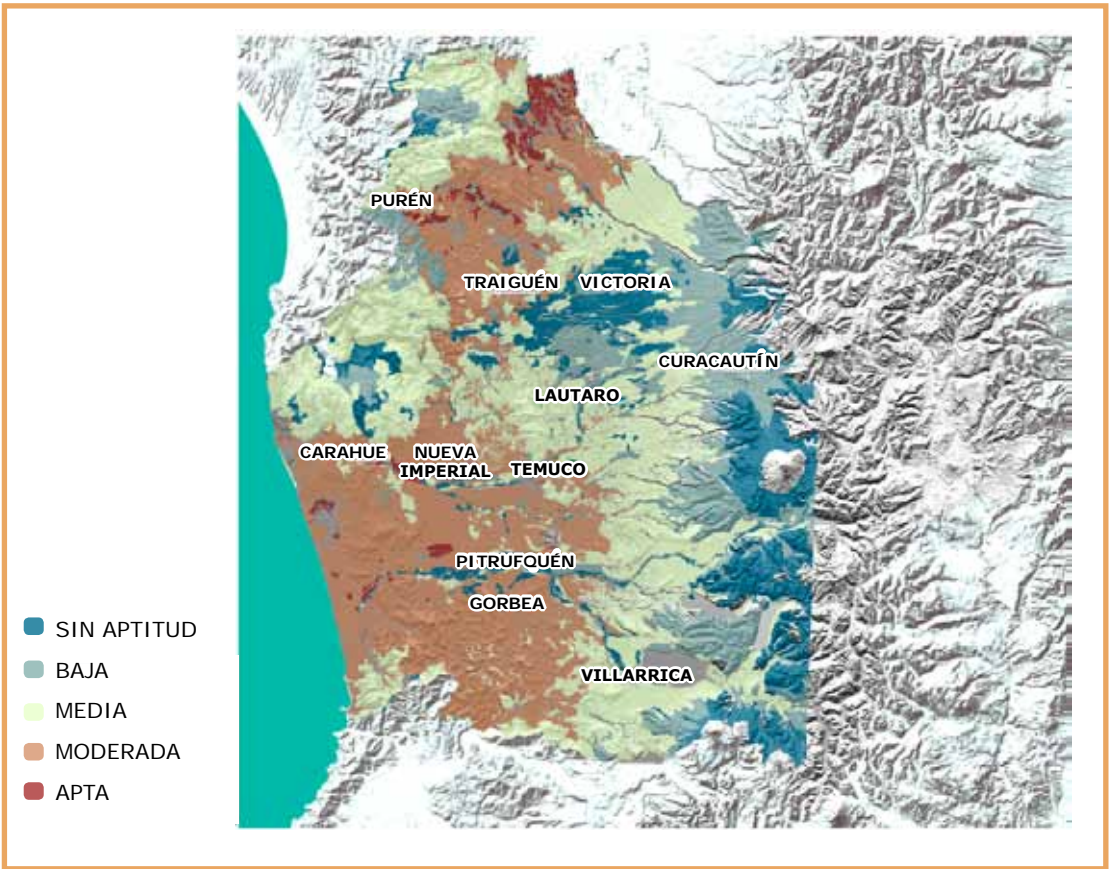


Figura 4. Aptitud clima-suelo para el avellano europeo en la Región de La Araucanía, Chile.
Fuente: CIREN, 2016. Zonificación de la aptitud productiva de frutales y berries en la Región de La Araucanía.

En la Región de La Araucanía las principales zonas con aptitud para el cultivo del avellano europeo se localizan en la parte norte de la provincia de Malleco, particularmente en las comunas de Angol, Renaico, Collipulli y Ercilla y en el valle central de la provincia de Cautín, destacando las comunas de Freire, Pitrufquén, Gorbea y Loncoche, y algunas localidades del secano interior y precordillera.

2.7. Interacción clima-suelo-genética y fisiología del cultivo y manejo

El potencial productivo de una determinada variedad de avellano europeo está directamente relacionado con la interacción del clima, suelo, genética fisiología y manejo del cultivo. Cada uno de estos factores juega un rol fundamental para lograr altos rendimientos y calidad de fruta. Dentro de los manejos cabe destacar la nutrición, riego, poda, polinización y manejo sanitario. Aspectos que se consideran en detalle en los próximos capítulos.

Referencias Bibliográficas

Alcayaga, S., y W. Luzio. 1987. Taxonomía de los suelos de la zona semi-árida, subhúmeda y húmeda de la Región Central de Chile. V. Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y Universidad Católica de Valparaíso. p. 251-257.

Baldini, E. 1992. Arboricultura General. Ediciones Mundi –Prensa, p.381. Madrid, España.

CIREN-CORFO-UACH. 1978. Suelos de la Provincia de Valdivia. 178 p. Santiago, Chile.

CIREN.CL: <http://bibliotecadigital.ciren.cl>

Proyecto zonificación de la actitud productiva de frutales y berries en la Región de La Araucanía, 2016.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. Boletín INIA N° 202. 88 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., y González., A. 2012. Il boom della coricoltura cilena. Rivista Centro Studi e Ricerche sul nocciolo e Castagno. p.21-28.

Ellena, M. 2013. Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIAN°274. 202 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., Montenegro, A., y Jequier, J. 2014. Preliminary observations on the effects of soil management techniques on hazelnut growing in the Gorbea area, in the South of Chile. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Horticulturae 1052: 225-230.

Ellies, A., y R. Mac Donald. 1985. Evaluación de la consistencia de los principales suelos de la provincia de Valdivia y Osorno. Agro Sur 13 (2): 77-83.

Honorato, R., Galindo, G., y D. Pinochet. 1987. Aplicación de algunos indicadores de propiedades andinas en suelos chilenos derivados de material volcánico. Ciencia e Investigación Agraria 11 (3): 179-180.

Köksal, A. 2002. Turkish hazelnut cultivars. Hazelnut Promotion Group. p.131.

Koval, G. K. 1972. Development of the reproductive organs in hazelnuts in relation to the Winter hardiness. *Sel'skokhozyajst vennaja Biologiya* 7: 295-297.

Mac Donald, R. 1987. Suelos con aptitud hortofrutícola. Perspectivas hortofrutícolas de la Región de Los Lagos, Universidad Austral de Chile. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. p. 13-19.

Soil Managment Support Service y Sociedad Chilena del Suelo. 1984. VI. International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador, 9 to 20 January. 223p.

Wright, C. 1965. The volcanic ash soils of Chile. Report to the goverment of Chile. FAO (Rome) Rep. N° 2017.p. 201.

CAPÍTULO 3



ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo
Felipe Marchant C., Ing. Agrícola

3.1 Elección del sitio de plantación

La posibilidad de producir avellanas de alta calidad y producciones económicamente aceptables depende del ambiente o entorno donde se ubica la plantación, conformado tanto por clima y suelo. Cuando dichos factores presentan condiciones favorables para la especie, los árboles pueden expresar su potencial óptimo o capacidad productiva. En el pasado reciente, en los primeros huertos de avellano europeo, por falta de información se consideraron principalmente factores externos a las condiciones edafoclimáticas de los sitios de plantación, como servicios, industrias, poderes compradores, entre otros. Ello en muchos casos incidió en el establecimiento de variedades, con sus respectivos polinizadores, con técnicas de manejo inadecuadas para dichas condiciones agroecológicas (Ellena *et al.*, 2013).

Tal comportamiento agronómico de las variedades, especialmente de los polinizadores, no correspondiente a su compatibilidad fenotípica ("overlapping") y su real potencial vegetativo y productivo influye en la producción y calidad de la fruta. La elección del ambiente adecuado para la plantación de huertos de avellano es fundamental, con el fin que el ecosistema-huerto establecido en un determinado sitio o lugar, tenga el mínimo posible de recursos extra prediales para lograr cosechas de calidad, económicamente aceptables. Los factores ambientales son escasamente modificables, en particular el clima. Por ello, es fundamental obtener información del sitio de plantación previo al establecimiento del huerto y disponer de condiciones ambientales adecuadas para lograr rendimientos económicos en este árbol frutal (Ellena *et al.*, 2013).

3.1.1 Análisis de suelo

Previo al establecimiento de un huerto de avellano, es necesario efectuar un análisis químico del suelo para determinar su disponibilidad de nutrientes, siendo a la vez importante realizar un análisis físico y fitosanitario del mismo, con el fin de detectar eventuales problemas en el huerto.

3.1.1.1 Análisis químico

El análisis químico se realiza para determinar el nivel de disponibilidad de los distintos nutrientes en el suelo, con el fin de aplicarlos en una cantidad adecuada al momento del establecimiento del huerto. Previo al muestreo del suelo, es recomendable efectuar una sectorización del sitio de plantación, a través de calicatas. Ello permitirá determinar la profundidad del suelo y eventuales problemas físicos en éste (capas duras e impermeables que dificultan el movimiento del agua, napas freáticas superficiales, presencia de oxidaciones y toscas, capas arcillosas, otros).

Es recomendable determinar los sectores homogéneos del suelo en el sitio de plantación, considerando los siguientes factores: pendiente, profundidad, textura, drenaje e historial del manejo agronómico del suelo. En relación al muestreo, cada sector debe ser submuestreado (mínimo 20 veces). Cada submuestra debe ser de un volumen idéntico, que posteriormente se homogeneizará (mezcla) para obtener una muestra de aproximadamente 2 kg, que se envía al laboratorio para su análisis químico. Las muestras deben colectarse por lo menos a dos profundidades diferentes (0-20 cm y 50-80 cm); aquellas correspondientes a cada nivel de profundidad pueden mezclarse entre sí (pero no con las del otro nivel), para obtener una muestra representativa de 2 kg. Un análisis químico debe considerar entre otros parámetros al pH, materia orgánica, macro y micronutrientes y saturación de aluminio del suelo. Es importante que la muestra sea enviada a un laboratorio de calidad y confiabilidad, inmediatamente luego de colectada para que ella no se altere. Al respecto cabe mencionar que existen laboratorios de suelo que periódicamente evalúan sus técnicas y protocolos, acreditados a nivel nacional, como es el caso del Laboratorio de Suelos de INIA, entre otros existentes a nivel del país (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 1. Calicata del suelo previo a la plantación. Centro Regional INIA Carillanca, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.1.2 Análisis físico

Para este análisis es necesario considerar: textura, densidad aparente y curvas de retención de humedad. En relación a la textura, las características ideales serían un suelo tipo franco-arcilloso o franco-arenoso con baja densidad aparente. La estructura debe estar libre de compactación, tanto a nivel superficial como en profundidad. Además, el suelo no debe tener problemas de infiltración del agua y una profundidad efectiva entre 0,9-1,0 m (Ellena *et al.*, 2013).

3.1.2 Análisis de plagas y enfermedades

Previo al establecimiento de un huerto de avellano europeo, es recomendable realizar un análisis del suelo ya que ciertos géneros de nemátodos en determinados niveles de concentración, pueden afectar seriamente el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los nemátodos fitoparásitos causan graves daños al sistema radical de los árboles, permitiendo la entrada de hongos que ocasionan pudriciones radiculares, como por ejemplo *Phytophthora spp.*, entre otros. Adicionalmente, es conveniente efectuar un monitoreo de la presencia de plagas subterráneas al estado larvario, que pudiesen ocasionar serios daños a las plantas de avellano a nivel de su cuello y sistema radicular. Lo anterior, permite tomar medidas preventivas previas al establecimiento del huerto (Aguilera *et al.*, 2012; Ellena *et al.*, 2013).

3.1.3 Acondicionamiento y preparación del suelo

Las labores de preparación del suelo, se inician en verano, en especial de aquellos más compactos, cuando el terreno está seco y por tanto en condiciones favorables de cohesión y adhesión. Previo a realizar esta labor, es necesario acondicionar el terreno eliminando arbustos, árboles, troncos, piedras y otros obstáculos que dificulten luego la plantación de los árboles. También, es conveniente nivelar o emparejar el terreno y eventualmente realizar un subsolado, con el fin de destruir el "pie de arado", en particular en suelos compactados por pisoteo de animales y por maquinaria. Esta labor permitirá un mejor drenaje y con ello evitar la asfixia radicular a consecuencia del escaso contenido de aire en el suelo. La preparación adecuada del suelo, junto a la realización de un análisis químico, tienen como finalidad lograr un normal desarrollo de los árboles de avellano, en particular de su sistema radicular. Un buen desarrollo y sanidad de los árboles es la base para lograr un adecuado crecimiento vegetativo de las plantas durante la etapa de formación de su estructura productiva y de esta manera, anticipar la entrada en producción y amortización del huerto (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).



Fotomontaje 1. Implementos para laborear y acondicionar el suelo.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.4 Laboreo profundo

El laboreo profundo se realiza antes de la plantación de los árboles y consiste en remover el suelo a través de medios mecánicos hasta una profundidad de 70-120 cm (Baldini, 1992). En suelos sin pre-cultivo, esta labor puede requerir previamente barbecho químico con herbicidas, desbrozado, eliminación de piedras, troncos, arbustos y rotura de suelo. Esta técnica permite mejorar el suministro de nutrientes en el suelo, mediante la localización de fertilizantes en profundidad (fertilización de fondo); remueve raíces de un cultivo arbóreo previo, y mulle y airea el suelo (cuando está compactado). No obstante, este efecto puede ser pasajero, ya que con el tiempo el suelo nuevamente tiende a "apelmazarse". Por otra parte, si el suelo posee estratas con textura predominantemente arenosa y otras de tipo arcillosa (o limosa), el laboreo profundo o de desfonde permite mezclarlas, obteniéndose un perfil más uniforme texturalmente mejorado en sus características físicas. Sin embargo, en suelos pesados (arcillosos), la labor de desfonde puede ocasionar la formación de una capa impermeable (pie de arado) en la zona de mayor profundidad alcanzada por el arado (Ellena 2010; Ellena *et al.*, 2013).

En la zona sur, en situaciones de lluvias abundantes y prolongadas, esta capa puede causar anegamientos y por tanto, asfixia radicular. Por ello, en suelos pesados es recomendable efectuar un desfonde más profundo, complementado con otras labores de aradura y rastrajes superficiales durante el verano, ya que éstos se encuentran con escasa humedad y en condiciones favorables de cohesión y adhesión (Baldini, 1992).

3.1.5 Fertilización de pre-plantación

La fertilización de pre-plantación denominada también de fondo o base, tiene como fin construir una reserva adecuada y homogénea de nutrientes como fósforo, potasio, magnesio, calcio u otros micronutrientes, en el suelo, particularmente de fósforo (P), en aquellos de origen volcánico con alta capacidad de adsorción de P (Baldini, 1992; Ellena, 2010).

La fertilización de pre-plantación se realiza junto con la labor de desfonde, permitiendo incorporar los fertilizantes en profundidad (70-120 cm). Para efectuar una fertilización adecuada se debe conocer previamente la caracterización química del suelo donde se establecerán los árboles.

El aporte de materia orgánica, incorporada como fertilizante de base en otoño antes de la plantación p. ej. 40 a 80 ton ha⁻¹ de estiércol maduro o de productos análogos como compost, con una relación C:N no inferior a 5, contribuye a mejorar la estabilidad de la estructura y la disponibilidad de nutrientes, como también a facilitar su asimilación por las raíces de los avellanos. La materia orgánica también estimula la actividad microbiana del suelo (Ellena *et al.*, 2006; Ellena *et al.*, 2007). Esta práctica ha permitido mejorar las condiciones físicas y de fertilidad del suelo (graníticos y arenosos) en la zona del secano interior de Malleco (Los Sauces, Purén, Lumaco, Región de La Araucanía, Chile) (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).

En suelos livianos, donde la mineralización es intensa, se requiere fraccionar el aporte de materia orgánica, incluso en años posteriores a la plantación de los árboles, con el fin de evitar el agotamiento anticipado de ésta.

En definitiva, la fertilización de pre-plantación prevé dos alternativas diversas de intervención en función de la naturaleza de los suelos donde se plantarán los árboles: en suelos compactados se deben aplicar los fertilizantes en la totalidad del horizonte del suelo en el que posteriormente se desarrollará el sistema radicular de las plantas. En cambio en suelos con predominio de materiales gruesos y en aquellos muy sueltos, la fertilización de pre-plantación puede limitarse a la incorporación de materia orgánica, escasamente lixiviable, de efecto lento pero eficaz para el mejoramiento de las características físicas, químicas y microbiológicas de este tipo de suelos (Baldini, 1992; Ellena *et al.*, 2007).

La escasez de materia orgánica de origen animal en los predios puede sustituirse por diversos subproductos orgánicos de cultivos industriales y residuos de mataderos (plumas, sangre seca), particularmente para huertos pequeños y de manejo bajo modalidad orgánica.

Por otra parte, el uso de abonos verdes previo al establecimiento del huerto es una alternativa viable, que consiste en sembrar especies anuales de crecimiento rápido, preferiblemente de ciclo invernal-primaveral con abundante producción de biomasa para segar y luego incorporar al suelo. En fruticultura, los mejores resultados se han logrado mediante la incorporación de biomasa de cereales, leguminosas y crucíferas en otoño (Baldini, 1992; Ellena *et al.*, 2012).



Foto 2. Compost para aplicar en huertos de avellano, comuna de Villarrica, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.5.1 Beneficios del establecimiento de cubiertas vegetales

- **Disponibilidad:** la entrega de nutrientes en la fase de pre-plantación debe realizarse considerando su disponibilidad en el suelo, a través de un análisis químico y de textura. Para fósforo y potasio, caracterizados en general por presentar escasa movilidad a lo largo del suelo, pueden presentarse diversas situaciones relacionadas con las concentraciones presentes en éste, además se deben definir otros factores tales como:
 1. Disponibilidad
 2. Textura

- **Dotación elevada:** para variedades de elevado vigor la aplicación de fertilizantes minerales puede ser postergada para la fase de fertilización de mantenimiento de los árboles de avellano. La decisión debe ser previamente analizada por un especialista o asesor.
- **Dotación normal:** en general se recomienda aplicar una dosis de 200-250 kg de P_2O_5 ha^{-1} y 150-200 kg de K_2O ha^{-1} , pero ello debe estar acorde con los resultados del análisis de suelo.
- **Dotación baja:** los fertilizantes químicos fosfatados y potásicos se recomienda incorporarlos al suelo con la finalidad de lograr el nivel de normalidad. Como indicación se sugiere aplicar dosis de 300-350 kg de P_2O_5 ha^{-1} en suelos con bajo nivel de disponibilidad de fósforo (< 10 mg kg^{-1} de P Olsen). A la vez se sugiere aplicar 250-300 kg de K_2O ha^{-1} en suelos con niveles de potasio intercambiable inferior a 0,4 cmol (+) kg^{-1} . Se reitera que esto es una sugerencia, dado que cada suelo requiere un análisis químico para definir un plan de fertilización correcto.
- **Textura:** en suelos con alta fracción de arena (Ejemplo: suelos arenosos de la comuna de los Ángeles, Región del Biobío), ocurre una elevada movilidad de los nutrientes, debiendo reducirse las cantidades de fertilizantes tradicionalmente aplicados en pre-plantación. En consecuencia se debe recurrir a aplicaciones parcializadas frecuentes de la dosis de fertilización en cobrtera, o realizarlas por fertirrigación o utilizando fertilizantes de entrega lenta que son de mayor costo (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).

3.1.6. Labores de suelo

Una vez terminado el laboreo profundo y la fertilización de fondo, se prosigue con una labor de suelo superficial, mediante rastras de discos o fresas. Esto permite nivelar el terreno y romper los terrones que permanecen luego de realizado el laboreo profundo.



Foto 3. Laboreo superficial de suelo, Centro Regional INIA Carillanca Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.7 Manejo de los árboles con anterioridad a la plantación

Previo al establecimiento, luego del traslado de los árboles desde el vivero al lugar de plantación, se recomienda acondicionar un espacio con zanjas o trincheras para mantener las plantas, cubriendo la totalidad de sus raíces con tierra sustrato húmedo, de preferencia de textura liviana, hasta su plantación, para evitar daños por deshidratación.



Foto 4. Zanjas para mantener las plantas hasta su plantación. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.8 Trazado de plantación

Con anterioridad a la plantación es necesario marcar sobre el terreno la posición exacta de cada árbol, además de demarcar los caminos internos y externos del huerto. Para el trazado se requiere establecer una línea madre recta, estableciendo como referencia un camino, acequia u otro elemento. Posteriormente se marca una línea perpendicular a la línea madre.

Los ángulos rectos son fáciles de realizar utilizando tres cuerdas, cuyas longitudes son de 3, 4 y 5 metros. Se deben tensar las cuerdas y hacerlas coincidir en sus extremos, formando un ángulo de 90° . Luego, se colocan estacas sobre la línea madre y la línea perpendicular marcando la posición de cada árbol. De esta manera se marca toda la superficie del suelo a plantar, empleando una cinta y un listón plantador.



Foto 5. Marcado y trazado de la superficie a plantar, Centro Regional INIA Carillanca Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.9 Plantación

La plantación de árboles de avellano europeo procedentes del vivero exige preparar el suelo abriendo hoyos profundos. Los árboles deben plantarse a una profundidad de 40 a 80 cm. Esta labor presupone una elección previa de criterios y distancias (marcos) de plantación.

La apertura de hoyos de plantación puede efectuarse manualmente o bien a través de un ahoyador mecánico, accionado por el toma de fuerza de un tractor.



Foto 6. Hoyo preparado manualmente (izquierda) y mecánicamente (derecha) para plantación de árboles de avellano europeo.

Fuente: INIA Carillanca

En el fondo del hoyo de plantación se localiza una pequeña cantidad de fertilizantes y enmienda calcárea (fósforo, potasio, magnesio, carbonato de calcio, entre otros) y en lo posible materia orgánica descompuesta o compost, luego se coloca una capa de tierra finamente desmenuzada, preferentemente de la parte superficial del suelo. Se pueden emplear fertilizantes tradicionales o bien recubiertos y de lenta liberación de nutrientes, para lograr un mejor aprovechamiento de éstos y evitar daños en las raíces por concentración de sales en un espacio reducido de suelo. En cada hoyo, parcialmente relleno, se establece el árbol, manteniéndolo en forma vertical y con su cuello sobre la superficie del suelo. A continuación, se completa el llenado del hoyo comprimiendo la tierra (colocada de manera gradual), para que esté bien adherida a las raíces. Es fundamental evitar la plantación de los árboles a una profundidad excesiva, pues las raíces de esta especie son muy sensibles a niveles bajos de oxígeno. Como regla general, las plantas deberían plantarse a la misma profundidad que tenían en el vivero.

Para el caso de árboles a raíz desnuda, antes de la plantación deben someterse a podas moderadas de raíces, con el fin de eliminar aquellas lesionadas o secas y renovar los cortes realizados durante la extracción de las plantas del vivero, en particular la poda de la posible raíz principal tipo pivotante. En cambio los árboles que proceden de vivero en contenedores, tienen un arraigamiento más fácil y no requieren de cuidados especiales durante la plantación.

La época más adecuada para realizar la plantación es otoño (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013). Sin embargo, las plantas en contenedores o macetas pueden plantarse más tarde en primavera o en otoño. Además, el establecimiento más temprano de los árboles permite una mejor cicatrización de las heridas causadas durante el trasplante (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).

Sin embargo, la época más apropiada para realizar la plantación es en otoño, dado que las investigaciones realizadas por INIA Carillanca señalan que en dicha época permite que las raíces comiencen a desarrollarse en el suelo de inmediato, encontrándose los árboles nuevos en condiciones más favorables para la reanudación vegetativa en la primavera siguiente. Si no es posible efectuar la plantación en otoño se puede realizar también desde inicios a finales de invierno o a principios de primavera, antes de la apertura de las yemas. Con plantas a raíz desnuda, las plantaciones más tardías en primavera ocasionan un retraso en la brotación, emisión de brotes y por ende, en el desarrollo de las plantas durante el primer año y mayores porcentajes de pérdidas de éstas (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).



Foto 7. Para la plantación de los árboles en el hoyo de plantación se coloca una pequeña cantidad de fertilizantes que se cubren con una delgada capa de tierra.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 8. Plantación de huertos de avellano europeo. Centro Regional INIA Carillanca Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

En variedades de avellano europeo injertadas se debe evitar establecer las plantas a una profundidad excesiva para impedir el posible fenómeno del franqueamiento, es decir emisión de raíces en la parte injertada.



Foto 9. Plantación correcta de una planta injertada de avellano europeo con el punto de injerto sobre el nivel del suelo.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 10. Planta de avellano europeo a raíz desnuda procedente de vivero.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 11. Planta de avellano europeo a raíz cubierta en contenedor para plantaciones tempranas en otoño o tarde en primavera.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.10 Distribución espacial de los cultivares polinizadores en la plantación

Como se indicó en capítulos anteriores, el avellano europeo es una especie monoica autoincompatible, es decir las flores masculinas de un árbol no polinizan a las flores femeninas del mismo individuo. Por ello, en una plantación deben establecerse variedades polinizadoras genéticamente compatibles con la variedad principal, de manera que coincidan sus estados fenológicos (floración masculina del polinizador con la floración femenina de la variedad principal). Además, deben ser buenas productoras de polen e idealmente producir frutos de calidad y comercialmente válidos para la industria o para consumo directo o mesa.

En plantaciones comerciales de esta especie frutal, para una variedad principal se requiere entre 10-15% de cultivares polinizadores, idealmente 3 a 4, para cubrir completamente el período de receptividad del estigma de la variedad principal o base, (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013; Ellena *et al.*, 2014; Roversi, 2007). Estos pueden distribuirse en zig-zag o en hileras completas cada 8-9 hileras de la variedad principal. Es preferible esta última modalidad para facilitar la separación de las avellanas a la cosecha.

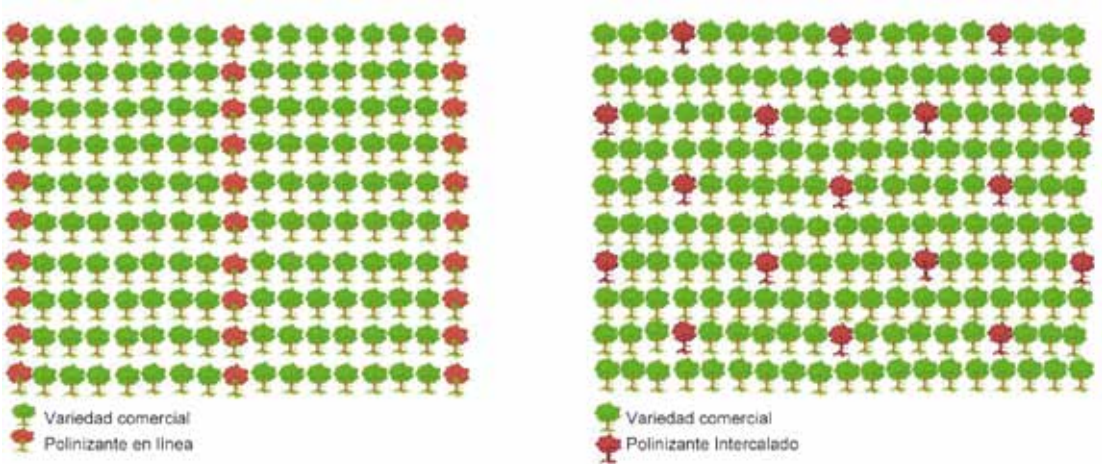


Figura 1. Distribución de polinizadores, línea completa (izquierda) y en forma de zig-zag (derecha).

Otra alternativa es el sistema Oregon, en el cual cada tres hileras de la variedad principal se establece una hilera con las variedades polinizadoras. Estas últimas son plantadas en la fila en forma alternada, cada tres polinizadores corresponden dos plantas de la variedad principal y así sucesivamente. (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).

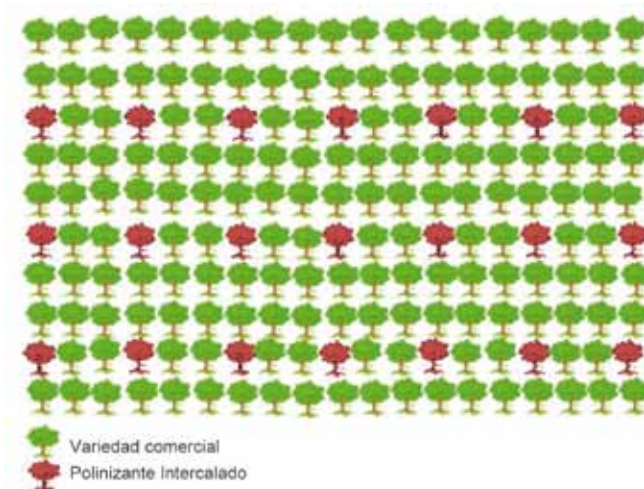


Figura 2. Sistema de distribución de cultivares polinizadores en el sistema Oregon.

De acuerdo a estudios realizados en el extranjero las variedades principales y los polinizadores no deberían plantarse a distancias mayores de 15 a 20 metros, con el fin de lograr una adecuada polinización (Ellena, 2010). Sin embargo, en Chile con la ubicación de los polinizadores a mayor distancia

se han logrado rendimientos similares e incluso superiores a los de otros países productores, lo que indicaría una buena llegada del polen al estigma de la flor femenina. En todo caso, a una mayor distancia bajo condiciones climáticas adversas, exceso de lluvia y humedad ambiental, en la medida que los polinizadores se alejan existe una menor probabilidad que el polen llegue a la flor femenina (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).

La orientación de las hileras de los cultivares polinizadores debe considerar el sentido de los vientos predominantes durante el período de floración masculina (liberación del polen por parte de los amentos) y receptividad de las flores femeninas (estigmas), con el fin de asegurar una buena distribución del polen. Como se mencionó anteriormente, la floración de esta especie ocurre en pleno período invernal lográndose una adecuada diseminación del polen cuando hay menor humedad ambiental (generalmente a medio día) y ausencia de lluvia. En la zona sur, el viento predominante bajo dichas condiciones es el noroeste, que permite generar libre flujo de polen para una buena polinización anemófila, es decir, a través del viento (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2012; Ellena *et al.*, 2013; Roversi, 2007).

3.1.11 Densidad de plantación

El cultivo del avellano europeo en el mundo se ha caracterizado por su lenta entrada en producción y bajos rendimientos acumulados durante los primeros años. Dependiendo de las variedades, el inicio de la etapa reproductiva comienza entre el tercer y sexto año (Mehlenbacher y Smith, 1992). El período juvenil de los árboles está relacionado con factores de índole genético y ambiental (Zimmerman, 1972). Los máximos rendimientos se han observado desde el año 7 en adelante, dependiendo de las variedades y de las condiciones edafoclimáticas de los sitios de plantación.

En esta especie, normalmente se han utilizado amplios marcos de plantación (6x4, 6x3 y 5x4 m) dependiendo del vigor de la variedad, fertilidad y profundidad del suelo, y grado de mecanización del cultivo, con una relativa baja densidad de plantación.

Para determinar la densidad de plantación se deben considerar los siguientes factores: vigor de la variedad o combinación portainjerto/variedad en el caso de plantas injertadas, fertilidad del suelo, condiciones climáticas, sistema de formación y conducción, disponibilidad de luz, tránsito de maquinaria, sistema de cosecha, entre otros.

De todos los anteriores destacan:

- **Vigor de la variedad:** se utiliza una menor densidad y mayor distancia de plantación para los cultivares más vigorosos (ej. variedades Barcelona, Tonda di Giffoni), en comparación a aquellos de menor vigor (ej. variedades Tonda Romana, Yamhill, Tonda Gentile delle Langhe, Tombul, Imperiale di Trebizona, Palaz, entre otras).
- **Fertilidad del suelo:** se emplean menores densidades y mayores distancias de plantación en los suelos más fértiles. Este factor tiene gran importancia en la vida productiva futura de los árboles.

3.1.13 Marco de plantación

Se refiere a la distancia existente entre los árboles. Se prefiere un marco de plantación rectangular ya que presenta las siguientes ventajas:

- Máximo aprovechamiento del suelo
- Mayor facilidad para realizar las labores del huerto
- Acceso en un solo sentido.



Foto 12. Detalle de marco de plantación rectangular (5x4m), cv. Barcelona. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía. Menor distancia en la sobre hilera y mayor distancia en la entre hilera.

Fuente: INIA Carillanca

3.1.12 Evolución de los marcos de plantación

La tendencia actual en frutales es densificar los huertos para anticipar la entrada en producción, aumentar los rendimientos por unidad de superficie y amortizar rápidamente las plantaciones. Sin embargo, en el tiempo, las plantaciones intensivas de avellano europeo presentan problemas en producción y calidad de fruta por falta de iluminación en el interior de la copa y en la parte inferior de los árboles. Por ello, es preferible utilizar densidades mayores o menores marcos de plantación para las primeras etapas de los árboles, interviniendo posteriormente una vez que las copas se entrecruzan entre sí y se produzca un desplazamiento de la zona productiva a la parte alta del árbol, eliminándose aquellos árboles en exceso o recurriendo a fuertes podas (Bignami *et al.*, 1999; Ellena *et al.*, 2012; Ellena *et al.*, 2013; Riggert y Mac Donald, 1987; Roversi, 2007).

Se puede comenzar la plantación con el denominado marco dinámico. Por ejemplo, con densidades de 800 plantas ha^{-1} y cuando se comienza a resentir la capacidad productiva, se elimina la mitad de los árboles, obteniéndose una densidad definitiva de 400 plantas ha^{-1} (Bignami *et al.*, 2004; Julian *et al.*, 2008; Jung, 1994).

Estudios realizados por INIA Carillanca sobre el efecto de la densidad de plantación y el comportamiento vegetativo-productivo de los árboles de avellano de las variedades Barcelona y Tonda di Giffoni, demostraron que la altura del eje del cv. Barcelona es superior al de Tonda di Giffoni desde la primera a la cuarta temporada de establecimiento del huerto experimental (2009-2012) (Ellena *et al.*, 2013).

Barcelona, se caracteriza por presentar un hábito de crecimiento abierto, expandido hacia la entre hilera y elevado vigor, mientras que Tonda di Giffoni tiene un vigor intermedio y hábito de crecimiento cerrado hacia la verticalidad, lo cual es una característica genética propia de la variedad (Ellena *et al.*, 2013).

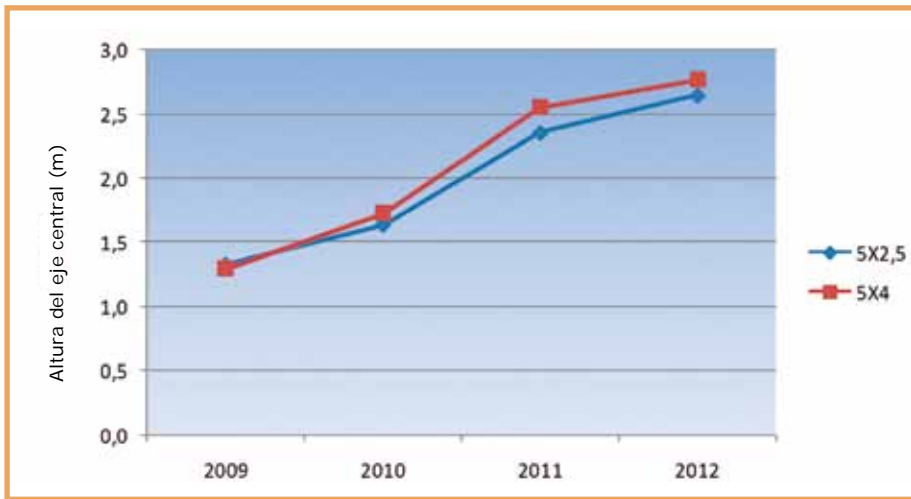


Figura 3. Efecto de dos densidades de plantación (5x4 y 5 x 2,5m), sobre la altura del eje central del cv. Barcelona (temporadas 2009-2012). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Con la menor densidad de plantación ($500 \text{ árboles ha}^{-1}$), (marco de plantación de $5 \times 4 \text{ m}$, entre y sobre hilera respectivamente) se aprecia una tendencia a una mayor altura del eje central del árbol, entre los años 2010 y 2012, que aquella lograda con la mayor densidad de plantación ($800 \text{ árboles ha}^{-1}$), con un marco de plantación de $5 \times 2,5 \text{ m}$ (Figura 3). Ello sería atribuible a que la mayor densidad de plantación ocasionaría una mayor competencia entre las plantas por nutrientes, agua, luz y espacio disponible para expresar su crecimiento vegetativo (Ellena, 2013).

En la variedad Tonda di Giffoni la tendencia observada no es constante, dado que en las dos primeras temporadas de crecimiento (2009-2010) la mayor altura del eje central se aprecia con la menor densidad de plantación ($500 \text{ árboles ha}^{-1}$); luego, a partir del tercer año en adelante (temporada 2011-2012) la mayor altura del eje central corresponde a la mayor densidad de plantación ($800 \text{ árboles ha}^{-1}$) o menor marco de plantación del huerto ($5 \times 2,5 \text{ m}$) (Figura 4). Esta variedad tiene un hábito de crecimiento cerrado hacia la verticalidad, como ya se indicó, y probablemente, en la medida en que los árboles se desarrollen presenten un mayor crecimiento del eje (en altura), para lograr mayor disponibilidad de luz y satisfacer sus requerimientos fotosintéticos. Adicionalmente, esta especie es de tipo heliófila, es decir que es ávida de sol (Ellena *et al.*, 2013).

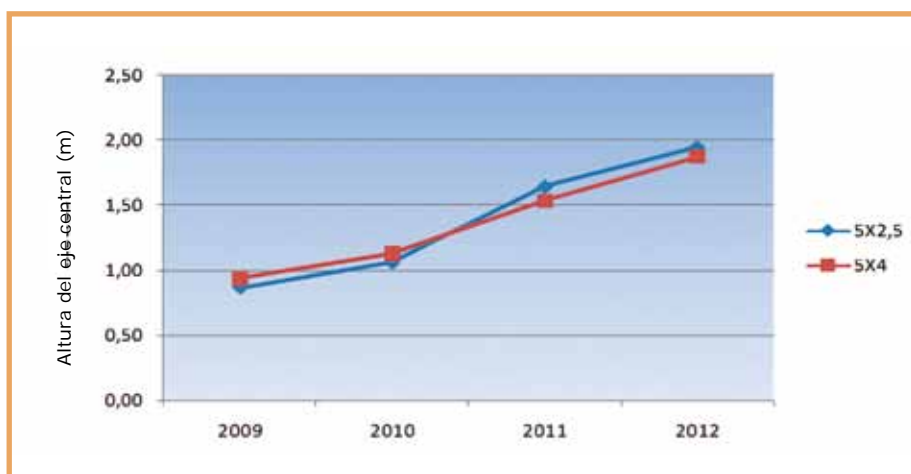


Figura 4. Efecto de dos densidades de plantación 500 y 800 árboles ha^{-1}) (5x4 y 5 x 2, m respectivamente) sobre la altura (del eje central, cv. Tonda di Giffoni (temporadas 2009-2012). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

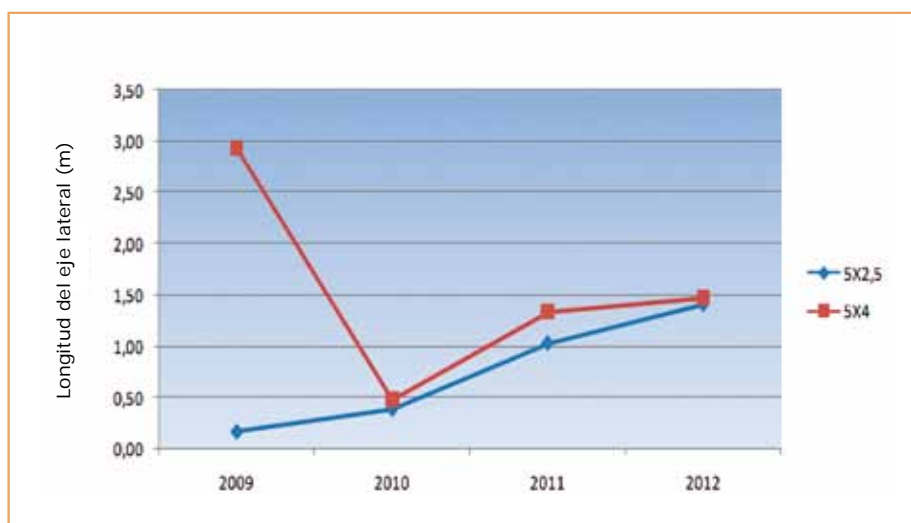


Figura 5. Efecto de dos densidades de plantación (500 y 800 árboles ha^{-1}) (5 x 4 y 5 x 2,5 m respectivamente) sobre la longitud media de los ejes laterales (m) del cv. Barcelona (temporadas 2009-2012). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

La mayor longitud media de los ejes laterales se aprecia (tendencia) con la menor densidad de plantación (500 árboles ha^{-1}) y un marco más amplio (5 x 4 m). Al contrario, con la mayor densidad de plantación (800 plantas ha^{-1}) marco de 5 x 2,5 m), se observa una tendencia a una menor longitud de estos órganos, en las cuatro primeras temporadas de crecimiento vegetativo evaluadas (Figura 5). Ello podría atribuirse al elevado vigor de Barcelona chilena, donde un mayor espacio disponible le permite expresar más su crecimiento; mientras que con altas densidades de plantación ocurre una mayor competencia por espacio, luz, agua y nutrientes disponibles.

Por su parte, la variedad Tonda di Giffoni muestra una tendencia (durante las cuatro primeras temporadas de crecimiento) hacia un mayor desarrollo en longitud de los ejes laterales con mayor densidad de plantación (800 plantas ha^{-1}), respecto de aquella obtenida con una menor densidad de plantación (500 árboles ha^{-1}) (Figura 6). Esta variedad, como ya se indicó, tiene un vigor intermedio y un marcado hábito de crecimiento vertical. Probablemente estas características, con alta densidad de plantación, determinan un mayor crecimiento de los laterales ocupando rápidamente el espacio asignado, que incidiría en una mayor precocidad en la entrada en producción del huerto. Cabe señalar, que los huertos modernos de diferentes especies frutales, en alta densidad, han permitido acortar el período juvenil de los árboles y entrar más rápido a la fase reproductiva.

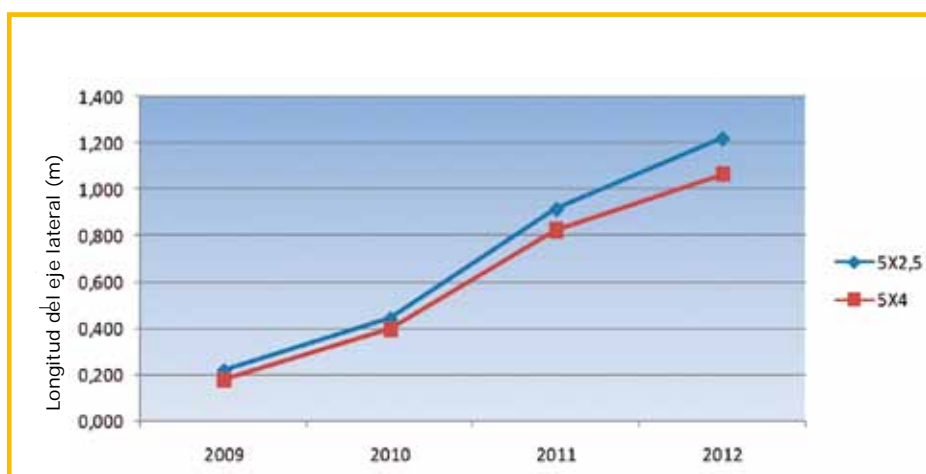


Figura 6. Efecto de dos densidades de plantación (500 y 800 árboles ha^{-1}) (5 x 4 y 5 x 2,5 m respectivamente) sobre la longitud media de los ejes laterales (m) del cv. Tonda di Giffoni (temporadas 2009-2012). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

A la vez, en las cuatro primeras temporadas de crecimiento vegetativo (2009-2012) se observa una tendencia a un mayor crecimiento del diámetro del tronco o eje central del árbol del cv. Barcelona con la menor densidad de plantación (500 árboles ha^{-1}), pero sin grandes diferencias entre tratamientos (Figura 7).

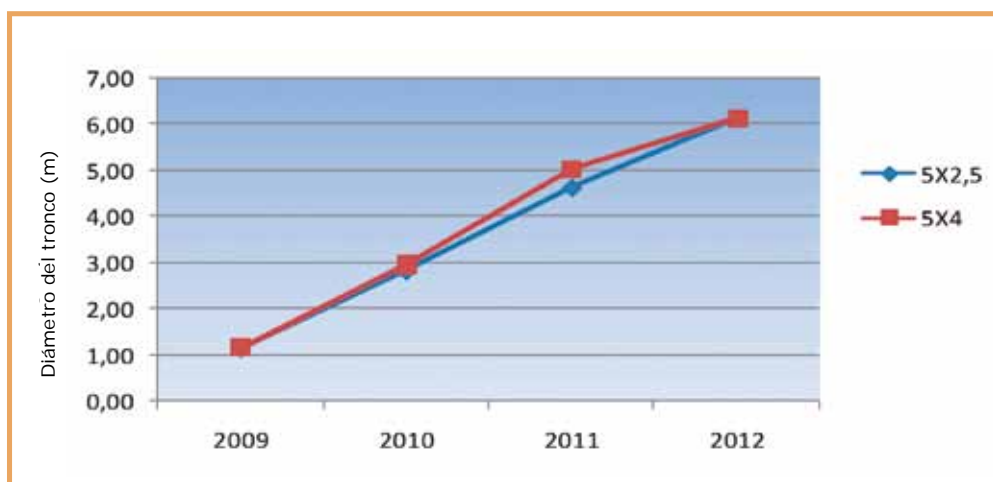


Figura 7. Efecto de dos densidades de plantación (500 y 800 árboles ha^{-1}) (5 x 4 y 5 x 2,5 m) sobre el diámetro promedio del tronco o eje central (cm) del cv. Barcelona (temporadas 2009-2012). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

En relación al rendimiento de fruto, en el caso del cv. Barcelona, con alta densidad de plantación (800 plantas ha^{-1} , marco de plantación de 5x2,5 m) se aprecia una tendencia a un notorio mayor rendimiento acumulado, obtenido entre 2011 y 2016 (8.700 kg ha^{-1}), que el logrado con aquellas de menor densidad de plantación (Cuadro 1). Ello es interesante ya que permitiría obtener un mayor rendimiento acumulado durante los primeros 5 años de iniciada la etapa productiva del huerto y a su vez, una rápida amortización del cultivo.

Cabe considerar que el costo de establecimiento de este cultivo, por concepto de plantas, es significativamente más bajo que el de otras especies frutales (arándanos, manzanos, cerezos), lo que permite utilizar una mayor densidad de plantación. No obstante, una vez que los árboles comiencen a competir entre sí, podría ocurrir una disminución importante del rendimiento, puesto que en el caso del cv. Barcelona la alta densidad puede ocasionar un cubrimiento prematuro del huerto, por su alto vigor y hábito de crecimiento extendido.

Cuadro 1. Efecto de la densidad de plantación sobre el promedio de rendimiento acumulado (kg ha^{-1}), cv. Barcelona, temporada 2011-2016, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, Chile.

| Marco de plantación | Temporada | | | | | | Total acumulado (kg/ha) |
|---------------------------|-----------|-----------|---------|--------------|---------|---------|------------------------------------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
| VARIEDAD BARCELONA | | | | | | | |
| 5x2,5 | 14,6 a | 200,8 a | 502,0 b | 2.189,30 b | 983,3 b | 4.811 b | 8.701,0 b |
| 5x3 | 8,2 a | 166,0 a b | 354,6 c | 1.656,50 a | 703,3 a | 3.152 a | 6.040,6 a |
| 5x4 | 8,3 a | 140,3 b | 631,6 a | 1.785,80 a b | 692,1 a | 2.963 a | 6.221,1 a |

Duncan < p 0,05. letras en posición vertical indican diferencias estadísticas.



Foto 13. Variedad Barcelona establecida en alta densidad (5x2,5 m), (7 años de edad), con abundante producción de fruta (derecha), Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

Respecto al rendimiento industrial, en el caso del cv. Barcelona, el empleo de densidades altas de plantación ($800 \text{ plantas ha}^{-1}$, marco de 5x2,5 m) no condujo a diferencias significativas en este parámetro, respecto de menores densidades de plantación ($670 \text{ plantas ha}^{-1}$, marco de 5x3 m) y ($500 \text{ plantas ha}^{-1}$, marco de 5x4 m) (Cuadro 2). Este parámetro muestra un marcado efecto genético, propio de la variedad y difícil de modificar a través del manejo agronómico. No obstante, en el tiempo, una vez que los árboles entren en pleno régimen productivo (años 9-10) probablemente podría ocurrir una disminución del rendimiento industrial (%) de avellanas, particularmente en la parte media del árbol, por un menor ingreso de luz a nivel de las flores femeninas.

La falta de luz afecta significativamente la producción de yemas reproductivas, rendimiento y calidad de la fruta (Roversi, 2007). La luz es un factor fundamental para la fotosíntesis y por lo tanto, para las diversas funciones del árbol; de manera particular actúa junto a otros factores sobre el desarrollo de los frutos. La baja intensidad de luz genera zonas altamente

improductivas en la canopia del árbol, particularmente en sistemas de conducción de forma globosa y elevada altura del árbol (Looney, 1968). Por otro lado, aumentos significativos en la intercepción total de luz se han observado al incrementar la densidad de plantación (Cain, 1972; Verheij y Werner, 1973; Palmer y Jackson, 1974) y a su vez, al optimizar la arquitectura del árbol (Jackson *et al.*, 1980; Sansavini, 1982; Jackson, 1985).

Cuadro 2. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento industrial promedio (%), cv. Barcelona, temporadas 2011-2015. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, Chile.

| Marco Plantación | Temporada | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
| 5X2,5 | 39,09 a | 34,24 a | 40,13 a | 36,55 a | 38,85 a |
| 5X3 | 37,69 a | 35,90 a | 40,78 a | 37,56 a | 40,14 a |
| 5X4 | 40,78 a | 38,10 a | 43,39 a | 37,39 a | 39,48 a |

Letras iguales no presentan diferencias estadísticamente diferentes.

En el caso del cv. Tonda di Giffoni, también se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento acumulado ($2.708,2 \text{ kg ha}^{-1}$), con alta densidad de plantación ($667 \text{ plantas ha}^{-1}$, marco de $5 \times 3 \text{ m}$) (entre 2011 y 2015) respecto de las demás densidades de plantación evaluadas. Independiente de ello, el rendimiento de fruto logrado con el cv. Tonda di Giffoni es inferior al alcanzado con el cv. Barcelona, bajo la condición de alta densidad de población (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la densidad de plantación sobre el rendimiento de frutos (promedio) acumulado (kg/ha^{-1}), cv. Tonda di Giffoni, temporadas 2011-2015. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, Chile.

| Marco de plantación | Temporada | | | | | Total acumulado (kg/ha^{-1}) |
|----------------------------------|-----------|---------|-----------|----------|---------|---|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | |
| VARIEDAD TONDA DI GIFFONI | | | | | | |
| 5x2,5 | 10,1 a | 335,1 b | 253,3 b | 1040,0 a | 836 a | 2290,8 a |
| 5x3 | 13,4 a | 431,4 a | 303,4 a | 1580,2 b | 633,5 a | 2708,2 b |
| 5x4 | 21,4 a | 324,7 b | 280,6 a b | 1375,1 b | 543 a | 2290,8 a |

Letras iguales no presentan diferencias estadísticamente diferentes.

Cabe destacar que esta variedad aún presenta espacio por llenar en la distancia de plantación sobre y entre hilera, que presenta un crecimiento de ramas menos expandidas hacia la entre hilera. En el tiempo, una vez que los árboles llenen completamente sus espacios asignados, particularmente para la menor densidad de plantación ($500 \text{ plantas ha}^{-1}$) se podrían esperar aumentos importantes en los niveles productivos. Por otro lado, para la

plantación en alta densidad (800 plantas ha⁻¹) y densidad media (670 plantas ha⁻¹), una vez que las plantas entren en competencia entre sí, los rendimientos podrían afectarse por una menor intercepción de luz, particularmente en la parte media del árbol con un desplazamiento de la producción hacia la parte alta y periférica del árbol. Ello determinará la necesidad de eliminar plantas, con el fin de evitar competencias excesivas entre los árboles y con ello facilitar la entrada de luz hacia el interior de la copa. Otra alternativa es el uso de poda, particularmente realizada en verano (poda en verde), que permite reducir el vigor de los árboles. No obstante, la época de ejecución de la poda debe estar avalada por un especialista, con el fin de tomar una decisión correcta, ya que esta dependerá del estado (vigor) y nivel productivo del huerto. En relación al rendimiento industrial (%) promedio (2011 a 2015) no hubo diferencias significativas entre las distintas densidades de plantación en estudio (800, 670 y 500 plantas ha⁻¹).

En los próximos 10 años, estarán disponibles nuevas variedades de avellano europeo de menor vigor (árboles compactos), tanto autoenraizados como combinaciones de portainjerto/variedades de menor vigor, obtenidas en programas de mejoramiento genético llevados a cabo en el extranjero y en Chile (INIA Carillanca), que permitirán densificar las plantaciones sin recurrir a la extirpación de árboles.

Estudios preliminares realizados por INIA Carillanca han demostrado una precocidad de la entrada en producción, en plantas injertadas de avellano europeo de la variedad Tonda di Giffoni sobre un portainjerto clonal (BA-5), acortando el período improductivo entre 1-2 años y anticipando el período reproductivo en cultivares polinizadores, con abundante producción de amentos y polen, con diferencias estadísticamente significativas en comparación con plantas autoenraizadas a partir de acodos de montículo (Ellena *et al.*, 2014).



Foto 14. Huerto de avellanos en alta densidad, mediante uso de marco dinámico (5x2,5 m) cvs. Barcelona (izquierda) y Tonda di Giffoni (dercha). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 15. Plantas de avellano europeo injertadas sobre portainjertos de bajo vigor para plantaciones en alta densidad. INIA Carillanca, Región de La Araucanía, Chile.

Fuente: INIA Carillanca

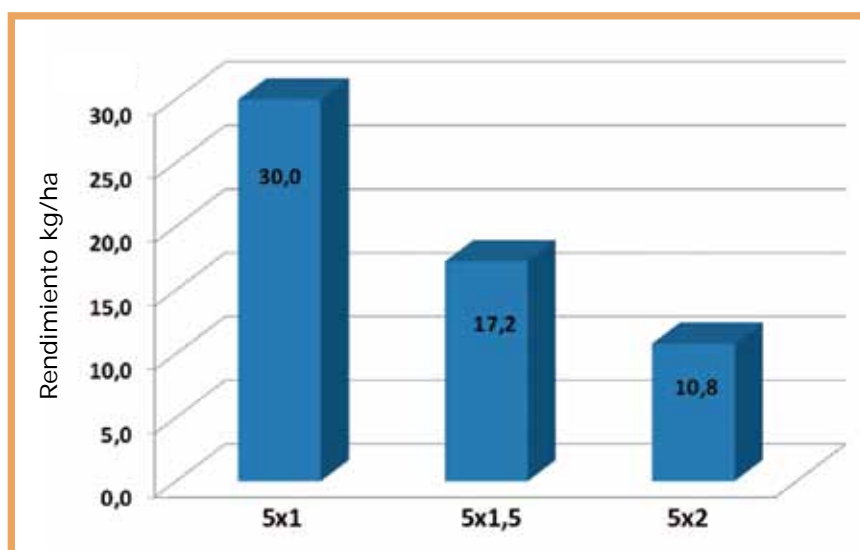


Figura 8. Efecto de la densidad de plantación y el uso de portainjertos (BA-5) sobre el rendimiento de frutos del cv. Tonda di Giffoni (un año de establecimiento). Centro Regional INIA Carillanca, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

A modo ilustrativo solamente (sin análisis estadístico), se observa una tendencia a un mayor rendimiento de fruto (30 kg ha^{-1}) del cv. Tonda di Giffoni con mayor densidad de plantación ($2.000 \text{ plantas ha}^{-1}$), que con aquellas de menor densidad evaluadas (primer año luego de establecido el cultivo), (Figura 8). Estos resultados son preliminares, esperándose una mayor expresión del rendimiento de fruto en las próximas temporadas, que permita corroborar la tendencia inicial o bien ella sea modificada en las próximas temporadas de evaluación o modificar la tendencia inicial observada.



Foto 16. Plantas de avellano europeo injertadas sobre portainjertos de bajo vigor en plantaciones en alta densidad (izquierda), con presencia de frutos (derecha) durante la primera temporada de establecido el cultivo. Centro Regional INIA Carillanca, Chile, 2016.

Fuente: INIA Carillanca

Referencias Bibliográficas

Aguilera, A., Ellena, M., González, A., Jequier, J., y Escobar, S. 2012. Diagnóstico y monitoreo de plagas. p. 31-60. In: Ellena, M., González, A., y A. Aguilera (eds.). Manejo Integrado de Plagas Subterráneas en Avellano Europeo. Boletín INIA N° 237. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Baldini, E.1992. Arboricultura General. Ediciones Mundi-Prensa. P.379. Madrid, España.

Bignami, C., De Salvador, R.F., e G. Strabbioli. 1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della corilicoltura nel Lazio. Rivista de Frutticoltura e di Ortofloricoltura N° 11: 16-27.

Bignami, C., Bertazza, G., Bizzarri, S., Brusiches, A., Cammilli, C., and V. Cristofori. 2005. Effect of high density and dynamic tree spacing on yield and quality of the hazelnut cultivar Tonda Gentile Romana. Proc.VI International Congress on Hazelnut. Acta Hort.686: 263-270.

Cain, J.C. 1972. Hedgerow orchard design for most efficient interception of solar radiation. Effects of tree size, shape, spacing and row direction. Search 2: 1-14.

Ellena, M., Sandoval, P., y Montenegro, A. 2006. Elementos básicos del cultivo del avellano europeo para el sur de Chile. Tierra Adentro N° 62. p.30-32.

Ellena, M., Montenegro, A., y A.Rombolá. 2006. Gestión del suelo.p. 83-107. En Ellena, M. (ed.) Cultivo del cerezo para la zona sur de Chile. Boletín INIA N°135. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Alvear, C., y C. Bustamante. 2007. Effect of different management techniques of the soil in the plantation line concern to vegetative behavior, chemicals, physical and biological factors of the soil cv. Barcelona (*Corylus avellana* L.) in the south of Chile. Seventy International Congress on Hazelnut. Book of Abstracts. p. 125.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. 88p. Boletín INIA N°202. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., y González, A. 2012. Il boom della coricoltura cilena. Corylus & Co. Anno III, número 1-2012. p. 21-28.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., y Azócar, G. 2013. Establecimiento del huerto. p. 49-79. En M. Ellena D. (ed.) Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., y González, A. 2014. Effect of type of propagation on earliness of flowering and fruiting in "Tonda di Giffoni" and Daviana" cultivars. *Acta Hort.* (ISHS) 1052: 221-224.

Jackson, J.E., and J.W.Palmer. 1980. A computer model study of light interception by orchards in relation to mechanized harvesting and management. *Scientia Horticulturae* 13:1-7.

Jackson, J.E. 1985. Future fruit orchard design: Economics and biology. p. 441-459. In M.G.R. Cannell and J.E. Jackson (eds.) Attributes of tree as crop plant. Inst. Terrest. Ecol. Hunt., England.

Julian, J., Seavert, C., and J.L.Olsen. 2008. Establishing and producing hazelnuts in the Willamette valley-standard versus doublé density. VII International Congress on Hazelnut. *Acta* 845: 769-774.

Jung, S.K. 1994. Effects of planting density on the growth and nut yields of filbert trees *Corylus avellana* L. Research Report of the Forest Genetics Research Institute 30: 51-57.

Looney, N.E. 1968. Light regimes within standard size apple trees as determined spectrophotometrically. *Proceedings American Society of Horticultural Science* 93:1-6.

Mehlenbacher, S.A., and D.C. Smith. 1992. Effect of spacing and sucker removal on precocity of hazelnut seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117 (3): 523-526.

Palmer, J.W., and J.E.Jackson. 1974. Effects of tree populations and variations in spacing within and between rows of Golden Delicious on M.9.Rpt. E. *Malling Res. Sta.* 1973: 66-68. Maidstone, U.K.

Riggert, C., and P. Mac Donald. 1987. Managing filbert densities. *Proceedings of Nut Growers Society of Oregon, Washington and British Columbia.* 72 p.

Roversi, A. 2007. Aspetti agronomici e varietali della coltivazione del nocciolo. *Notiziario técnico* N° 75: 29-36.

Sansavini, S. 1982. High density orchards of various crops. *Proceedings XXIst International Horticulture Congress.* Volume 1: 182-197.

Verheij, E.W.M., and F.L.J.A.W.Werner. 1973. Light studies in a spacing trial with apple on a dwarfing and semi – dwarfing rootstock. *Scientia Horticulture* 1: 25-42.

Zimmerman, R.H. 1972. Juvenility and flowering in woody plants: A review. *HortScience* 7: 447-455.

CAPÍTULO 4



GESTIÓN DEL SUELO

**Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo
Felipe Marchant C., Ing. Agrícola**

La gestión del suelo se refiere a las labores o técnicas realizadas en la plantación, con el fin de controlar el desarrollo de malezas y de los hijuelos o sierpes en la base de los árboles.

El sistema radicular de los avellanos es afectado por las modificaciones de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, causadas por las técnicas de manejo especialmente durante la fase de formación del huerto.

En relación al impacto ambiental, las ventajas que pueden obtenerse con una conducción racional del suelo son obvias, en términos de gestión de los recursos hídricos y nutricionales y de mayor estabilidad hidrogeológica. Es decir, prevenir la erosión de los suelos, particularmente en aquellos de lomaje, que presentan una mayor pendiente.

En un huerto frutal es común diferenciar dos zonas: las sobre hileras y las entre hileras, independientemente si se encuentran en condición de secano o riego, factor que puede condicionar y concentrar el desarrollo de las raíces a lo largo de la hilera de plantación. Respecto a las modalidades de manejo del suelo, pueden señalarse el laboreo, cubiertas vegetales vivas, uso de herbicidas y acolchados sintéticos.

Es común pensar que el laboreo o la presencia de una cubierta vegetal permanente sobre toda la superficie del huerto son las únicas alternativas de manejo del suelo. Sin embargo, existen alternativas mixtas, que son preferibles, donde las hileras de plantación y entre hileras se manejan en forma distinta. Por ejemplo, si las entre hileras son laboreadas, en las sobre hileras puede aplicarse control químico y mecánico de las malezas o acolchado, o bien, si las entre hileras se mantienen con cubierta vegetal, las sobre hileras pueden manejarse con laboreo superficial, herbicidas o acolchados.

El mejor sistema de manejo del suelo dependerá de las características de las variedades (vigor de los cultivares, vigor de la combinación portainjerto/variedad en árboles injertados, tolerancia del portainjerto empleado a la competencia que ejerce la cubierta vegetal, otros), de las condiciones de suelo y clima de la zona, y disponibilidad o no de riego (Ellena, 2013; Ellena *et al.*, 2014).

4.1. Laboreo

En los principales países productores de avellanas y últimamente también en Chile, el mantenimiento del suelo utilizado se realiza con el laboreo mecánico, que permite una condición libre de malezas, particularmente para el momento de cosecha, que en la mayoría de los casos se realiza con máquinas cosecheras que aspiran la fruta desde el suelo. Sin embargo, los suelos en el sur de Chile, en general con pendientes, están extremadamente

expuestos y son muy afectados por la erosión, particularmente cuando ocurren lluvias fuertes, que causan importantes pérdidas de suelo y de nutrientes, afectándose en consecuencia la producción de este frutal. No obstante, en la actualidad se utiliza el laboreo en toda la superficie del suelo, principalmente en terrenos planos, de huertos en formación y especialmente en plantaciones en producción establecidas en áreas con riego escaso y menor caída pluviométrica. En sectores con suelos de lomajes (con pendientes mayores) no se recomienda el laboreo, por riesgo de que ocurra alta erosión, en particular en localidades ubicadas al sur de Temuco, con fuertes precipitaciones durante gran parte del invierno y primavera (Ellena, 2013; Ellena *et al.*, 2014; Roversi, 2007).

Para esta técnica de manejo del suelo, durante primavera y verano, se efectúan labores superficiales (10-15 cm de profundidad), para eliminar malezas y evitar su competencia por agua y nutrientes. A fines de verano - principios de otoño, antes de la reanudación de las lluvias, pueden realizarse a una profundidad mayor (15-20 cm), para incorporar eventuales compuestos orgánicos, que contribuyen a la acumulación de agua en las estratas más profundas del suelo durante el invierno.

La práctica de laboreo a lo largo de las hileras de plantación, habitualmente es acompañada por el establecimiento de una cubierta vegetal entre las hileras, en especial en huertos nuevos. Su objetivo principal es eliminar malezas y limitar las pérdidas de agua por evaporación en la zona de mayor concentración de raíces. Las labores deben repetirse periódicamente durante el transcurso de la estación vegetativa (período de crecimiento del árbol, desde brotación hasta previo la caída de hojas). Deben realizarse superficialmente para evitar daños al sistema radicular del avellano. La compactación del suelo entre las hileras, causada por el laboreo, es una de las principales limitantes de esta práctica, por ello deben elegirse las máquinas adecuadas para evitar o reducir al mínimo la formación de pie de arado y la fragmentación excesiva de las partículas del suelo. Estos fenómenos pueden ocasionar encharcamientos y condiciones de asfixia a nivel de raíz, provocando severos daños a los árboles. El empleo de equipos como fresadoras rotativas y rastras de disco, y diferenciación en la profundidad del laboreo del suelo en el transcurso de la estación, contribuye en parte a evitar el problema (Ellena *et al.*, 2013; Roversi, 2007).



Foto 1. Labores de suelo realizadas con diferentes tipos de máquinas, rastra de discos (izquierda) y fresadora rotativa (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

El laboreo mecánico se realiza con equipos de diverso tipo (rastra de discos, rastra de clavos, fresadoras, otras), algunos de las cuales se usan a lo largo de las hileras, puesto que disponen de sensores palpadores para evitar daños en troncos. Con labores superficiales (10 cm de profundidad), estas máquinas tienen una capacidad de trabajo promedio de 1-1,5 hr/ha⁻¹ (Carli, 1998; Ellena y Rombolá, 2000; Ferrari *et al.*, 1998; Marangoni, 1998).

Con el laboreo frecuente del suelo se remueve la estrata explorada por las máquinas y equipos, quedando el terreno más o menos finamente desmenuzado o incluso hasta pulverizado, particularmente al emplear fresadoras rotativas. Este tipo de maquinaria reduce los terrones superficiales y cuando el suelo se encuentra muy seco se produce mullimiento excesivo, eliminando prácticamente todas las malezas, adicionalmente se incorporan los residuos triturados a la capa de suelo laboreado.

Por otra parte, en suelos trumaos, estos equipos pueden eventualmente destruir la estructura y, en el largo plazo, producir una capa impermeable (pie de arado) bajo el nivel del terreno alcanzado por los equipos. Además, esta capa impermeable es una resultante de fenómenos de eluviación químico-física donde pequeñas partículas sólidas formadas en la parte superficial del suelo, por la acción disgregante de pequeñas azadas, son movilizadas en profundidad por el agua de percolación. A consecuencia de ello, se depositan y se cementan en un sector de transición entre el suelo laboreado y no labrado (Ellena *et al.*, 2013).

En la parte superior del pie de arado ocurre una impermeabilización casi total del suelo, que tiene consecuencias negativas para el intercambio hídrico y gaseoso del suelo, repercutiendo en el desarrollo, productividad y vida útil del huerto.

Con el fin de retardar la formación del pie de arado es recomendable alternar diferentes tipos de maquinaria (fresadoras rotativas, rastras de clavos, rastras de discos) y cambiar el tipo de manejo o gestión del suelo. Adicionalmente, es aconsejable variar la profundidad del laboreo hasta ciertos límites permitidos por la distribución de las raíces (Baldini, 1992). El problema del pie de arado no ocurre en suelos de textura liviana y en aquellos manejados con técnicas alternativas (uso de herbicidas, cubiertas vegetales permanentes o acolchados sintéticos y naturales) sobre la hilera de plantación (Ellena *et al.*, 2013).

El laboreo finaliza con la incorporación periódica de fertilizantes y particularmente con la constitución y conservación de las reservas hídricas del suelo. Tiene por finalidad facilitar la infiltración de las aguas lluvia en el suelo y permitir una mayor capacidad de almacenaje de ellas y, eliminar malezas que ejercen competencia hídrica y nutricional con el huerto y posibles efectos alelopáticos (Baldini, 1992). Adicionalmente, las malezas o hierbas espontáneas pueden ser hospederas de insectos, particularmente plagas subterráneas, hongos y bacterias nocivas, permitiéndoles completar su ciclo biológico y propagarse de manera sucesiva.

4.1.1. Cubierta vegetal

En zonas con lluvias suficientes y una distribución regular de éstas en primavera y verano, o donde se dispone de recurso hídrico para riego, las labores normales del suelo pueden reemplazarse por cubiertas vegetales. Es decir, es factible mantener constantemente cubierto el suelo con la flora espontánea o recurrir a la siembra artificial de una cubierta herbácea.

Una cubierta pratense, manejada en forma correcta, tiene las siguientes ventajas:

- Una acción positiva sobre la fertilidad del suelo, en particular, una mejor distribución y disponibilidad de nutrientes de muy escasa movilidad en el perfil del suelo (ej. fósforo)
- Aumenta el nivel de materia orgánica del suelo, debido a la siega de la cubierta (4-5 ton ha⁻¹ de materia seca), que mineralizada puede aportar una cantidad considerable de elementos nutritivos. Siete toneladas de pasto segado por hectárea equivalen a aproximadamente 50 kg de nitrógeno, 50 kg de potasio, 10 de calcio y 5 de fósforo y magnesio, dependiendo principalmente de la cubierta vegetal, manejo y tipo de suelo
- Facilita el tránsito de maquinaria, reduciendo el daño ocasionado al suelo aunque esté mojado, disminuyendo la compactación provocada por el peso de máquinas y equipos

- Disminuye el polvo, que es un problema particularmente durante la labor de cosecha
- Permite una mayor porosidad y permeabilidad de la estrata superficial del suelo, con efectos positivos sobre la humedad de éste
- Previene la erosión y escurrimiento superficial del agua en suelos con mayor pendiente
- Mejora las condiciones microclimáticas para los árboles (menores diferencias térmicas en primavera).

No obstante, la cubierta vegetal presenta una buena integración entre árboles y ambiente, su manejo no está libre de limitantes, ya sean económicos (la cubierta debe ser segada periódicamente) o agronómicos (competencia por agua y nutrientes). La mayor densidad de raíces en las especies herbáceas utilizadas en las cubiertas vegetales vivas genera rápidamente una mayor biomasa por unidad de suelo, con el riesgo de crear condiciones de estrés para las plantas de avellano, en particular en la fase de formación y establecimiento de la cubierta. Ello determina que la fertilización y el riego requeridos por el huerto deban sobredosificarse para cubrir también las necesidades de las especies pratenses de la cubierta. Luego de establecida, la cubierta vegetal estará en condiciones de contribuir al balance nutricional del huerto, por reciclaje y mineralización de la materia orgánica proveniente del corte (Bignami *et al.*, 1999; Carli, 1998; Ellena *et al.*, 2007; Ellena, 2010; Ferrari *et al.*, 1998).

Como ya se indicó, en un huerto moderno de avellano, con frecuencia se opta por sistemas mixtos, con cubierta en la entre hilera y laboreo, control químico o acolchado, y materiales inertes en la sobre hilera. El uso de una cubierta vegetal en toda la superficie del huerto no se recomienda por diferentes motivos: desde la necesidad de reducir la competencia por agua y nutrientes, hasta aquella de limitar la proliferación de plagas como roedores bajo la cubierta, que pueden ocasionar graves daños en las raíces de los árboles, especialmente durante el receso vegetativo (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 2. Huerto de avellano, con cubiertas vegetales entre hileras.

Fuente: INIA Carillanca

4.1.2. Cubiertas vegetales temporáneas

Las cubiertas vegetales temporáneas o abonos verdes se pueden obtener mediante especies anuales que permanecen solamente por un cierto período del año, que luego son sometidas a cortes e incorporadas superficialmente al suelo. Los mejores resultados en fruticultura se han logrado con el establecimiento de cereales, leguminosas y crucíferas en otoño (Carli, 1998; Ellena *et al.*, 2012).

Entre las principales especies utilizadas para abonos verdes en especies frutales destacan:

- **Cereales:** especies como avena, trigo, centeno y cebada son relativamente fáciles de establecer y proporcionan una elevada cantidad de biomasa. Ello, permite incrementar el nivel de materia orgánica del suelo, mejorar las propiedades físicas y químicas de éste, favorecer las poblaciones de organismos útiles para los árboles e incrementar la biodiversidad, dada la presencia de dichas especies herbáceas en proximidad a los frutales.
- **Leguminosas:** especies como lupino, arveja, haba, chícharo, vicia, trébol, entre otras, han permitido aumentar la cantidad de nitrógeno en el suelo.
- **Crucíferas:** en general, especies como raps y mostaza, presentan un crecimiento rápido y resistencia al frío, que una vez incorporadas

al suelo liberan rápidamente nitrógeno (Mullinx y Granatstein, 2011). Estas especies producen también un eficiente control de malezas, dado que durante su crecimiento presentan una elevada competencia con la flora espontánea y con ello limitan el desarrollo de la potencial flora en el suelo, lo que implica una gestión sostenible de las malezas en el huerto (Montemurro *et al.*, 2001; Montemurro y Fracchiolla, 2013).



Foto 3. Establecimiento de cubierta vegetal temporánea con cereales, en huerto joven de avellano europeo. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 4. Establecimiento de cubierta vegetal temporánea con leguminosa (lupino), en huerto joven de avellano europeo cv. Barcelona. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Diversos autores mencionan importantes incrementos en el contenido de materia orgánica del suelo, nitrógeno, mediante la utilización de cereales y crucíferas sembradas solas o en mezcla, con alta producción de biomasa (Granatstein y Sánchez, 2009; Hoagland *et al.*, 2008). Además, se ha demostrado que los cortes tardíos de estas especies en primavera, cuando la biomasa es rica en fibra, incrementan el humus estable (Marangoni, 1998). Estudios realizados por INIA Carillanca con cubiertas vivas anuales en cerezos determinaron incrementos en los valores de materia orgánica del suelo, con adición de compost respecto a su omisión, particularmente con compost más raps/avena/centeno (Ellena *et al.*, 2012). Por otra parte, las cubiertas vegetales han evidenciado ser un efectivo componente integrado para el manejo de malezas en avellano y otras especies frutales, previniendo pérdidas de nitrógeno, escorrentía, erosión del suelo; además contribuyen a mejorar la estructura, enriquecimiento del nivel de nitrógeno (fijación por leguminosas), hábitat para insectos beneficiosos, modificaciones microclimáticas y control de malezas por competencia directa (Ngouajio y Mennam, 2005), o a través de interacciones alelopáticas (Barnes y Putman, 1986).

Adicionalmente, otros estudios determinaron que las cubiertas incorporadas sobre el suelo disminuyeron la germinación de semillas al establecimiento de los cultivos y evitaron el crecimiento de las malezas. Investigaciones efectuadas en el extranjero con brassicas han determinado su potencial para inhibir la germinación de semillas y crecimiento de malezas (Ackroyd y Ngouajio, 2011; Brennan y Smith, 2005; Norsworthy *et al.*, 2011) por su contenido en glucosinolatos, que después de hidrólisis enzimática liberan isotiocianatos (compuestos alelopáticos) que pueden suprimir a las malezas (Al- Khatib *et al.*, 1997; Boydston y Hang, 1995).



Foto 5. Establecimiento de cubierta vegetal temporánea (cereales, leguminosas y crucíferas) en huerto joven de avellano europeo, cv. Barcelona. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

4.1.3. Control químico

El control químico de malezas puede efectuarse con herbicidas en toda la superficie del suelo (entre y sobre hileras), o bien en bandas sobre la hilera de plantación, con las siguientes ventajas:

- Reducir los costos de manejo del suelo
- Mejorar la conservación de la humedad del suelo, las características físicas en el perfil de éste y el desarrollo de las raíces de los árboles
- En suelos con mayor pendiente, el uso de herbicidas en toda la superficie puede evitar la erosión en comparación al laboreo
- Facilitar la cosecha de las avellanas.



Foto 6. Gestión del suelo mediante control químico de maleza en invierno y verano. Huerto avellano europeo, cv. Barcelona, 10 años de edad. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 7. Equipos para el control químico de malezas, barra de aplicación con protector "tipo estrella" (izquierda) y minipulverizador con barra de aplicación lineal (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

Las malezas perennes representan un serio problema, afectando el desarrollo de los árboles, en particular durante los primeros cuatro años de vida del cultivo. Por ello, se recomienda aplicar herbicidas de contacto en los primeros dos años y a partir de la tercera temporada glifosato, en primavera y previo al receso vegetativo de las malezas (marzo-abril), antes de iniciar el laboreo del suelo en otoño (abril-mayo). El motivo de esto es que los árboles de avellano europeo presentan susceptibilidad a glifosato durante la etapa juvenil. (Ellena *et al.*, 2013).

Los principales herbicidas utilizados en el cultivo del avellano europeo son:

- **Herbicidas de pre-emergencia.** Se utilizan preventivamente, son poco solubles en agua, permanecen un tiempo en la parte superior del suelo y tienen una gran persistencia. Los herbicidas pre-emergentes pueden ser muy eficientes al reducir la resistencia al glifosato, al prevenir malezas originadas de semillas que pueden tener resistencia parcial (Olsen y Peachey, 2013).

Los herbicidas pre-emergentes deben previamente activarse en el suelo para lograr una buena acción. Estos son activados por la lluvia, riego y labranza del suelo. Se ha demostrado que este tipo de herbicidas debe incorporarse al suelo para ser efectivo (Olsen y Peachey, 2013). Estudios realizados en huertos de avellano europeo en Estados Unidos han determinado que la aplicación de herbicidas pre-emergentes al comienzo de las lluvias de otoño-invierno y en primavera antes que ellas terminen ha sido altamente eficaz para el control de malezas (Olsen y Peachey, 2013). Entre los herbicidas de pre-emergencia que en Chile presentan registro destaca el herbicida Valor, el cual se aplica al suelo y permanece superficialmente (2 a 3 cm) formando una "barrera superficial". Las semillas al germinar atraviesan esta barrera y con ello las malezas absorben al herbicida causando la desecación de sus tejidos e inmediatamente la muerte de aquellas susceptibles. Por ello, es importante mantener intacta esta barrera para lograr una buena acción de los herbicidas. Una alteración del suelo, eventualmente, podría quebrar la barrera y con ello permitir la germinación de las semillas de las malezas. Cabe señalar que, al igual que otros herbicidas residuales, el control de pre-emergencia es mejor cuando el producto es aplicado en un suelo libre de malezas (Olsen y Peachey, 2013).

- **Herbicidas de pos-emergencia.** Se aplican sobre malezas emergidas y son más solubles en agua que los herbicidas de pre-emergencia. De estos productos destacan Paraquat, Diquat (más usado como desecante) y Glifosato. El Paraquat actúa por contacto, ejerciendo su efecto en la zona en que se aplica; se recomienda una dosis de 3 a 4 Lha⁻¹ de producto comercial al 20%, junto con un buen surfactante. Es un producto de acción rápida y fácil manejo que no deja residuos a nivel de suelo. Se puede emplear como complemento a herbicidas pre-emergentes para controlar un amplio

espectro de malezas (gramíneas y de hoja ancha) que aparezcan durante la temporada. En plantaciones jóvenes se recomienda su aplicación con pantallas protectoras de boquillas, para evitar daño en la corteza inmadura de los árboles de avellano europeo (Ellena, 2013).

El glifosato es uno de los herbicidas más usados, es sistémico y tiene un campo de acción muy amplio. Las dosis varían desde 2 a 6 litros por hectárea de producto comercial. Actúa sobre una gran cantidad de malezas difíciles de controlar con otros herbicidas. Sin embargo, en estudios realizados en el extranjero se ha observado resistencia al herbicida por parte de biotipos de ballicas anuales debido a su uso reiterado en huertos de avellano europeo (Olsen y Peachey, 2013). En Chile, lamentablemente aún no se han realizados estudios con este producto en el cultivo del avellano europeo. Sin embargo, observaciones de campo realizadas en el sur de Chile indican resistencia de algunas ballicas anuales al glifosato (Plataforma Frutícola, INIA Carillanca, 2015). Por ello, se recomienda la utilización de herbicidas que presentan diferentes sitios de acción, que pueden ser aplicados en rotación con glifosato, a objeto de evitar riesgos de resistencia incluso en otras especies de malezas (Olsen y Peachey, 2013).

Otros herbicidas utilizados en avellano como pre y pos-emergentes son de la familia de la n-fenilimidazoles cuyo ingrediente activo es Flumioxazin (nombre comercial Valor 50 WP). Este herbicida es adecuado para el control de malezas gramíneas en pre-emergencia y de hoja ancha en pre y pos-emergencia. Para aumentar el espectro de control, las aplicaciones de pos-emergencia se deben realizar en mezcla con Glifosato. Es importante evitar la deriva del producto, ya que este herbicida se caracteriza por presentar una elevada actividad por contacto con los tejidos verdes. La dosis utilizada es de 50-100 g ha⁻¹.

Entre los herbicidas de pre y pos-emergencia en avellano también cabe mencionar a oxifluorfen, que controla malezas de hoja ancha y algunas gramíneas en aplicaciones de invierno (abril-agosto). Se recomienda realizar las aplicaciones sólo hasta 15 días antes de brotación. Este herbicida se puede aplicar en plantas nuevas desde el primer año de establecido el huerto, con la precaución de no aplicarlo en dosis mayores a 2 Lha⁻¹ y no mojar los troncos poco lignificados de los árboles durante los dos primeros años. En el caso de suelos arenosos y de bajo contenido en materia orgánica (< 1,5%), no se recomienda su aplicación (según recomendación del fabricante). En los suelos volcánicos del sur de Chile, dado su elevado porcentaje de materia orgánica, no existirían inconvenientes para su empleo. En Chile no existen estudios reportados sobre uso de herbicidas para control de malezas (pre y pos-emergencia) en el cultivo de avellano europeo.

Los herbicidas granulados de pre y pos-emergencia a base de Diclobenilo (ej. Casaron G), del grupo químico benzonitrilo, son sistémicos (efecto residual)

y se usan para controlar malezas gramíneas y de hoja ancha. Pueden aplicarse en avellano durante el invierno o temprano en la primavera, para control de pre-emergencia de las malezas o en pos-emergencia, en estadios iniciales de las malezas y con temperaturas bajas, para evitar pérdidas del producto por volatilización. El producto puede aplicarse en torno a la taza del árbol con la ventaja de no ocasionar daño por deriva (producto granular), es particularmente importante en plantas nuevas de avellano europeo. Las dosis recomendadas varían entre 40-60 kg ha⁻¹, usando la dosis más alta sólo para árboles mayores de dos años y con fuerte presión de malezas. Se debe aplicar sobre la superficie del suelo, sin incorporarlo, preferentemente antes de una lluvia o riego (Según recomendación del fabricante).

- **Mezcla de herbicidas.** Se pueden emplear en forma asociada con diferentes tipos de herbicidas. Una mezcla frecuente es la de un herbicida de pre-emergencia en base a Simazina y uno de pos-emergencia como Aminotriazol, cuya aplicación se recomienda aplicar para fines de invierno. Además, dentro del grupo de los herbicidas de pos-emergencia se puede emplear la asociación de Glifosato más MCPA. Con éste último, tener la precaución de aplicarlo sin viento y con temperatura ambiental inferior a 28°C (Ellena *et al.*, 2013).

4.1.4. Acolchado

Consiste en cubrir una franja de suelo sobre la hilera de plantación con materiales de diferente naturaleza. Pese a sus efectos positivos sobre la actividad vegetativa y productiva de los árboles frutales (Ellena *et al.*, 2012; Ellena *et al.*, 2013), ha sido escasamente difundido en el cultivo del avellano europeo, debido principalmente a sus elevados costos, especialmente en huertos de gran tamaño. En huertos pequeños puede ser una alternativa interesante al uso de herbicidas sobre la hilera de plantación y para el control de sierpes en un sistema de conducción en monoeje. Sus ventajas son diversas:

- Reduce pérdidas de agua por evaporación
- Controla eficazmente las malezas
- Aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, al emplearse materiales de origen orgánico
- Eleva la temperatura del suelo, permitiendo mayor actividad de la microflora del suelo, un control de malezas más eficiente y mejor mineralización de la materia orgánica
- Conserva la estructura del suelo
- Favorece el crecimiento y desarrollo de los árboles, durante su etapa de formación
- Aumenta el rendimiento de fruta por árbol.

Corroborando lo señalado sobre el efecto de la temperatura del suelo, en condiciones agroclimáticas del sur de Chile, estudios realizados por INIA Carillanca, determinaron un aumento de ella (1,5-2°C), con el uso de acolchado plástico de polipropileno negro (Ellena *et al.*, 2013). Ello concuerda con lo informado en estudios realizados en el extranjero y también con aquello señalado para otras especies frutales (cerezo dulce) a nivel nacional.

INIA Carillanca realizó estudios en la temporada (2012), establecidos en un suelo trumao de la Comuna de Gorbea (Región de La Araucanía), conducentes a establecer el efecto del acolchado, con cubiertas sintéticas de polipropileno de color negro, sobre parámetros vegetativos y productivos del avellano europeo (cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni), lo cual puede apreciarse en las Figuras 1 a 4. Adicionalmente, se muestra su efecto (Figura 5) sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (7 años de edad), (temporada 2016) en un suelo trumao del Centro Regional INIA Carillanca (Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía).

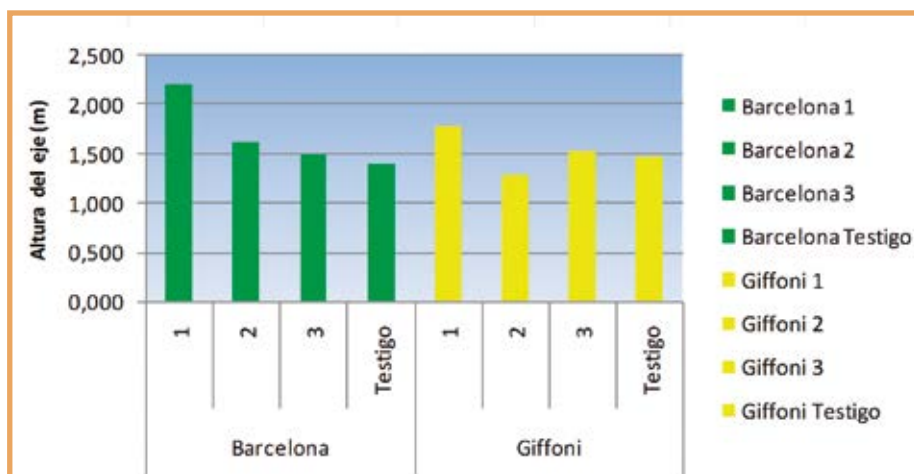


Figura 1. Efecto del acolchado con cubiertas sintéticas de polipropileno de color negro sobre parámetros vegetativos, longitud o altura del eje (m), cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni (4 años de edad). Temporada 2012, Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

En árboles nuevos de avellano europeo, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, los tratamientos de cubierta sintética y los testigos (suelo desnudo), no determinaron diferencias importantes entre ellos en la altura de su eje en un suelo trumao de la comuna de Gorbea, en la Región de La Araucanía (Figura 1), requiriéndose aún un mayor horizonte de tiempo de evaluación para concluir sobre esta materia.

En relación a la longitud de los brotes laterales, las cubiertas sintéticas tampoco condujeron a diferencias importantes del parámetro respecto de la condición del testigo (suelo desnudo), en ambos cultivares de este árbol frutal, siendo válidas las consideraciones antes indicadas para el caso de la altura del eje de los árboles (Figura 2). Contrastando con esta tendencia, investigaciones realizadas en el extranjero, en cerezo, determinaron un mayor crecimiento aéreo y radicular en huertos con cubiertas sintéticas que en aquellos con suelo desnudo (testigo), (Núñez-Elisea *et al.*, 2005a,b)

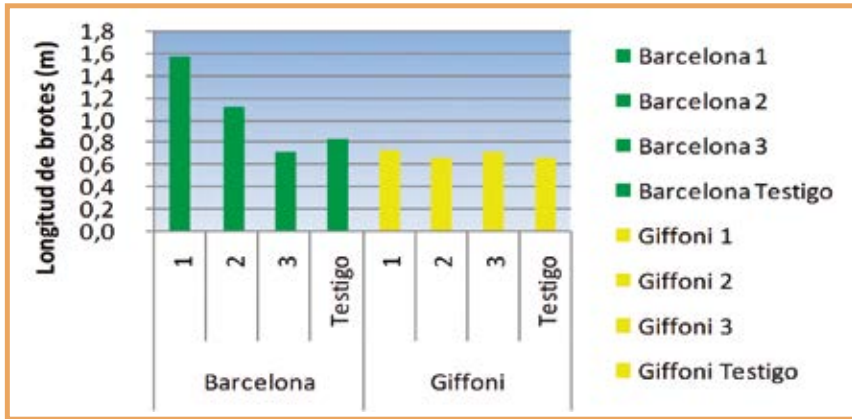


Figura 2. Efecto de las cubiertas sintéticas de polipropileno de color negro sobre la longitud de brotes laterales (m), cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni. Temporada 2012, Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

Similar situación ocurrió con el parámetro diámetro del eje, en que las cubiertas sintéticas usadas sobre las hileras de plantación en árboles jóvenes de cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni no determinaron diferencias importantes respecto del testigo, sin cubierta (Figura 3).

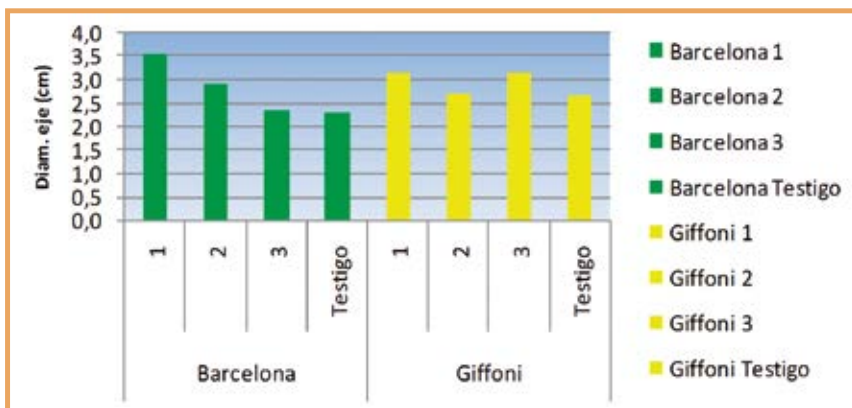


Figura 3. Efecto del acolchado de polipropileno de color negro sobre el diámetro del eje, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni (4 años de edad). Evaluado el 2016, Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

Contrariamente a lo señalado para los parámetros anteriores, en huertos nuevos de avellano europeo cv. Barcelona, se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de fruto (g árbol^{-1}), en condiciones de manejo con cubierta sintética respecto del alcanzado con el testigo (sin cubre suelo sobre la hilera de plantación) (Figura 4). Ello podría eventualmente ser un reflejo de una mayor temperatura acumulada bajo la cubierta, mayor disponibilidad de nutrientes y mejor control de malezas. En el caso del cv. Tonda di Giffoni, se observaría una tendencia parecida, aunque de inferior magnitud (Ellena *et al.*, 2013). Estos resultados concuerdan con aquellos obtenidos en estudios realizados en huertos jóvenes (4 años de edad) de cerezo dulce, cv. Regina/Gisela 6, en que las cubiertas sintéticas determinaron un mayor rendimiento y calidad de fruta que el testigo sin cubierta (Núñez-Elisea *et al.*, 2005a, b). Como ya se señaló, se requiere aún de un mayor horizonte de tiempo de investigación para concluir respecto del efecto de las cubiertas sintéticas sobre el rendimiento de frutos de ambos cultivares de avellano europeo, en las condiciones de suelo y clima del área de Gorbea, en la Región de La Araucanía.

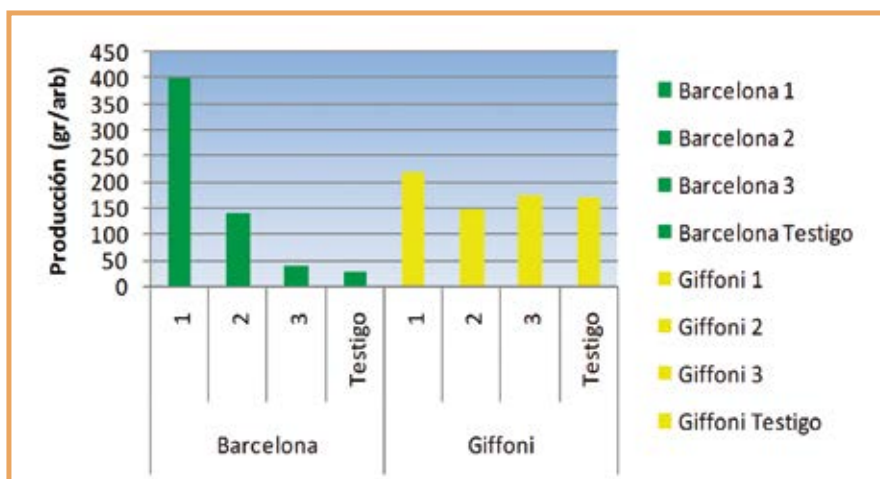


Figura 4. Efecto del acolchado de polipropileno de color negro sobre el rendimiento de fruto (g/árbol^{-1}), cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni (4 años de edad). Temporada 2012, Gorbea, Región de La Araucanía.

En huertos adultos del cv. Barcelona, en la comuna de Vilcún, no se aprecian diferencias importantes de rendimiento de fruto (kg ha^{-1}) entre tratamientos con cubierta y el testigo sin cubierta (Figura 5), correspondiendo eso sí a una condición de suelo y clima muy diferente a la de la comuna de Gorbea.

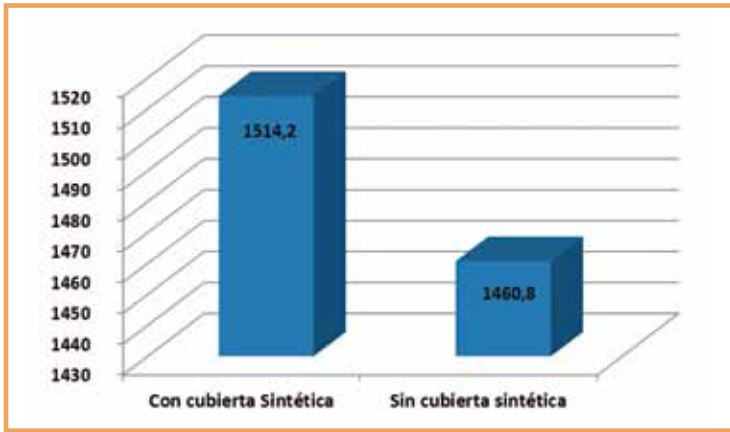


Figura 5. Efecto de cubiertas sintéticas sobre el rendimiento de frutos del avellano europeo, cv. Barcelona (7 años de edad), (temporada 2016). Centro Regional INIA Carillanca, comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

En el control de malezas, los mejores resultados se han obtenido utilizando polipropileno de color negro (Ellena *et al.*, 2007; Ellena *et al.*, 2012; Ellena *et al.*, 2013). Con láminas plásticas de otras tonalidades o con el empleo de cubiertas o mulch con materiales orgánicos, el efecto puede ser parcial. El material y color del acolchado también influye sobre la temperatura del suelo (es mayor con PVC). En la actualidad existen materiales plásticos foto-selectivos de color rojo oscuro que aumentan la temperatura del suelo, mejorando el control de malezas mediante un efecto físico. Sin embargo, el costo de estos materiales es elevado para utilizarse a gran escala en huertos comerciales de avellano.



Foto 9. Acolchado en avellano, con cubre piso de polipropileno de color negro, cv. Barcelona (7 años de edad). Centro Regional INIA Carillanca, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

La disminución de la evapotranspiración por uso de acolchado es importante en zonas donde el cultivo es de secano, favoreciendo la conservación de la humedad en el suelo. El avellano europeo, dado que posee un sistema radicular desarrollado más bien superficialmente debería aprovechar mejor esta condición, logrando así una mayor actividad vegetativa y precocidad en la entrada en producción.

Las cubiertas de naturaleza inorgánica, como polietileno (PE) y policloruro de vinilo (PVC), tienen una vida útil variable (3 a 5 años), dependiendo del grado de sensibilidad a los rayos ultravioletas, responsables de su degradación. Existen film plásticos de diversos colores: negro, azul, rojo oscuro (no dejan pasar las radiaciones visibles y calóricas), blancos (transparentes a la luz visible) y de color aluminio, adaptados para reflejar las radiaciones luminosas y calóricas en aquellos ambientes caracterizados por una luminosidad insuficiente. mover más arriba donde se habla de las cubiertas sintéticas.

El empleo de acolchado presenta ciertos inconvenientes: elevado costo del material inorgánico y su aplicación reiterada cuando se utilizan materiales orgánicos, residuos plásticos (no fotodegradables) y dificultad de realizar intervenciones localizadas de riego y fertilización. Esto último puede obviarse con fertirrigación bajo el acolchado y uso de materiales permeables que permitan aplicar e incorporar fertilizantes granulados. Algunos materiales permeables tienen una durabilidad de 6-8 años dependiendo de su cuidado.

Los materiales orgánicos (paja de cereales, corteza de árboles, entre otros) son objeto de descomposición. Para garantizar su eficacia deben ser periódicamente reintegrados al suelo.



Foto 10. Acolchado orgánico (paja de cereales) en huerto joven de avellano europeo manejado bajo modalidad orgánica. Centro Regional INIA Carillanca.

Fuente: INIA Carillanca

El acolchado orgánico a base de paja (cereales) solo se recomienda para la fase en formación de los huertos (hasta dos años de edad), en producción bajo modalidad orgánica, ya que cuando inicia su etapa de producción dificulta la cosecha. Posteriormente, el control de malezas sobre la hilera de plantación debe realizarse en forma mecánica (Foto 11).



Foto 11. Máquina para control mecánico de malezas.

Fuente: INIA Carillanca

Este tipo de maquinaria permite realizar un control de malezas más amigable con el medio ambiente al prescindir del uso de herbicidas, que podrían contaminar el suelo y las napas freáticas. No obstante, actualmente no existen estudios en Chile y el extranjero que determinen una menor contaminación mediante el uso de equipos mecánicos que con la aplicación de herbicidas en el cultivo del avellano europeo.

Referencias Bibliográficas

- Ackroyd, J.V., and M. Ngouajio. 2011. Brassicaceae cover crops affect seed germination and seedlings establishment in cucurbit crops. Hort. Tech. 21: 525-532.
- Al-Khatib, K., Libbey, C., and R.Boydston. 1997. Weed suppression with Brassica green manure crops in green pea. Weed Sci. 45: 439-445.
- Baldini, E.1992. Arboricultura General. Ediciones Mundi-Prensa. 379 p. Madrid, España.
- Barnes, J., and A.R.Putman. 1986.Evidence for allelopathy by residues and aqueous extracts of rye (*Secale cereale*). Weed Sci. 34: 384-390.
- Bignami, C., De Salvador, R.F., e G. Strabbioli. 1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della corilicoltura nel Lazio. Rivista de Frutticoltura e di Ortofloricoltura N° 11: 16-27.
- Boydston, R., and A. Hang. 1995. Rapeseed (*Brassica napus*) green manure crop suppresses weeds in potato (*Solanum tuberosum*). Weed Technology 9: 669-675.
- Brennan, E.B., and R.F. Smith. 2005. Winter cover crop growth and weed suppression on the central coast of California. Weed Technology 19 (4): 1017-1019.
- Carli, G. 1998. La gestione del suolo del frutteto. Linea guida per l´Agricoltura Biologica (Eds)Edagricole. Bologna, Italia.373 p.
- Davenport, J., and D.Granatstein. 2010. Progress report: growing nitrogen in the organic orchard. Organic Farming Research for the Northwest. Center for Sustainable Agriculture and Natural Resources.Washington State University, Wenatchee. WA, USA.
- Ellena, M.,y A. Rombolá. 2000. Cerezo dulce: orientaciones para un moderno manejo del suelo. Tierra Adentro N° 35:18-21.
- Ellena, M., Alvear, M., y C. Bustamante. 2007. Effects of the different techniques in the plantation line on vegetative behavior and chemical, physical and biological factors of the soil of cv. Barcelona (*Corylus avellana* L.) in the south Chile. Books of abstracts 7th International Congress on Hazelnut. Viterbo. Italy. p.125

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. Boletín INIA N° 202. 88p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., y A. González. 2012. Il boom della coricoltura cilena. *Corylus & Co.* Anno III, número 1-2012. p. 21-28.

Ellena, M. 2013. Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274. 202 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., y G. Azócar. 2013. Gestión del suelo. p. 80-92. In Ellena, M. (ed.) Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., Montenegro, A., y J. Jequier. 2014. Preliminary observations on the effects of soil management techniques on hazelnut growing in the Gorbea area, in the South of Chile. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. *Acta Horticulturae* 1052: 225-230.

Ferrari, R., Burgio, G., Boriani, L., Cavazzuti, C., e M. Pozzati. 1998. La Biodiversità, Linee Guida per l'Agricoltura Biologica (eds) Edagricola. Bologna, Italia. 373 p.

Granatstein, D., and E. Sanchez. 2009. Research knowledge and needs for orchard floor management in organic tree fruit systems. *Int.J. Fruit Sci.* 9: 257-281.

Hoagland, L., Carpenter-Boggs, L., Granatstein, D., Mazzola, M., Smith, J., Peryea, F., and J.P. Reganold. 2008. Orchard floor management effects on nitrogen fertility soil biological activity in a newly established organic apple orchard. *Biol. Fertil. Soils* 45: 11-18.

Marangoni, B. 1998. *L'Informatore Agrario*. p. 27-28.

Montemurro, P., Sgattioni, P., e L. Sicher. 2001. Il diserbo delle colture arboree. p. 749-765. In Catizone P., e G. Zanin G. (eds.) *Malerbologia*. Ed. Patron-Padova, Bologna, Italia.

Montemurro, P., e M. Fracchiolla. 2013. La gestione della flora infestante. p. 749-765 In M. Pisante (ed.) *Agricoltura Sostenibile*. Edagricole-Edizione Agricole de Il Sole 24 Ore s.p.a, Bologna, Italia.

Mullinx, K., and D.Granatstein. 2011. Potential nitrogen contributions from legumes in Pacific Northwest apple orchards. *Intl. J. Fruit Sci.* 11: 74-87.

Ngouajio, M., and H. Mennan. 2005. Weed populations and pickling cucumber (*Cucumis sativus*) yield under summer and winter cover crop systems. *Crop Prot.* 6: 521-526.

Norsworthy, J.K., McClelland, M., Griffith, G., Bangarwa, S.K., and J.Still. 2011. Evaluation of cereal and brassicaceae cover crops in conservation-tillage, enhanced, glyphosateresistant cotton. *Weed Technol* 25: 6-13.

Núñez-Elisea, R., Cahn, H., Caldeira, L.,and C. Seavert. 2005a. Polypropyleneog row covers greatly enhance growth and production of fourth-leaf sweet cherry trees. *HortScience* 40: 1129 (abstr.).

Núñez-Elisea, R., Cahn, H., Caldeira, L., and C.Seavert. 2005b. Synthetic fabric covers as tool to promote early yield and fruit quality in Regina sweet cherry. *Compact Fruit Tree* 38: 38-39.

Olsen, J., and E.Peachey. 2013. Orchard Floor Management.Oregon State University, OSU, Extension Service. p.1-4. Oregon, USA.

Roversi, A. 2007. Aspetti agronomici e varietali della coltivazione del nocciolo. *Notiziario Tecnico* N°75. p. 29-36.

CAPÍTULO 5



FERTILIZACIÓN

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Adolfo Montenegro B. Ing. Agrónomo M.Sc.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo

La fertilización es un factor determinante para un adecuado desarrollo de los árboles de avellano europeo, durante su fase de formación y durante su etapa productiva. El crecimiento de ellos y su rendimiento depende del nivel de disponibilidad de nutrientes en el suelo. Una adecuada fertilización de los avellanos debe considerar el tipo de suelo y su disponibilidad de nutrientes en particular, condición climática y requerimientos nutritivos de los árboles, o sea de macro y micronutrientes que las plantas extraen del suelo para su adecuado crecimiento vegetativo y producir una determinada cantidad de avellanas de buena calidad.

La fertilización debe considerar:

- Satisfacer los requerimientos nutricionales de los árboles
- Mantener un adecuado equilibrio entre la actividad vegetativa y productiva
- Disminuir al máximo el costo de las aplicaciones
- Reducir los riesgos de pérdidas por lixiviación (ej., nitrógeno) y por consiguiente los costos e impacto ambiental.

La extracción de nutrientes es variable y depende de la edad de los árboles, densidad de plantación, año, localidad y carga productiva. En tal sentido, para una adecuada fertilización de esta especie frutal se necesitan antecedentes (datos) sobre sus requerimientos nutricionales y el suministro de nutrientes del suelo. Antes de plantar es recomendable efectuar un análisis físico y químico del suelo. Se necesita construir una calicata para determinar la profundidad del suelo y presencia de algunos impedimentos (napas freáticas superficiales, capas impermeables, moteados). Estos influyen en la compactación del suelo, aireación, otros, incidiendo en la respuesta a la aplicación de fertilizantes y con ello, sobre el desarrollo radicular y por consiguiente en la parte aérea del árbol (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 1. Calicata que muestra perfil del suelo.

Fuente: INIA Carillanca

El crecimiento y desarrollo anual del avellano europeo en su etapa de formación y producción presenta variaciones que responden al manejo de los árboles y a la interacción con los factores edáficos y climáticos. Estas variaciones pueden inducir a cambios estacionales reversibles en la concentración interna de los diferentes nutrientes esenciales, que posteriormente afectarán el crecimiento, desarrollo, anticipación en la entrada en producción, rendimientos y calidad de la fruta (Ellena *et al.*, 2013).

5.1. Análisis de suelos

El rendimiento de un huerto de avellano puede ser afectado por diferentes factores, entre ellos, la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo para los árboles. Cuando éstos no se encuentran en cantidades adecuadas, se requiere incorporarlos mediante fertilizantes para suplir los requerimientos de los avellanos; también pueden aplicarse enmiendas calcáreas o dolomíticas para corregir el nivel de saturación de aluminio del suelo. Por ello, el análisis químico del suelo es una herramienta fundamental que permite determinar la disponibilidad de nutrientes, constituyendo una información valiosa para tomar decisiones en la definición de un correcto plan de nutrición del huerto. Es importante señalar que este análisis debe realizarse en un Laboratorio de Suelos acreditado ante la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo.

Previo y luego del establecimiento de un huerto de avellano, es recomendable realizar un análisis químico del suelo. Este puede indicar la existencia adecuada, excesiva o carencia de ciertos nutrientes y la necesidad de suministrarlos antes o durante la plantación de los árboles y en posteriores etapas de desarrollo de éstos (Ellena *et al.*, 2013).

El análisis químico del suelo es una herramienta de gran utilidad para evaluar la fertilidad de un suelo. En base a los resultados de este análisis, se establece la fórmula de fertilización y dosis de nutrientes a aplicar y además se corrigen eventuales problemas de acidez (mediante aplicación de enmiendas calcáreas o dolomíticas) para cada condición de suelo en particular. En el caso del avellano europeo, para obtener buenos rendimientos y calidad de las avellanas es necesario mantener un adecuado equilibrio de los nutrientes en el suelo. En general, el desequilibrio en el nivel en que se encuentran los nutrientes en el suelo puede ocasionar deficiencias, toxicidades o interferencia de un nutriente con la absorción de los demás (Ellena *et al.*, 2013).

La caracterización química del suelo incluye pH, saturación de aluminio, materia orgánica y elementos químicos. El pH es la medida de la actividad de los iones hidrógeno (H^+) del suelo. Un suelo puede ser ácido, neutro o

alcalino según su valor de pH. El rango de pH entre 5,5 y 7,5 incluye la mayoría de las especies frutales (es el rango adecuado para los frutales). No obstante, algunas de ellas prefieren suelos ácidos o alcalinos. Sin embargo, cada especie y dentro de éstas, cada variedad y combinación portainjerto/variedad necesita un rango específico de pH, para expresar mejor su potencial de crecimiento y productividad.

En tal sentido, el pH tiene gran influencia en la disponibilidad de nutrientes para los árboles y además en la presencia de microorganismos y plantas en el suelo. Por ejemplo, los hongos (*trichoderma*, *aspergillus*, *penicillum*, *actinomicete*, entre otros) prefieren suelos más ácidos, mientras que gran parte de las bacterias (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *rhyzobium*, *agrobacterium*, entre otras) que facilitan nutrientes a las plantas, presentan preferencia por suelos moderadamente ácidos o ligeramente alcalinos (Ellena *et al.*, 2013).

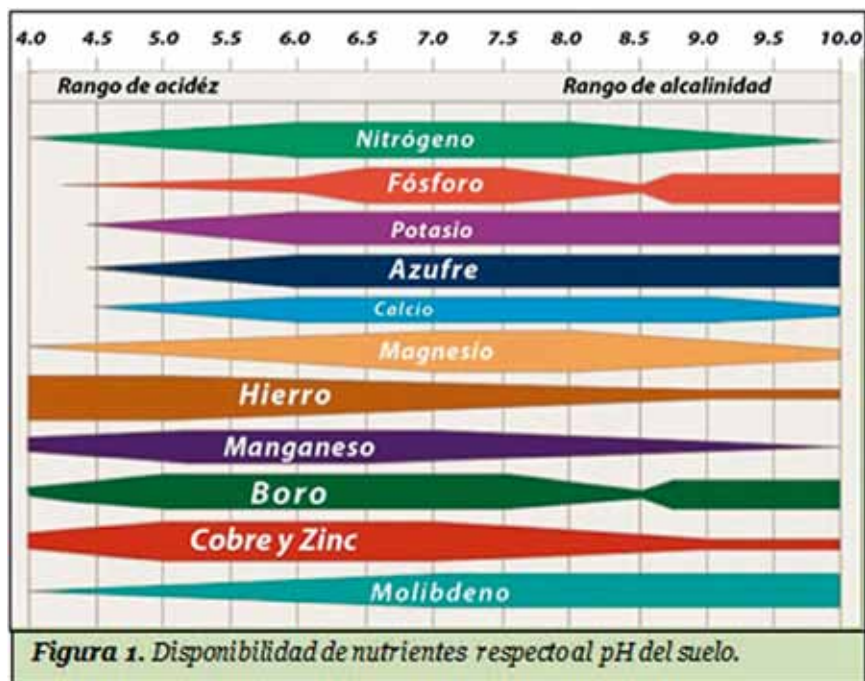


Figura 1. Efecto del pH sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Fuente: Adaptado de Castellanos (2014).

En condiciones de elevada acidez disminuye la fijación de nitrógeno y la mineralización de residuos vegetales. Los árboles absorben los nutrientes desde la solución del suelo y la disponibilidad de éstos varía en función del pH. Cada especie requiere nutrientes en diferentes cantidades y se encuentra en un rango particular de pH en el suelo, por ello su análisis es importante en el manejo de la fertilización del avellano europeo. Por otra parte, en la zona sur de Chile algunos suelos ácidos presentan elevada saturación de aluminio que afecta el crecimiento de las plantas de avellano. El aluminio

intercambiable (Al^{3+}), presente en la solución del suelo, es reconocido como uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez.

Los suelos ácidos se generan por pérdidas de cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio) y acumulación de cationes ácidos (aluminio e hidrógeno). La acidez de los suelos limita el crecimiento de las plantas dada una combinación de factores que incluyen la toxicidad de aluminio, manganeso e hidrógeno y deficiencias de nutrientes esenciales (calcio, magnesio, fósforo y molibdeno); siendo la toxicidad del aluminio soluble e intercambiable el factor limitante del crecimiento más importante en estos suelos (Campillo y Sadzawka, 2006a).

La magnitud e intensidad del proceso de acidificación de los suelos es condicionado por factores naturales y antrópicos. Entre ellos, la alta caída pluviométrica (normal en el sur del país) que ocasiona una lixiviación de bases de intercambio hacia el interior del perfil del suelo; proceso que ocurre lenta y sostenidamente en el tiempo, determinando un reemplazo de estas bases por cationes ácidos (hidrógeno y aluminio) en la capa arable del suelo. También ocurre por laboreo de los suelos y mineralización de la materia orgánica. La causa más importante de la acidificación de los suelos ha sido el uso, cada vez más indiscriminado de fertilizantes de reacción ácida (que generan hidrógeno), especialmente los amoniacales que afectan tanto al pH del suelo como la pérdida de cationes básicos. La aplicación de fertilizantes amoniacales (nitrato de amonio, fosfatos de amonio) y amídicos (urea) induce una acidificación en el proceso de nitrificación del amonio, luego de la hidrólisis de la urea a amonio, o bien directamente en el caso de los amoniacales; la intensidad de la acidificación está regulada por la cantidad de fertilizante aplicado y por el manejo del suelo (Campillo y Sadzawka, 2006a).

5.1.1 Importancia del pH del suelo para los árboles

El pH de la solución del suelo en contacto con las raíces puede influir en el crecimiento y producción, afectando la disponibilidad de nutrientes. Por ejemplo, valores extremos de pH pueden causar la precipitación de algunos nutrientes permaneciendo en forma no disponible para los árboles; además, afectan el proceso fisiológico de absorción de nutrientes por las raíces. Cabe señalar, que todas las especies vegetales presentan rangos característicos de pH en los que su absorción es ideal. Fuera de este rango la absorción se dificulta y en el caso que la desviación sea extrema, puede deteriorarse el sistema radical u ocurrir toxicidad por excesiva absorción de elementos tóxicos (ej. aluminio, con valores de pH muy bajos). Este elemento es extremadamente tóxico para las especies vegetales, según las variedades y combinación de portainjertos/variedades. En avellano europeo no existen estudios sobre sensibilidad a toxicidad por aluminio; en general, existe escasa información sobre sus efectos y los mecanismos de resistencia

en frutales. El cultivo del avellano europeo en suelos de origen volcánicos del sur de Chile (con variedades introducidas del extranjero desde zonas con suelos calcáreos), podría eventualmente afectarse a consecuencia de toxicidad por aluminio, particularmente en aquellos casos con alta saturación de aluminio en el suelo. Sin embargo, no existen estudios que avalen esta aseveración. La Plataforma Frutícola de INIA Carillanca recién ha comenzado a seleccionar materiales antiguos de avellano europeo, introducidos por inmigrantes europeos hace 200 años y adaptados a condiciones de suelos ácidos de origen volcánico del sur del país.

5.1.1.1. Corrección del pH y toxicidad por aluminio en suelos ácidos

El encalado es la práctica más usada para corregir la toxicidad por aluminio en la neutralización de la acidez del suelo. Corresponde a la aplicación al suelo de compuestos de calcio o de calcio y magnesio para reducir la acidez e incrementar el pH, con el objetivo de desplazar el aluminio intercambiable de la fase sólida del suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo que precipita en un compuesto insoluble $[Al(OH)_3]$, eliminándose su efecto tóxico para las plantas (Campillo y Sadzawka, 2006b; Pinochet *et al.*, 2014).

Las principales fuentes de encalado son:

- Carbonato de calcio, normalmente conocida como cal calcítica y cuya fórmula es $CaCO_3$.
- Carbonato doble de calcio y magnesio, conocida generalmente como cal dolomítica y su fórmula es $CaCO_3 * MgCO_3$.

La dosis de la enmienda se debe planificar cuidadosamente para cada caso en particular, de acuerdo al tipo de suelo, tolerancia a toxicidad por aluminio de variedades y combinación portainjerto/variedad. La aplicación de dosis de encalado excesivas (sobreenalado) puede ocasionar deficiencias de elementos como magnesio, zinc, boro y hierro en los árboles.

La dosis de encalado a incorporar al suelo depende de la diferencia entre el pH inicial del suelo y el pH a alcanzar, y de la capacidad buffer de éste (Pinochet *et al.*, 2014):

$$\text{Dosis de encalado} = (\text{pH a alcanzar} - \text{pH inicial}) / \text{CTpH}$$

Donde:

Dosis de encalado: dosis expresada en $T\ ha^{-1}$ de carbonato de calcio puro ($Ca\ CO_3$) en los primeros 20 cm del perfil del suelo.

pH inicial: pH del suelo determinado en agua en el análisis químico del suelo en el laboratorio.

pH a alcanzar: pH del suelo (determinado en agua) a alcanzar a través del encalado.

CTpH: capacidad tampón de pH del suelo (unidades de $pH/T\ CaCO_3$)

El pH a alcanzar o lograr corresponde a un valor en que el nivel de aluminio no limita el desarrollo y rendimiento de los árboles.

La capacidad tampón (CTpH) corresponde a la resistencia del suelo a variar su pH. En suelos trumaos del sur de Chile, el valor de la capacidad buffer es superior a la de otros suelos a nivel nacional, siendo su valor de 0,12 unidades de $pH/T\ CaCO_3$, lo que significa que la incorporación de 1 tonelada de $CaCO_3$ (puro) a 20 cm de profundidad del suelo producirá un aumento del pH en 0,12 unidades (p.ej. desde 5,5 a 5,62).

La incorporación de alguna fuente de encalado a una profundidad de 20 cm sólo es factible antes de la plantación. En el caso de huertos de avellanos establecidos, es importante señalar que las aplicaciones de enmiendas calcáreas en cobertera neutralizarán la acidez sólo en los primeros centímetros del suelo, por la baja movilidad del calcio en el suelo (Pinochet *et al.*, 2014). La aplicación de nuevos formulados líquidos de enmiendas calcáreas podría evitar en parte esta situación.

La dosis de encalado calculada con la ecuación antes mencionada, se corrige de acuerdo al valor agronómico de la fuente de la enmienda. Este valor, refleja la finura, humedad, composición, capacidad neutralizante y materia inerte del producto. Luego de incorporada la enmienda, se recomienda cada 3 a 4 años monitorearse el pH del suelo (a través de un análisis químico) para planificar un encalado de mantención (Pinochet *et al.*, 2014), orientado a mantener el pH y disponibilidad de aluminio en un rango adecuado para los avellanos. Es deseable mantener el $pH-H_2O$ entre 5,5-6,5 y la saturación de aluminio del suelo en valores inferiores a 5%.

5.1.1.2. Efecto de algunos fertilizantes sobre el pH del suelo

Urea: fertilizante nitrogenado de reacción ácida en el suelo (Sadzawka, 1991; Campillo y Sadzawka, 2006a).

Fosfato monoamónico: fertilizante fosfatado/nitrogenado de reacción ácida en el suelo (Sadzawka, 1991; Campillo y Sadzawka, 2006a).

Fosfato diamónico: fertilizante fosfatado/nitrogenado de reacción ácida en el suelo (Sadzawka, 1991; Campillo y Sadzawka, 2006a). Tiene mayor efecto acidificante que FMA (Rodríguez, 1993).

Superfosfato triple: es un fertilizante fosfatado que acidifica temporalmente la zona de aplicación en el suelo, pero ella es rápidamente neutralizada por los componentes del suelo, considerándose un fertilizante de reacción neutra en el suelo (Sadzawka, 1991; Campillo y Sadzawka, 2006a)

Cloruro de potasio: fertilizante potásico de reacción neutra en el suelo (Sadzawka, 1991; Campillo y Sadzawka, 2006a), pero puede presentarse como potencialmente ácida, ya que el K^+ es absorbido por el árbol en mayor cantidad que el Cl^- . Este anión puede reaccionar con el calcio del suelo formando $CaCl^2$, muy soluble, que puede ser fuertemente lixiviado, lo que produce una descalcificación de los horizontes superficiales del suelo. El Ca^{+2} desplazado del complejo de intercambio puede ser reemplazado por otros cationes. Cuando lo sustituye el H^+ , el suelo se acidifica.

Sulfato de potasio: fertilizante potásico/azufrado de reacción neutra en el suelo (Sadzawka, 1991; Rodríguez, 1993), potencialmente acidificante debido a que el $(SO_4)^{-2}$ es menos absorbido por el árbol que el K^+ .

Sulfato de potasio y magnesio: fertilizante potásico/azufrado de reacción neutra en el suelo (Rodríguez, 1993).

Nitrato de calcio: fertilizante de reacción básica en el suelo por su contenido en calcio (28% CaO).

Nitrato de amonio y calcio: fertilizante de reacción ácida en el suelo (Sadzawka, 1991).

Nitrato de potasio: fertilizante de reacción básica en el suelo (Sadzawka, 1991).

La concentración de nutrientes en algunos fertilizantes químicos de uso agrícola puede apreciarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Concentración de nutrientes en algunos fertilizantes químicos de uso agrícola.

| Fertilizantes | Concentración (%) | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-----|-----|------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | S | MgO | CaO |
| Nitrogenados: | | | | | | |
| Urea | 46 | | | | | |
| Nitrato de amonio calcio-magnesio | 27 | | | | 4 | 6 |
| Nitrato de potasio | 13 | | 46 | | | |
| Nitrato de calcio | 15 | | | | | 26 |
| | | | | | | |
| Fosfatados: | | | | | | |
| Superfosfato triple | | 46 | | 1,4 | 0,7 | 21,7 |
| Fosfato de amonio | 18 | 46 | | | | |
| | | | | | | |
| Potásicos: | | | | | | |
| Muriato de potasio | | | 60 | | | |
| Nitrato de potasio | 13 | | 46 | | | |
| Sulfato de potasio | 18 | | 50 | | | |
| Sulfato de potasio y magnesio | | | 22 | 22 | 18 | |

5.2. Muestreo del suelo

Para que el análisis químico refleje adecuadamente el nivel de fertilidad del suelo, es fundamental realizar un muestreo representativo del suelo en un huerto de avellano europeo; en caso contrario, los resultados de este análisis no sirven como indicador o guía para efectuar una correcta fertilización de esta especie frutal.

En el caso de árboles en producción, la muestra se debe tomar a la mitad de la proyección de la copa.

El muestreo del suelo para análisis químico en el caso de frutales, debe efectuarse a diferentes profundidades: 0-30, 30-60 y 60-90 cm, ya que el sistema radical explora un volumen de suelo mayor que los cultivos anuales (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 2. Exploración de volumen de suelo por un árbol de avellano europeo, cv. Barcelona (7 años de edad). Comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

5.2.1. Distribución de submuestras de suelo para análisis químico

Una muestra de suelo está compuesta por la mezcla de diferentes submuestras pequeñas, recolectadas a una misma profundidad en diversos sectores de un huerto (avellano europeo) de modo tal de cubrir su superficie, para lograr una adecuada información del nivel de fertilidad del suelo. En el área seleccionada se deben coleccionar 10-20 submuestras, dependiendo del tamaño de ésta. Es conveniente avanzar en diagonales (zig-zag) para cubrir todo el terreno en forma uniforme. En el caso del muestreo a profundidades 0-30, 30-60 y 60-90 cm se obtienen tres muestras compuestas diferentes para cada una de ellas, sin mezclarse entre sí. Para este procedimiento deben utilizarse baldes separados con su respectiva identificación (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 3. Distribución de las submuestras de suelo.

Fuente: INIA Carillanca

5.2.2. Materiales y herramientas para la toma de muestra

Para la obtención de la muestra del suelo se necesitan materiales y herramientas adecuadas como: mapa del huerto, barreno, pala angosta, balde, bolsas plásticas, cuchillo, formularios del laboratorio para identificación de las muestras, lápiz y plumón. En foto montaje 1 se muestra el procedimiento para el muestreo de suelo.



Fotomontaje 1. Procedimiento para el muestreo de suelo.

Fuente: INIA Carillanca

5.2.3. Interpretación de resultados del análisis químico del suelo

La interpretación de los resultados del análisis químico de suelos debe realizarse por un especialista en fertilidad de suelos, con el fin de desarrollar un adecuado plan de nutrición del huerto. A modo ilustrativo, en el Cuadro 2 se muestra la caracterización química del suelo de dos huertos con avellano europeo, en las regiones de La Araucanía y Los Lagos.

Cuadro 2. Caracterización química del suelo (0-20 cm de profundidad) en huertos de avellano europeo: comuna de Gorbea (Región de La Araucanía) y comuna de Osorno (Región de Los Lagos).

| Parámetros químicos | Comuna de Gorbea | Comuna de Osorno |
|---|------------------|------------------|
| Fósforo disponible, (mg kg ⁻¹) | 10,4 | 6 |
| pHagua | 5,62 | 5,56 |
| pHCa Cl ₂ | 4,91 | 4,57 |
| Materia orgánica (%) | 13,9 | 13,9 |
| Nitrógeno disponible (mg kg ⁻¹) | 21 | 17 |
| Calcio intercambiable (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 1,13 | 2,43 |
| Magnesio intercambiable (cmol₍₊₎ kg⁻¹) | 0,19 | 0,61 |
| Potasio intercambiable (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 0,22 | 0,26 |
| Sodio intercambiable (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 0,02 | 0,1 |
| Aluminio intercambiable, (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 0,1 | 0,69 |
| CICE (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹) | 1,65 | 4,08 |
| Saturación de aluminio (%) | 5,8 | 16,8 |
| Zinc disponible (mg kg ⁻¹) | 0,2 | 0,2 |
| Hierro disponible (mg kg ⁻¹) | 54 | 38,6 |
| Cobre disponible (mg kg ⁻¹) | 1,7 | 0,8 |
| Manganeso disponible (mg kg⁻¹) | 3,6 | 4,9 |
| Boro disponible (mg kg ⁻¹) | 0,5 | 0,4 |
| Azufre disponible (mg kg⁻¹) | 8 | 3 |

En ambas comunas, los suelos con huertos de avellano europeo muestran, en general, un bajo nivel de disponibilidad de fósforo (más acentuado en Osorno), similar pH-H₂O y contenido de materia orgánica, como también un bajo nivel de nitrógeno inorgánico disponible. El nivel de calcio, magnesio y potasio intercambiable de ambos suelos también es muy bajo, pero más acentuado en Gorbea que en Osorno (Pichihuilma). Producto de la relación entre aluminio intercambiable y la CICE se obtiene el porcentaje de saturación de aluminio del suelo. En este caso, aquella correspondiente al suelo de la comuna de Osorno se encuentra en un nivel alto (16,8%), contrastando con la del suelo de Gorbea que se ubica en un nivel bajo

a medio. En el caso de los micronutrientes, los niveles de zinc y boro disponible son bajos en ambos suelos, y aquellos correspondientes a hierro y manganeso son altos; el cobre se encuentra en un nivel de disponibilidad alto en el suelo de Gorbea y en un nivel medio a alto en el suelo de Osorno. Los niveles de disponibilidad de azufre de ambos suelos son muy bajos (Ellena *et al.*, 2013).

En general, dado el bajo nivel de disponibilidad de fósforo de estos suelos, deben considerarse aplicaciones localizadas a la plantación, debido a la alta retención del nutriente que los caracteriza. Posteriormente puede aplicarse vía fertirrigación o mediante el uso de maquinarias que permitan su incorporación a una profundidad cercana al sistema radicular de los árboles.

También debe considerarse la adición de calcio, magnesio y potasio, dado su bajo nivel de disponibilidad y desbalance de ellos en el suelo. Para corregir la alta saturación de aluminio del suelo en la comuna de Osorno, es necesario aplicar carbonato de calcio en dosis de 2-3 T ha⁻¹. El nivel de zinc del suelo puede elevarse aplicando 10-15 kg de sulfato de zinc ha⁻¹ y el de boro adicionando 20 kg de boronatro calcita o ulexita ha⁻¹. El nivel de disponibilidad de calcio y magnesio de estos suelos puede aumentarse mediante la aplicación de cal calcítica y dolomítica (aporta magnesio), siendo deseable elevar dichos niveles en un cierto horizonte de tiempo, debido al precario nivel de disponibilidad que los caracteriza. El nivel de potasio del suelo puede incrementarse aplicando muriato de potasio y sulfato de potasio (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 4. Máquina para incorporar fertilizante fosfatado a lo largo y costado de la hilera de plantación, gentileza de Alberto Stepke. Comuna de Villarrica, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Las consideraciones anteriores corresponden solamente para estos dos suelos, puesto que también existen otros con niveles medios y altos de macro y micronutrientes que no requieren altas aplicaciones de éstos vía fertilizantes y solamente lo precisan como mantención. Por ello, se reitera la importancia de realizar el análisis químico del suelo antes de la plantación, y posteriormente de manera anual, con el objeto de corregir las deficiencias nutricionales existentes en los distintos suelos en que se establezcan o estén ubicados los huertos de avellano europeo (Ellena *et al.*, 2013).

5.3. Análisis foliar

En las diferentes fases de desarrollo de un árbol frutal ocurren cambios estacionales en la concentración de nutrientes en hojas y pecíolos (reducción en el caso de algunos y aumento en el de otros). Dichos cambios de concentración están relacionados con los requerimientos nutricionales de los órganos (brotes y frutos), y con el grado de movilidad interna de cada elemento.

El tejido foliar constituye un pool activo de reservas nutricionales en el árbol, puesto que muchos elementos se encuentran en estado mineral dentro de la vacuola y por lo tanto, cumplen un rol fundamental como fuente de aporte inmediato de nutrientes a los centros de crecimiento. Este tejido es un indicador adecuado del estado nutricional de los árboles, siendo válido cuando el resultado de su análisis químico es comparado con estándares originados en zonas edafoclimáticas similares (considerando la especie, variedad, edad, hoja y parte de ella, entre otros) para muestras colectadas en fechas relativamente similares (Olsen, 2001).

Adicionalmente, la fecha de colección de la muestra foliar está vinculada a una variable fisiológica de la planta, relacionada con la fase fenológica en que el tejido foliar presenta cierta estabilidad en los contenidos nutricionales. En tal sentido, para cada especie frutal existe una época recomendada para realizar el muestreo del tejido foliar. Para el caso de frutales de nuez como avellano europeo se recomienda realizarla en enero-febrero (cantidad de tejidos 50-100 hojas) (Ellena *et al.*, 2013).

5.3.1. Diagnóstico foliar

El análisis foliar es ampliamente empleado, puesto que las hojas son los principales centros de síntesis de los árboles frutales. El diagnóstico foliar es una herramienta que permite regular, desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo, las fertilizaciones anuales del huerto de avellano, ya sea mediante aplicaciones de fertilizantes al suelo o vía foliar. Este método se basa en que a través de las hojas es posible determinar el estado nutricional de los árboles y que éstos reaccionan con gran sensibilidad y rapidez a las variaciones de la fertilidad del suelo (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013; Olsen, 2001).

El diagnóstico foliar se compone de dos fases: la toma de muestras y el análisis e interpretación de resultados. En avellano europeo, la toma o colecta de muestras foliares se realiza generalmente en pleno verano e incluso hasta fines de este período, colectando hojas adultas de la parte media del brote (50-100). Conviene realizar el muestreo en un alto número de árboles, evitando aquellos en mal estado, no representativos del huerto y ubicados en hileras externas. El muestreo realizado en verano, idealmente en enero, permite obtener información del estado nutricional del momento y temporada siguiente. Para evaluar la oportunidad de intervenir sobre el ciclo vegetativo-productivo en curso, es necesario recurrir al análisis foliar en forma precoz, concentrando particularmente los muestreos durante las etapas iniciales de desarrollo del fruto (Ellena *et al.*, 2013).

La interpretación de los resultados es la fase de mayor dificultad. El método más difundido es aquel basado sobre comparaciones entre resultados analíticos y valores de referencia (concentraciones críticas o estándar). Los valores críticos son aquellos bajo los cuales se manifiestan carencias del nutriente, que ocasionan reducciones en la producción. Una de las principales limitantes del diagnóstico foliar son los numerosos factores que influyen en la composición mineral de las hojas. En la práctica, para efectuar una interpretación correcta, se deben utilizar valores de referencia de materiales similares (cultivar, edad, y tipo de hoja) y en condiciones de suelo y clima también similares (Ellena *et al.*, 2013).

Cuadro 3. Valores de referencia o estándar para avellano europeo.

| Nutrientes | Deficiente | Bajo lo normal | Normal | Sobre lo normal | Excesivo |
|---|------------|----------------|-----------|-----------------|----------|
| Macronutrientes (% peso seco) | | | | | |
| Nitrógeno | < 1,8 | 1,81-2,2 | 2,21-2,5 | 2,51-3,0 | > 3,0 |
| Fósforo | < 0,1 | 0,11-0,13 | 0,14-0,45 | 0,46-0,55 | > 0,55 |
| Potasio | < 0,5 | 0,51-0,8 | 0,81-2,0 | 2,01-3,0 | > 3,0 |
| Azufre | < 0,08 | 0,09 – 0,12 | 0,13-0,2 | 0,21-0,50 | > 0,5 |
| Calcio | <0,6 | 0,61-1,0 | 1,01-2,5 | 2,51-3,0 | > 3,0 |
| Magnesio | < 0,18 | 0,19-0,24 | 0,25-0,5 | 0,51-1,0 | > 1,0 |
| Micronutrientes (mg kg⁻¹ peso seco) | | | | | |
| Manganeso | < 20 | 21-25 | 26-650 | 651-1000 | > 1.000 |
| Hierro | < 40 | 41-50 | 51-400 | 401-500 | > 500 |
| Cobre | < 2 | 3-4 | 5-15 | 16-100 | > 100 |
| Boro | < 25 | 26-30 | 31-75 | 76-100 | > 100 |
| Zinc | < 10 | 11-15 | 16-60 | 61-100 | > 100 |

Fuente: Adaptado de Olsen (2001).

Otra limitación en la comparación de los resultados analíticos con los valores estándar, es que cada elemento se confronta independientemente del nivel de los otros. En el extranjero se ha propuesto una metodología que considera los resultados de todos los elementos a través de sus relaciones,

confrontándolas con relaciones estándar. Dicha metodología, denominada DRIS (diagnosis and recommendation integrated system), en la teoría permitiría realizar interpretaciones independientemente de la edad de la hoja y condiciones de clima y suelo del huerto en estudio. En la práctica, para el DRIS se requiere crear normas de referencias obtenidas a nivel local; sin embargo, aún no se han generado antecedentes con esta finalidad para huertos ubicados en el sur de Chile. Desde el punto de vista operativo, esta metodología entrega información de los elementos que podrían dificultar la máxima expresión productiva del huerto, siendo además confiable para individualizar sub-carencias (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013; Walworth y Sumner, 1987).

5.3.2. Fertilización foliar

En avellano europeo, la aplicación de fertilizantes foliares a través de las hojas es una alternativa interesante, para macro y microelementos, cuando existen manifestaciones de estrés nutricional que requieren intervenciones dirigidas y oportunas. Las condiciones anómalas se verifican cuando ocurren carencias o bajas asimilaciones del elemento y cuando la absorción radicular es menor y no plenamente eficiente (ejemplo: suelos con mala aireación, pesados y fríos).

La fertilización foliar en avellano europeo, ha determinado interesantes resultados experimentales, en huertos comerciales, en diferentes zonas agroecológicas de la zona sur, incrementando la cuaja y rendimiento de los árboles mediante la aplicación de nitrógeno, magnesio, boro, zinc, desde el inicio de la actividad vegetativa hasta la fecundación (Ellena *et al.*, 2013; Ellena *et al.*, 2014). En la mayoría de los casos, los resultados más promisorios se lograron con mezclas de productos, o usando productos cuya composición incluye varios nutrientes, y luego de sucesivos tratamientos (Bignami *et al.*, 1999; Cacka y Saganqueo, 2014).

Investigaciones realizadas en Oregon (Estados Unidos) determinaron que las aplicaciones foliares de boro incrementaron los rendimientos de frutos (Shresthra *et al.*, 1987). Sin embargo, en otros estudios realizados en España con tratamientos foliares con boro no hubo aumentos de rendimiento, ocurriendo solamente ligeros efectos en el calibre de la semilla (Tous *et al.*, 2005). Otros estudios con tratamientos foliares a base de calcio, nitrógeno, boro y otros micronutrientes quelados han mostrado aumentos significativos en los rendimientos y calidad de la semilla (Cacka y Smith, 2009). No obstante, otras investigaciones realizadas con productos foliares (cv. Barcelona) no determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos, en comparación con el testigo (Olsen y Cacka, 2009). Por otra parte, en estudios efectuados en el norte de Italia con la variedad TGL (10 años de edad) durante cuatro temporadas (Pansecchi *et al.*, 2014), tampoco se encontró un efecto positivo de la aplicación de mezclas de

fertilizantes foliares sobre los rendimientos de fruto de este árbol. No obstante, en estudios realizados también en el norte de Italia (Piamonte), en suelos calcáreos, se determinó solo un pequeño efecto de la aplicación de productos comerciales (cuyas fórmulas contienen boro y zinc) sobre el rendimiento del avellano.

En estudios realizados en la zona sur de Chile (Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía), en huertos de avellano europeo, en condiciones de suelos trumaos profundos (alto contenido de materia orgánica y fertilización base equilibrada), la aplicación de tratamientos foliares no determinó diferencias importantes en el rendimiento de frutos y en parámetros vegetativos de los árboles (Ellena *et al.*, 2013).

Las aplicaciones tardías de productos foliares (en base a nitrógeno) a finales de la temporada de crecimiento (fines de verano y otoño), determinaron un mayor crecimiento de los brotes en la temporada siguiente. No obstante, en diferentes casos los resultados obtenidos (huertos comerciales) han sido erráticos dependiendo de factores como: productos, dosis, pH de la solución, mojamiento, época de aplicación, condiciones climáticas, estado nutricional de los árboles, edad, variedad, tipo de suelo y fertilidad del suelo.

Investigaciones recientes realizadas por INIA Carillanca en el sur de Chile, en el marco del proyecto **“Evaluación de tecnologías para el mejoramiento de la productividad y la calidad del fruto de avellano europeo (*Corylus avellana* L.), en la zona sur de Chile destinado a la industria alimentaria (INIA)**, con financiamiento Innova de Corfo, indican que las fertilizaciones foliares en huertos nuevos de avellano europeo, en general, no han ocasionado un efecto importante sobre el crecimiento vegetativo y el rendimiento de frutos de los árboles, en comparación con huertos manejados sin fertilización foliar (testigos), solamente con fertilización tradicional aplicada al suelo (Ellena *et al.*, 2013). No obstante, en investigaciones realizadas con el cv. Barcelona chilena (huertos de 7 años) se ha determinado un significativo efecto positivo sobre el rendimiento de frutos con la aplicación foliar de N, P y K, respecto de los demás tratamientos incluido el testigo (Ellena *et al.*, 2014).

Al respecto, estudios realizados en el extranjero establecieron un efecto positivo de los tratamientos foliares en árboles adultos de avellano europeo, en plena fase productiva. No obstante, solamente se han logrado resultados significativos después de varios años (2-3) de tratamientos y con mezcla de nutrientes como boro y zinc, según se indicó anteriormente (Bignami *et al.*, 1999; Pansecchi *et al.*, 2014).

5.4. Fertilización mineral

Los árboles de avellano europeo tienen una vida útil muy prolongada (40-70 años). En tal sentido, la fertilización no puede efectuarse sólo para una temporada. Por ello, es necesario establecer un programa de fertilización equilibrado que contemple el período productivo del huerto (Ellena *et al.*, 2013).

5.4.1. Fertilización de base a la plantación

Esta fertilización tiene como objetivo disponer de una zona de concentración de nutrientes que permita suplir los requerimientos nutritivos del avellano europeo por un cierto período, y adicionalmente elevar el nivel de fertilidad del suelo. Junto con la fertilización de base (FB) o de fondo se considera la fertilización anual cuya finalidad es complementar el efecto de la FB en los árboles de esta especie.

La fertilización de base o de fondo puede distribuirse e incorporarse en toda la superficie donde se establecerá el huerto o también localizarse en los hoyos de plantación durante el establecimiento del cultivo; mientras que la fertilización anual se localiza en torno a los árboles o sobre la hilera o banda de plantación. En las primeras temporadas de crecimiento, los fertilizantes se aplican en forma de anillos alrededor de los árboles, con la precaución de que éstos queden separados del tronco para evitar daños por toxicidad causada por sales presentes en dichos productos. En los años sucesivos los fertilizantes se distribuyen en mayor superficie, en la medida que los árboles se desarrollan; particularmente durante el crecimiento lateral de las raíces.

La fertilización de base, previo o durante el establecimiento de los árboles tiene como finalidad construir una reserva de nutrientes, particularmente en el caso de aquellos de escasa movilidad y así elevar su nivel de disponibilidad en el suelo. Los principales nutrientes a considerar en el establecimiento del huerto son: fósforo, potasio, azufre, magnesio, calcio, boro, zinc (Ellena *et al.*, 2013).

En el caso del fósforo, a modo de sugerencia, pueden aplicarse 300-350 kg P_2O_5 ha⁻¹, siendo particularmente necesario realizar un análisis de suelo para ajustar las dosis a aplicar.

La dosis total de potasio debe aplicarse en forma fraccionada en diferentes épocas, de acuerdo a las características del suelo evitando pérdidas por lixiviación en aquellos con textura arenosa. En suelos pesados con alto contenido de arcilla (suelos rojo-arcillosos), es posible aplicar la dosis total de K en una sola oportunidad. La cantidad a aplicar variará de acuerdo al nivel del nutriente en el suelo (según análisis químico). A modo de

recomendación general, en suelos deficientes en potasio pueden aplicarse 300-400 kg K_2O ha⁻¹. Dichas dosis deberán ajustarse mediante análisis de suelo para cada caso en particular.

En suelos arenosos no se recomienda aplicar potasio previo a la plantación por riesgos de pérdidas por lixiviación. En esta condición deberá suministrarse anualmente y de preferencia como sulfato de potasio. Los árboles de avellano son muy demandantes en azufre, siendo aconsejable aplicar el fertilizante potásico vía sulfato de potasio; también puede aplicarse nitrato de potasio si no se requiere azufre. El cloruro de potasio no se recomienda como fertilizante potásico en avellano, debido a que puede ocasionar fitotoxicidad (Ellena *et al.*, 2013).

En relación a las enmiendas calcáreas, para avellanos es recomendable incorporarlas previo a la plantación. Existen antecedentes que indican que con un valor de pH en el suelo inferior a 5,6, esta enmienda mejoraría el crecimiento y posterior rendimiento del huerto (Olsen, 2001). La enmienda calcárea puede distribuirse en toda la superficie y localizarse en los hoyos de plantación durante el establecimiento del cultivo, como ya se señaló.

Respecto a los microelementos, en numerosos suelos de la zona sur existe baja disponibilidad de boro y zinc, siendo necesario incluirlos en los respectivos análisis químicos, particularmente en aquellos de tipo foliar. Con deficiencias de boro y zinc en el suelo se recomienda su incorporación al establecimiento del huerto mediante boronatro calcita y sulfato de zinc (respectivamente), en dosis variables en base al análisis de suelo. Como sugerencia, se pueden aplicar 25 kg de boronatro calcita y 20 kg de sulfato de zinc por hectárea, dosis que deben ajustarse caso a caso (Ellena *et al.*, 2013).

Posterior al establecimiento, la fertilización anual o de mantenimiento del huerto tiene como finalidad suministrar los nutrientes necesarios para obtener un normal crecimiento y desarrollo de las estructuras de los árboles durante la fase de formación y lograr un adecuado rendimiento y calidad de fruta durante la etapa productiva (Ellena *et al.*, 2013).

En el período de formación del huerto (1-4 años), desde la plantación, es necesario observar atentamente la actividad vegetativa de los árboles, que debe ser elevada y a su vez equilibrada para obtener una rápida formación de la estructura esquelética del árbol (Ellena *et al.*, 2013). Sin embargo, no puede ser excesiva porque retarda la entrada en producción de los avellanos y por tanto, la amortización del huerto.

5.5. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es el principal elemento para el desarrollo y la actividad productiva de los árboles. Este nutriente es uno de los componentes más importantes de algunos compuestos orgánicos presentes a nivel celular como: aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas y transportadores de energía ADP (adenosindifosfato) y ATP (adenosintrifosfato). Es la base de la síntesis de proteínas y forma parte de la composición de la clorofila, interviene indirectamente en la elaboración de carbohidratos. En ausencia de nitrógeno, los árboles de avellano no pueden desarrollar sus procesos vitales, sobre todo en la etapa de crecimiento para formar nuevas células. Su carencia determina una menor actividad vegetativa, clorosis foliar e influye negativamente en la producción.

Aumenta el vigor de los árboles, promueve un crecimiento rápido durante su fase de formación y en la fase reproductiva determina la formación de brotes de mayor longitud (25-30 cm), favoreciendo la producción de los órganos reproductivos y una buena fructificación. Durante la fase de formación la dosis de fertilización nitrogenada recomendada es de 30, 50, 100, 120, y 150 kg N ha⁻¹, desde el 1º al 5º año, respectivamente, evitando aplicar el fertilizante nitrogenado cerca del tronco del árbol. Estas dosis sugeridas son recomendaciones generales que deberán ajustarse caso a caso por un especialista. Por ejemplo, bajo condiciones similares como las de Oregon (USA), no sería necesario aplicar nitrógeno durante los dos primeros años, de acuerdo a lo señalado por Olsen (1997).

En árboles adultos se ha demostrado que esta especie como otras caducifolias, utiliza eficientemente el nitrógeno almacenado en las reservas internas para su crecimiento inicial en primavera (Olsen, 1997). La utilización más eficiente del nitrógeno, aplicado como fertilizante, ocurre durante el crecimiento activo de la planta en primavera (Ellena *et al.*, 2013). El avellano utiliza parcialmente el nitrógeno aportado por la fertilización y en gran medida aquel almacenado en los órganos de reserva del árbol (tronco, ramas y raíces).

La función principal de la fertilización nitrogenada es la reconstrucción de las reservas de la planta. Por ello, la recomendación es aplicar nitrógeno en primavera inmediatamente luego de iniciado el crecimiento activo de los árboles. La época de aplicación del nitrógeno tiene un efecto significativo en el uso de este elemento para el desarrollo inicial de los árboles. Estudios realizados por INIA Carillanca e instituciones extranjeras, han determinado la importancia de fraccionar la aplicación de nitrógeno (primavera, en dos oportunidades y eventualmente en otoño), permitiendo una mayor eficiencia en el uso del nutriente por los árboles. Se sugiere parcializar la fertilización nitrogenada (ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Fraccionamiento de la fertilización nitrogenada para un huerto de avellano europeo.

| Porcentaje aplicación | Época | Estado fenológico |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 75-85% | septiembre-octubre | Brotación |
| 25-15% | marzo-abril | Caída de hojas (*) |

(*) La aplicación de dosis bajas de N al final de la temporada, previo a la caída de hojas, tiene como finalidad aumentar las reservas internas de nitrógeno en los órganos de reserva de los árboles.

El fraccionamiento de la fertilización nitrogenada (2-3 aplicaciones) es importante para evitar pérdidas de N por lixiviación, siendo de mayor relevancia en suelos arenosos donde éstas se incrementan. Durante las aplicaciones de noviembre-diciembre podría utilizarse eventualmente nitrógeno amoniacal para disminuir las pérdidas de este elemento (Ellena *et al.*, 2013). Trabajos realizados en el extranjero también indican un efecto positivo de la distribución fraccionada de los fertilizantes sobre el rendimiento de frutos en avellano europeo (Fregoni y Zioni, 1966; Fregoni y Picariello, 1966; Fregoni y Zioni, 1972).

Los mayores requerimientos de nitrógeno del avellano europeo ocurren en primavera. Entre un 75-85% de este elemento debe aplicarse entre septiembre-octubre y noviembre-diciembre y un 10-15% restante a fines de la temporada vegetativa. Las aplicaciones de pequeñas cantidades de nitrógeno, previo a la caída de hojas (marzo-abril), permiten aumentar las reservas internas del nutriente en el árbol. El nitrógeno de reserva permite el inicio del desarrollo vegetativo, desde brotación, cuando la planta aún no tiene la capacidad de absorber este elemento en forma eficiente desde el suelo (Ellena *et al.*, 2013).

La cantidad total de nitrógeno a aplicar por árbol debe considerar el mantenimiento del suelo y las extracciones del cultivo, como el potencial hídrico de éste, edad de los árboles, condiciones vegetativas, densidad de plantación, entre otros.

La aplicación de dosis crecientes de N, se realiza de forma parcializada en tres épocas: noviembre (35%), diciembre (50%) y marzo (15%), con el cv. Barcelona en un suelo trumao de la comuna de Pitrufquén (tres años de edad), no mostró una tendencia definida sobre el rendimiento de frutos (cosecha 2014), a pesar de existir diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 5). En la segunda temporada experimental (4 años de edad del árbol) no se determinaron diferencias de rendimiento entre las dosis de N investigadas. Al considerar las dos temporadas de evaluación, tampoco hubo diferencias significativas de rendimiento de fruto entre las dosis de N evaluadas (Cuadro 6). Ello podría explicarse por un uso eficiente del nitrógeno almacenado en sus reservas internas, además que las plantas están en su fase inicial de producción (Ellena *et al.*, 2013) y con aplicaciones de N solo en dos temporadas (2013 y 2014).

Al respecto, investigaciones realizadas en el norte de Italia, Región del Piamonte, se ha observado que esta especie responde a la fertilización luego de 4-5 años de continuas aplicaciones (Roversi comunicación personal, 2012).

Cuadro 5. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (3 años de edad), temporada 2014. Comuna de Pitrufuén, Región de La Araucanía.

| Dosis N (kg ha ⁻¹) | Año 2014 |
|-----------------------------------|----------|
| 0 | 153,0 ab |
| 40 | 120,6 a |
| 80 | 160 ab |
| 120 | 184 b |
| 160 | 168 ab |
| 200 | 171,6 ab |
| 240 | 180 b |

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Cuadro 6. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento acumulado de frutos del cv. Barcelona (3 y 4 años de edad), años de cosecha 2014 y 2015. Comuna de Pitrufuén, Región de La Araucanía, Chile.

| Dosis N (kg ha ⁻¹) | Rendimiento acumulado de fruto (kg ha ⁻¹) |
|-----------------------------------|--|
| 0 | 433,4 a |
| 40 | 370,5 a |
| 80 | 439,4 a |
| 120 | 441,7a |
| 160 | 445,5a |
| 200 | 391,4a |
| 240 | 416,5a |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, según Prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$).

En contraste a lo señalado para el rendimiento de fruto, el incremento de la dosis de N desde 0 hasta 120 kg N ha⁻¹ redujo progresivamente el peso promedio del fruto del cv. Barcelona (cuatro años de edad) en dicha localidad, desde 3,97 a 3,37 g respectivamente. En contraste a lo señalado, en el cv. Barcelona con 4 años de edad, el incremento de la dosis de N desde 0 hasta 120 kg N ha⁻¹ redujo progresivamente el peso promedio del fruto desde 3,97 a 3,37 g.

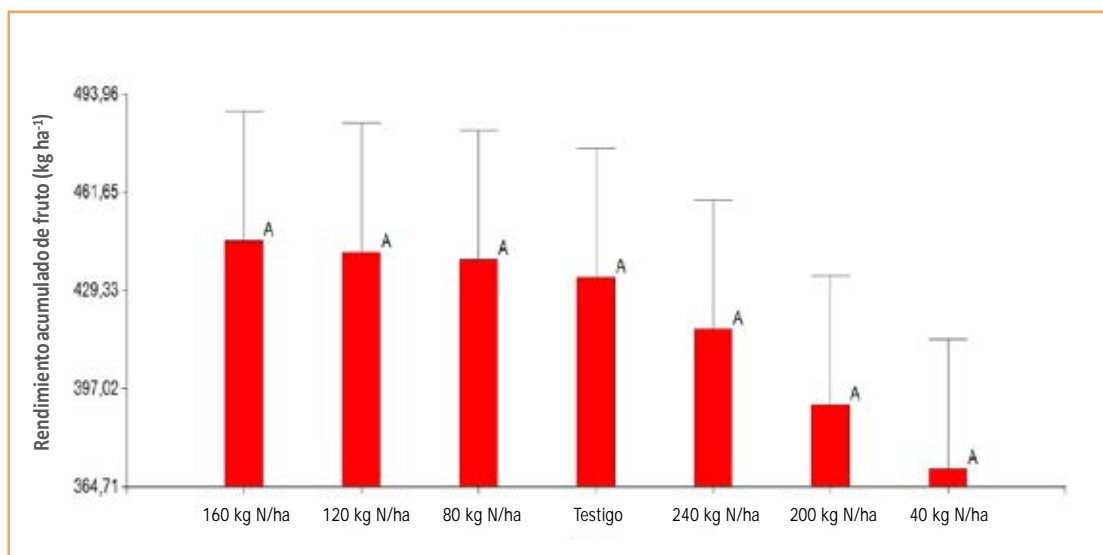


Figura 2. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento acumulado de frutos (kg ha^{-1}), del cv. Barcelona (3 y 4 años de edad), año de cosechas 2014 y 2015. Comuna de Pitrufrquén, Región de La Araucanía.

Cuadro 7. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el peso promedio del fruto del cv. Barcelona (4 años de edad), años de cosecha 2014 y 2015. Comuna de Pitrufrquén, Región de La Araucanía.

| Dosis nitrógeno (kg N/ha^{-1}) | Peso promedio de fruto (g) |
|---|----------------------------|
| 0 | 3,97 c |
| 40 | 3,75 bc |
| 80 | 3,65 a |
| 120 | 3,37 a |
| 160 | 3,60 ab |
| 200 | 3,74 bc |
| 240 | 3,69 bc |

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Por otra parte, los estudios realizados en suelos trumaos de la comuna de Pitrufrquén, con árboles de 7 años de edad del cv. Barcelona, determinaron un efecto significativo de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de frutos (cosecha 2014). La aplicación de 40 kg N ha^{-1} permitió obtener un rendimiento de frutos significativamente superior al logrado con el testigo (sin N aplicado); en general, no hubo diferencias de rendimiento significativas con dosis mayores de N aplicadas (Figura 3). No hubo diferencias significativas de rendimiento de frutos con la aplicación de N en la temporada 2013, cuyos valores en general fueron muy bajos.

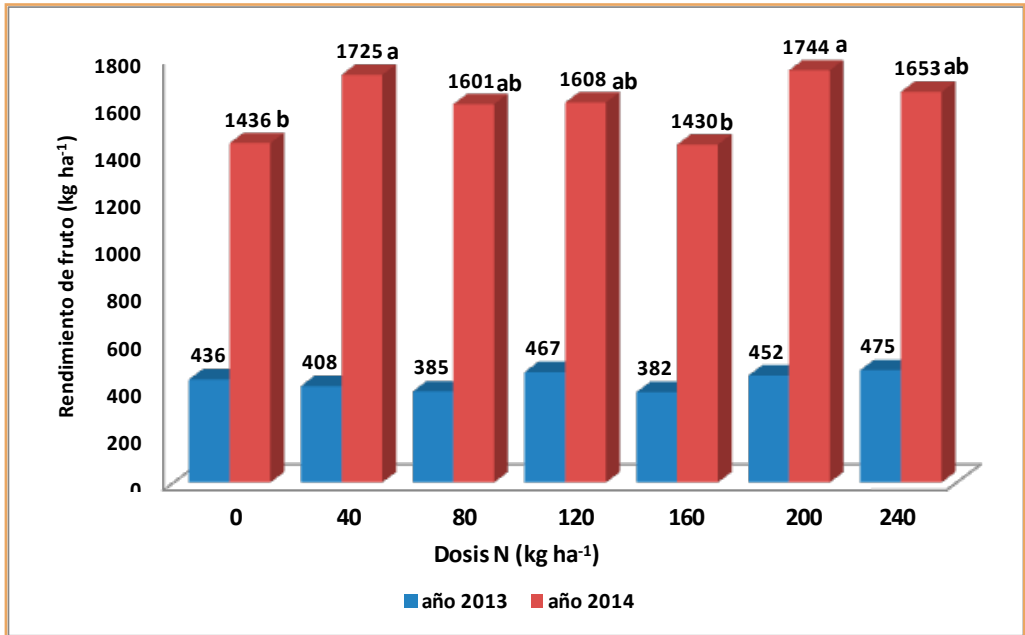


Figura 3. Efecto de dosis incrementales de nitrógeno sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (7 años de edad). Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía (cosecha años 2013 y 2014).

Letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Estudios en desarrollo en la localidad de Pitrufquén, indican que no existe diferencia significativa del efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de frutos durante la primera temporada en el cv. Barcelona (7 años de edad) (Cuadro 8). No hubo diferencias significativas de este parámetro entre los tratamientos en evaluación en el caso de ambos cvs. de avellano europeo.

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de dosis incrementales de nitrógeno sobre el rendimiento de fruto de los cvs. Barcelona (7 años de edad), (cosecha año 2015). Pitrufquén, Región de La Araucanía.

| Dosis N (kg ha ⁻¹) | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) variedad Barcelona |
|--------------------------------|---|
| 0 | 1559,0 a |
| 40 | 1305,5 a |
| 80 | 1280,4 a |
| 120 | 1272,4 a |
| 160 | 1535,7 a |
| 200 | 1275,1 a |
| 240 | 1249,3 a |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, según Prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Actualmente, también se encuentra en desarrollo un estudio de comparación de fuentes nitrogenadas sobre el comportamiento productivo de avellano europeo en suelos trumaos del sur de Chile. Este estudio se encuentra en su fase inicial de evaluación y se efectúa en la comuna de Pitrufquén (Región de la Araucanía). Considera tres fuentes nitrogenadas (Amintec, Can 27 y Urea) y cuatro dosis de nitrógeno (entre 40 y 160 kg N ha⁻¹). Los resultados preliminares luego de un año de aplicación de fuentes y dosis de N muestran, a la cosecha del año 2014, rendimientos de fruto muy similares (Cuadro 9). Las fuentes nitrogenadas, en promedio, no se diferencian significativamente entre sí respecto del rendimiento de fruto (Cuadro 10), requiriéndose un mayor tiempo de evaluación para concluir.

Cuadro 9. Efecto de la fuente y dosis N sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (7 años de edad), (cosecha año 2014). Comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía.

| Fuente N | Dosis N (kg ha ⁻¹) | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) |
|----------|--------------------------------|---|
| Amintec | 40 | 2284,4 |
| | 80 | 2706,0 |
| | 120 | 2269,4 |
| | 160 | 2249,2 |
| CAN 27 | 40 | 2180,2 |
| | 80 | 2373,1 |
| | 120 | 2370,4 |
| | 160 | 2540,2 |
| Urea | 40 | 2325,4 |
| | 80 | 2486,5 |
| | 120 | 2565,8 |
| | 160 | 2357,7 |

Cuadro 10. Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno, en promedio, sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (7 años de edad), (cosecha año 2014). Comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía.

| Fuente de Nitrógeno | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) |
|---------------------|---|
| Can 27 | 2.366,2 a |
| Amintec | 2.377,5 a |
| Urea | 2.434,1 a |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, según Prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$).

Los resultados preliminares de este mismo estudio también reflejan un efecto significativo de la dosis de N en promedio (una temporada de aplicación) sobre el rendimiento de frutos, lográndose un mayor rendimiento (cosecha 2014) con la dosis 80 kg N ha⁻¹, respecto de otras en evaluación (Cuadro 11).

No obstante se requiere un mayor período de tiempo de experimentación para concluir sobre el efecto de esta fertilización sobre la productividad del avellano europeo bajo esta condición edafoclimática.

Cuadro 11. Efecto de la dosis de nitrógeno en promedio sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (7 años de edad). Comuna de Pitrufrquén, Región de La Araucanía (cosecha año 2014).

| Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹) | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) |
|---|---|
| 40 | 2.263,6 a |
| 80 | 2.522,1 b |
| 120 | 2.402,1 ab |
| 160 | 2.382,6 ab |

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

Adicionalmente a lo señalado, se aprecia también una significativa disminución del diámetro ecuatorial del fruto, con el incremento de la dosis de N (en promedio) desde 40 a 120 kg ha⁻¹ (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno sobre el diámetro ecuatorial del cv. Barcelona de 7 años, Comuna de Pitrufrquén, Región de La Araucanía (cosecha año 2014).

| Dosis de nitrógeno (kg ha ⁻¹) | Diametro ecuatorial del fruto (mm) |
|---|------------------------------------|
| 40 | 21,83ab |
| 80 | 22,16 b |
| 120 | 21,56a |
| 160 | 22,16b |

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

El avellano europeo tiene una gran capacidad para utilizar las reservas internas de nitrógeno. Los resultados experimentales obtenidos a la fecha aún son de carácter preliminar (estudios de aplicación de N de dos años), para reflejar las necesidades de fertilización nitrogenada en suelos trumaos (caracterizados por su nivel medio-alto de materia orgánica y distinto nivel de suministro de N). Con estos resultados preliminares eventualmente podría suponerse que la fertilización nitrogenada es necesaria en bajas dosis para mantener las reservas de la planta. No obstante, para un juicio certero sobre las necesidades de fertilización nitrogenada de esta especie frutal en suelos trumaos, se requiere evaluarla en un horizonte de tiempo mayor, hasta que los árboles se encuentren en pleno régimen productivo

(Año 9 y 10, o más). Ello permitirá corroborar la tendencia inicial observada o bien establecer otro nivel de fertilización nitrogenada para este árbol frutal. Como se indicó anteriormente, estudios realizados en el extranjero han mostrado respuestas vegetativas y productivas después de 3-4 años de haber realizado las aplicaciones (Eynard, 1968; Eynard y Zanini, 1972; Fregoni y Zioni, 1972).

5.6. Fósforo

El fósforo, como ión fosfato forma parte de numerosos compuestos presentes en la célula vegetal, como los azúcares (importante para la respiración y la fotosíntesis) y los fosfolípidos que constituyen las membranas celulares. Es constituyente del ATP y coenzimas e interviene en procesos metabólicos de transporte de energía. Forma parte de los ácidos nucleicos (ARN y ADN), participando en los procesos de reproducción. También participa en la fecundación y fructificación. El fósforo es absorbido en pequeñas cantidades respecto del nitrógeno y potasio.

La fertilización fosfatada (en general) ejercería un bajo efecto sobre el rendimiento del cultivo (Ellena *et al.*, 2013; Olsen, 1997). No obstante, en suelos ácidos de origen volcánico del sur de Chile, con alta retención de fósforo, es importante considerar su incorporación, especialmente previo a la plantación, en forma localizada (hoyo de plantación), para favorecer el desarrollo radicular de la planta. En las hojas los valores óptimos varían entre 0,14-0,16%. Se sugiere incorporar el fósforo durante la fertilización de base en dosis de 300-350 kg P₂O₅ ha⁻¹ (dosis solo de referencia). La carencia de fósforo determina un pobre crecimiento radicular y baja floración. La fertilización fosfatada tradicional (al suelo) es recomendable realizarla durante el invierno (mayo-julio), incorporándola mediante máquinas apropiadas y permitiendo que esté disponible para los árboles en primavera. Al no existir maquinaria ad hoc para su incorporación puede aplicarse localizado en 3 orificios (al menos) realizados en el suelo, en torno a las plantas (25-30 cm de profundidad), con barreno u otra herramienta. El objetivo es incorporarlo en profundidad cerca de las raíces y permitir su absorción por el sistema radicular de los árboles (Foto 5).

Con fertirrigación este elemento se aplica a través de fertilizantes solubles, durante la época en que ocurre un peak de crecimiento de raíces (diciembre y marzo), la fecundación y fructificación (primavera - verano). En otras especies frutales, como manzano, se ha determinado que aportes de fósforo efectuados al inicio de la actividad vegetativa, con niveles adecuados de fósforo cercanos al sistema radicular, incrementaron el crecimiento de raíces jóvenes, ocurriendo mayor asimilación de otros nutrientes, mejor desarrollo de hojas y mayor nutrición de los órganos reproductivos (Marangoni y Baldi, 2008). En Chile no existen estudios reportados de fertirrigación en avellano europeo.



Foto 5. Incorporación localizada del fósforo mediante orificios en torno a la planta.

Fuente: INIA Carillanca

Actualmente se define el plan de fertilización fosfatada del huerto en base a los resultados de los análisis químicos de suelo y foliares. Una alternativa interesante es el uso de la fertilización foliar con productos a base de fósforo, debido a la notable capacidad de absorción de las hojas del avellano europeo (Roversi, 2002). Esta herramienta podría ser una alternativa en suelos ácidos del sur de Chile con elevada retención de fósforo, y en general por la escasa movilidad de este elemento en el suelo. No obstante, estudios realizados por INIA Carillanca con abonos foliares no indicaron un mayor rendimiento y calidad de la fruta (Ellena *et al.*, 2014). Estos estudios son corcondantes con trabajos realizados en el extranjero en que las aplicaciones foliares no determinaron un efecto en el rendimiento en huertos adultos de avellano (Roversi, 2002).

Sin embargo, los abonos foliares a base de fósforo también podrían ser una alternativa a los fertilizantes granulares al suelo, en la etapa de formación del huerto, para estimular el desarrollo radicular de los árboles, especialmente durante sus dos peaks de crecimiento radicular (primavera y otoño). Cabe destacar un fuerte crecimiento en otoño previo a la caída de hojas. Este crecimiento radicular a diferencia de lo que ocurre en otras especies frutales de hoja caduca es mayor al que ocurre en primavera (Figura 4).

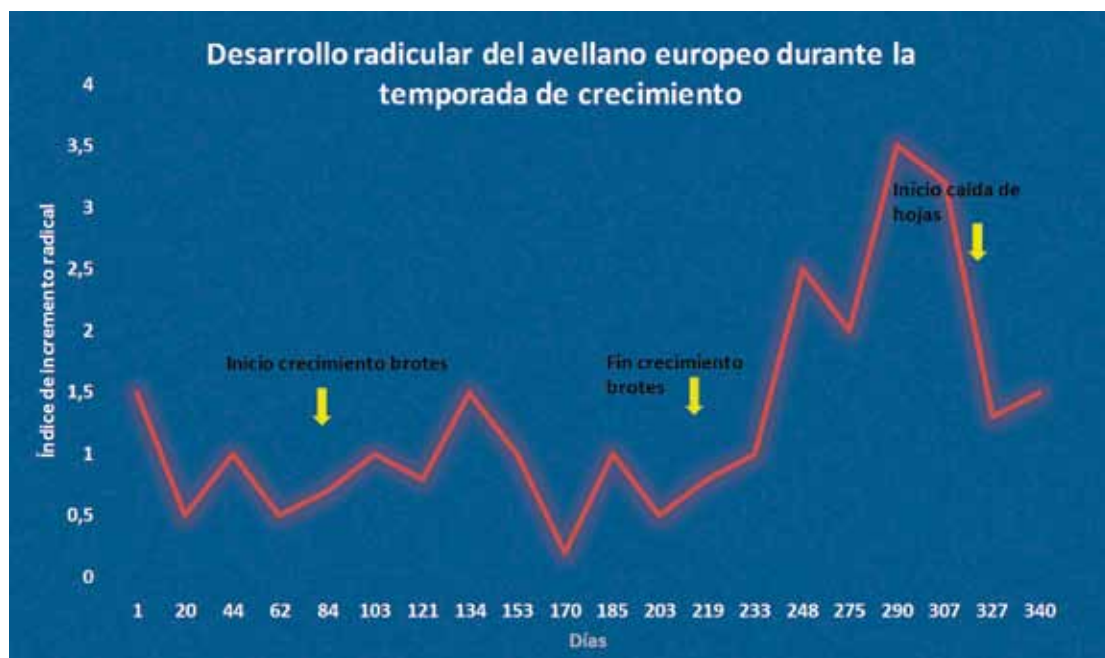


Figura 4. Curva de crecimiento de la raíz del avellano europeo.

Fuente: Adaptado de Roversi (2002).

5.7. Potasio

El potasio (K) cumple un rol esencial en diferentes funciones fisiológicas como fotosíntesis, biosíntesis de proteínas y carbohidratos, osmorregulación, expansión celular, apertura y cierre de estomas y regulación de numerosas actividades enzimáticas. Influye positivamente en la calidad de la producción, fortaleciendo la asimilación de nitrógeno en las hojas y el desarrollo de la semilla. Además, permite el movimiento del agua, apertura de estomas, ejerciendo un rol fundamental en la economía del agua. Este elemento favorece la fotosíntesis y tiene un rol activo en el transporte de los compuestos formados durante este proceso. Adicionalmente, permite tener una cantidad adecuada de celulosa y lignina que proporciona rigidez y estructura a los árboles. La concentración adecuada de K en las hojas varía entre 0,9-1,0%. Su carencia provoca necrosis o muerte de tejido en los márgenes de las hojas, retraso en la brotación, clorosis de las hojas, acorchamiento de los márgenes de las hojas (Proebsting y Serr, 1954); ello puede ocurrir con niveles de K inferiores a 0,8% (Chaplin y Dixon, 1979).

Las épocas más adecuadas para su aplicación son: julio a septiembre (60% de la dosis total) y diciembre a enero (40% del total). La dosis de fertilización potásica a aplicar dependerá del nivel de disponibilidad de K en el suelo, de la concentración en las hojas y de los requerimientos de este nutriente en el cultivo. En suelos arenosos y sin fertilización básica se sugiere la aplicación de 20 kg K₂O ha⁻¹ (2º año), 30 kg K₂O ha⁻¹ (3º año),

40 kg K₂O ha⁻¹ (4^o año) y 50 kg K₂O ha⁻¹ (100 kg de sulfato de potasio) al 5^o año de establecido el cultivo. Es recomendable fraccionar su aplicación para evitar pérdidas desde el suelo, particularmente en aquellos de textura arenosa (Ellena *et al.*, 2013). Las principales fuentes potásicas utilizadas en avellano europeo son sulfato de potasio y nitrato de potasio, también indicadas para fertirrigación. El cloruro de potasio no se recomienda en la fertilización potásica del avellano europeo, dado que puede ocasionar fitotoxicidad.

Estudios realizados en el extranjero indicaron que los avellanos tienen una baja capacidad de absorción de potasio desde el suelo (Kowalenko y Kempler, 2001). Ello explicaría que se requieran aplicaciones sucesivas de potasio (durante 3-5 años) para aumentar los niveles de K en las hojas, particularmente en huertos con deficiencias severas, bajo las condiciones edafoclimáticas en que se realizaron los estudios (Roversi, 1977). Por la escasa movilidad del K en el suelo (por difusión) se sugiere su incorporación antes de la plantación. Una alternativa son las aplicaciones foliares. Sin embargo, debido a que sólo una pequeña cantidad es absorbida por las hojas se requiere efectuar varias aplicaciones con fertilizantes foliares potásicos (Ellena *et al.*, 2013). Es fundamental disponer del nivel de K intercambiable del suelo y del nivel de K foliar; idealmente es conveniente realizar un monitoreo de éste en el tiempo (análisis químico).

Investigaciones realizadas en huertos jóvenes de avellano europeo cv. Barcelona (tres años de edad), en un suelo trumao de la comuna de Pitrufquén (Región de La Araucanía), determinaron que no hubo diferencias significativas de rendimiento de fruto entre las dosis de fertilización potásica evaluadas (Cuadro 13). No se aprecian diferencias significativas de rendimiento con diferentes dosis de potasio aplicadas en huerto de avellano europeo, cv. Tonda di Giffoni de la comuna de Pitrufquén. Estos resultados son preliminares, ya que hasta la fecha solamente se ha considerado una temporada de evaluación (2015).

Tampoco hubo diferencias entre los tratamientos respecto del rendimiento industrial (ambas variedades). Estos resultados corresponden a una temporada experimental, por lo tanto, aún es prematuro establecer una conclusión al respecto. Por ello, estos estudios continuarán hasta que los árboles logren su pleno régimen productivo. Existen antecedentes bibliográficos que indican que el avellano, después de varios años de haber estado sometido a tratamientos con fertilizantes, expresa aumentos en los rendimientos y calidad de las avellanas, particularmente en el rendimiento al descascarado (Roversi, 1999 y 2002; Roversi, 2010). Otros trabajos de investigación realizados en el norte de Italia (por nueve años) no han mostrado un efecto claro de la fertilización sobre los rendimientos y calidad de la fruta respecto de lo obtenido con el testigo (Eynard y Zanini, 1972; Eynard *et al.*, 1972).

En suelos del extranjero, particularmente norte de Italia, con un nivel de disponibilidad de potasio en el suelo superior a 200 kg mg^{-1} eventualmente podrían ocurrir fenómenos de competencia con reducción en la absorción de Ca^{2+} y Mg^{2+} , en cuyo caso esta fertilización podría suspenderse por un cierto período de tiempo (Roversi, 2002). Ello, sin embargo, no ha sido evaluado para este cultivo en las condiciones edafoclimáticas del sur de Chile.

Cuadro 13. Efecto de la aplicación de dosis incrementales de potasio sobre el rendimiento de fruto acumulado del cv. Barcelona (tres años de edad), (cosecha 2015). Comuna de Pitrufrquén, Región de La Araucanía.

| Dosis K_2O (kg ha^{-1}) | Rendimiento de fruto (kg ha^{-1}) |
|---|---|
| 0 | 280,5 a |
| 40 | 249,9 a |
| 80 | 279,5a |
| 120 | 257,7 a |
| 180 | 277,5 a |
| 200 | 219,8 a |
| 240 | 236,5 a |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

5.8. Magnesio

El magnesio cumple una función fundamental en la activación de enzimas relacionadas con la respiración, fotosíntesis y síntesis del DNA y RNA. Participa en la formación y acumulación de hidratos de carbono, azúcares, proteínas, vitaminas y otros. Las épocas de aplicación más adecuadas son: julio a noviembre y diciembre a enero. Se ha observado una mejor absorción del magnesio en árboles que tienen un mayor aporte de nitrógeno o con aplicaciones de nitrato de magnesio, sulfato de magnesio (Ellena *et al.*, 2013).

Las aplicaciones foliares de productos con magnesio en la primavera, durante la fase de crecimiento vegetativo y fecundación (octubre-noviembre), han permitido mejorar el crecimiento y rendimiento de los árboles (Bignami *et al.*, 1999), determinándose las dosis a aplicar en base a análisis químicos de suelo y foliares.

Estudios realizados en manzano han evidenciado que la fertilización magnésica es muy importante en los años de alta carga de fruta, con extracciones anuales de $10\text{-}20 \text{ kg MgO ha}^{-1}$ (Marangoni y Baldi, 2008), no existiendo información bibliográfica disponible para el caso de avellano europeo.

Como recomendación general se pueden aplicar entre 15-20 kg MgO ha⁻¹ (Ellena *et al.*, 2013). Las fuentes más importantes de fertilizantes magnésicos pueden apreciarse en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Fuentes de fertilizantes magnésicos.

| Fuente de magnesio | Formulación | MgO (%) |
|--------------------------------------|--|--------------|
| Nitrato de Magnesio | Mg(NO₃)₂* 6H₂O | 15-16 |
| Sulfato de Magnesio | MgSO₄* 7H₂O | 15-16 |
| Sulfato de potasio y magnesio | K₂SO₄* MgSO₄ | 18 |
| Dolomita | CaCO₃* MgCO₃ | 20 |

5.9. Calcio

El calcio (Ca⁺²) tiene una importante función en el desarrollo de la planta, ya que regula diferentes funciones celulares, preserva la integridad y estabilidad de la membrana citoplasmática, confiriendo resistencia a la pared celular a través de puentes de pectatos a nivel de la lamela media. Favorece la asimilación y movilización de otros nutrientes, particularmente en suelos ácidos, influyendo en el desarrollo de las raíces y por tanto en el dosel vegetativo (Ellena y Montenegro, 2006). Su carencia predispone a las plantas a una mayor sensibilidad al frío. En suelos ácidos del sur de Chile, particularmente en aquellos con bajos niveles de calcio intercambiable, es recomendable encalar el suelo previo a la plantación y efectuar aplicaciones anuales de calcio (como carbonato de calcio) en torno a los árboles o a lo largo de la plantación. No obstante, el tratamiento más eficaz es incorporarlo al suelo previo a la plantación (dada su baja movilidad); en general, pueden aplicarse 1,5-2,0 ton ha⁻¹ de carbonato de calcio antes de la plantación (fertilización de fondo). Con aplicaciones de 200-300 g planta⁻¹ (en invierno) hubo un efecto positivo en el crecimiento de los árboles, especialmente en huertos jóvenes establecidos en la zona centro sur y sur del país (Ellena *et al.*, 2013).

5.10. Boro

Este elemento favorece la diferenciación de las yemas, germinación del polen, transporte y acumulación de azúcares, particularmente en su traslado a través de las membranas celulares. Interviene en el proceso reproductivo, influyendo en la germinación del polen y en el desarrollo del tubo polínico, mejorando la cuaja y el rendimiento final del cultivo. Adicionalmente, favorece la actividad meristemática de los ápices de los brotes y de las raíces y en el control de la absorción del calcio. Aplicaciones

foliares con boro a caída de hojas y en primavera, entre los meses de octubre y noviembre, han permitido mejorar la cuaja, calidad de la fruta y rendimientos de los árboles, en particular en suelos con deficiencia de este nutriente (Bignami *et al.*, 1999).

Se han logrado también buenos resultados usando productos foliares en base a nitrógeno, zinc y boro, en tratamientos de otoño y primavera (Bignami *et al.*, 1999). Estudios realizados en almendros con tratamientos foliares de boro en otoño han evidenciado un efecto positivo sobre el porcentaje de germinación del polen y crecimiento del tubo polínico (Nyomora *et al.*, 1997, 1999, 2000). Otros autores, en diferentes especies frutales, han determinado que aplicaciones foliares de boro en otoño permiten su movilización desde las hojas a las yemas adyacentes, manteniendo una elevada concentración a nivel foliar, expresado en una mayor producción de flores (Hanson, 1991a; Sánchez y Righetti, 2005).

Los mejores resultados se han observado con aplicaciones foliares de boro asociado a otros nutrientes como Zn, produciéndose un efecto sinérgico entre estos elementos (Solar y Štampar, 2001; Sotomayor *et al.*, 2000; Usenik y Štampar, 2002). No obstante, las respuestas positivas a aplicaciones de fertilizantes foliares estarían relacionadas a factores tales como: especie, variedad y status nutricional. Sin embargo, es importante no aplicar dosis excesivas puesto que ocasionan rápidamente toxicidad en los árboles.

5.11. Zinc y Azufre

El zinc es un cofactor de más de 300 enzimas y proteínas y tiene un efecto temprano en la división celular, metabolismo del ácido nucleico y síntesis de proteínas (Marschner, 1986). Su deficiencia en diferentes especies frutales afecta la producción y fisiología del polen, anatomía floral y rendimientos de los cultivos (Usenik y Štampar, 2002; Ute y Clemens, 2005).

En avellano europeo Solar y Štampar (2001) han reportado mayores rendimientos en huertos tratados con fertilizantes foliares a base de zinc y boro. En diferentes especies frutales también se han reportado efectos positivos sobre los rendimientos en árboles tratados con aplicaciones foliares de zinc y boro (Sotomayor *et al.*, 2000, Usenik y Štampar, 2002).

Las deficiencias de este elemento raramente se han detectado en huertos de avellano europeo en la zona sur de Chile. Al respecto, se recomienda realizar aplicaciones de zinc en huertos adultos solamente si el análisis foliar indica un nivel deficiente de este nutriente y si existen síntomas de deficiencia visibles en los árboles. Las deficiencias de zinc producen hojas con forma de rosetas o botones en la parte terminal de brotes nuevos. Para corregir el problema, se recomiendan aplicaciones foliares tardías en

invierno, previo a la brotación o a finales de la temporada, luego de cosecha con hojas verdes activas.

En estudios realizados con especies frutales de nuez, como pecano, se ha determinado que la deficiencia de zinc produce inhibición del desarrollo de brotes, defoliación y clorosis parcial o total en las hojas (Sparks, 1987). El aumento de la concentración de zinc a nivel foliar en pecano ($49\text{-}50\text{ mg kg}^{-1}$), condujo a un aumento importante en el rendimiento del cultivo. Las aplicaciones foliares han mostrado un mejor efecto que las aplicaciones al suelo, dada su baja movilidad en el suelo (Alloway, 2008).

En Chile existen escasos antecedentes sobre el efecto del zinc sobre el crecimiento, producción y calidad de las avellanas. En estudios realizados en la zona sur del país se demostró un efecto positivo de tratamientos foliares, en base a algunos macro y micronutrientes [N (10%), P_2O_5 (10%), K_2O (10%), Zn (0,05%), Mg (0,05%), B (0,02%), Cu (0,05%), Fe (0,1%), Mn (0,05%) y Mo (0,005%)], que incrementaron el rendimiento del avellano europeo respecto del logrado por el testigo (sin fertilización foliar). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre el rendimiento industrial (%) obtenido con estos tratamientos y el testigo (Ellena *et al.*, 2014).

En relación al azufre, cabe indicar que las deficiencias se manifiestan con amarillamiento de las hojas nuevas. Para corregirlas, se pueden aplicar tratamientos foliares con azufre elemental o aplicaciones al suelo mediante fertilizantes (sulfato de amonio o sulfato de potasio, otros).

Referencias Bibliográficas

Alloway, B.J. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. 2nd ed. 135 p. Published by IZA and IFA. Brussels, Belgium and Paris, France.

Bignami, C., De Salvador, R.F., e G. Strabbioli. 1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della corilicoltura nel Lazio. Rivista de Frutticoltura e di Ortofloricoltura N° 11: 16-27.

Cacka, J.F., and F. Smith. 2009. Foliar nutrition applied at early hazelnut development shows positive yield and quality factors in the Willamette Valley of Oregon. Acta Hort. 845: 343-348.

Cacka, J.F., and P. Sanguankeo. 2014. Calcium influence on hazelnut quality and yields in Oregon. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 1052: 187-193.

Campillo, R., y A. Sadzawka. 2006a. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. p. 44-60. Serie Actas N° 38. En R. Campillo (ed.) Manejo de los recursos naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de La Araucanía. 17-19 de enero de 2006. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Temuco, Chile.

Campillo, R., y A. Sadzawka. 2006b. Encalado de los suelos. Caracterización y manejo de enmiendas calcáreas. p. 61-84. In R. Campillo (ed.) Manejo de los recursos naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de La Araucanía. 17-19 de enero de 2006. Serie Actas N° 38. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Temuco, Chile.

Castellanos, J. 2014. Acidez del suelo y su corrección. Hojas Técnicas de Fertilab, Intagri, México. 4 p. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manejo-y-correccion-de-acidez-de-suelo#sthash.TwqeAV32.5GuqWVCE.dpbs> (leído en agosto de 2016)

Chaplin, M.H. and A.R. Dixon. 1979. The development of standard ranges for leaf nitrogen in the filbert. J. Am. Soc. Hort. Sci. 104: 710-712.

Ellena, M., y A. Montenegro. 2006. Establecimiento del huerto. p. 61-71. Boletín INIA N°135. En Ellena, M. (ed.) Cultivo del cerezo para la zona sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. 88 p. Boletín INIA N°202. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Montenegro, A., Sandoval, P., González, A., y G. Azócar. 2013. Fertilización. p. 93-112. Boletín INIA N° 274. En: Ellena, M. (ed.) Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., Montenegro, A., González, A., y G. Azócar. 2014. Effect of foliar nutrient applications on fruit set in "Chilean Barcelona" hazelnut in Southern Chile. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 1052: 231-234

Eynard, I. 1968. Risultati d´una prova quinquennale di concimazione azotata al nocciolo, Atti: "Convegno Nazionale di Studi sul Nocciolo", Viterbo. p. 241-251.

Eynard, I., Gay, G., e L. Casale. 1972. La concimazione minerale del nocciolo, "Annali dell´Accademia di Agricoltura di Torino" Torino, vol. 114. p. 1-34.

Eynard, I., e E. Zanini. 1972. Effetti della fertilizzazione con azoto, fosforo e potasio in diversi rapporti, sulla composizione delle foglie di nocciolo cv. "Tonda Gentile delle Langhe", "Annali della Facoltà di Scienze Agrarie dell´Università degli Studi di Torino", vol. 7. p. 91-108.

Fregoni, M., e E. Zioni. 1966. Indagine triennali sulla concimazione organica e minerale frazionata nel periodo di riposo invernale del nocciolo, Atti: "Convegno Nazionale sulla Fertilizzazione del Nocciolo", Avellino. p. 77-84.

Fregoni, M., e L. Picariello. 1966. Ricerche quadriennale sulla concimazione di produzione del nocciolo nell´avellinese. Effetti produttivi, tecnologici e biologici di elementi singoli ed associati per via ipogea ed epigea, Atti: "Convegno Nazionale sulla Fertilizzazione del Nocciolo, Avellino. p. 96-135.

Fregoni, M., e E. Zioni. 1972. La concimazione al nocciolo "Ricerche sulle modalità di distribuzione dei fertilizzanti", Inf. Agr", vol. XXVIII. p. 7652-7653.

Hanson, E.J. 1991. Sour cherry trees respond to foliar boron applications. HortScience 26: 1142-1145.

Kowalenko, C.G., and C. Kempler. 2001. Effect of fertilizer applications on hazelnut leaf and soil concentrations. Acta Hort. 556: 327-334.

Marangoni, B., e E. Baldi. 2008. Il Melo: Coltivazione, concimazione e irrigazione. Coltura & Coltura. p. 142-161.

Marschner, H. 1986. Functions of mineral nutrients: macronutrients. p. 195-267. In: Marschner, H. (ed.) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press Limited, London, England.

Nyomora, A.M.S., Brown, P.H., and M.Freeman. 1997. Fall foliar-applied boron increase tissue boron concentration and nut set of almond. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122: 405-410.

Nyomora, A.M.S., Brown, P.H., and D. Krueger. 1999. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. HortScience 34: 242-245.

Nyomora, A.M.S., Brown, P.H., Pinney, K., and V.S.Polito. 2000. Foliar application of boron to almond trees affects pollen quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 125: 265-270.

Olsen, J. 1997. Nitrogen management in Oregon Hazelnut. *In* Koksal, A.I., Okay, Y., and N.T.Bunes (eds.). Proc. IVth International Congress on Hazelnut. Ordu, Turkey, 1996. Acta Hort. 445:263-268.

Olsen, J.L., and J.F.Cacka. 2009. Foliar fertilizers on hazelnut in Oregon, USA. Proc. VIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 845: 349-351.

Olsen, J.L. 2001. Hazelnuts nutrient management guide. Oregon State University. Oregon, USA. 4 p.

Pansecchi, A., Roversi, A., and G.L.Malvicini, G.L. 2014. Some years of trials on the effectiveness of hazelnut foliar fertilization. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. (ISHS)1052: 195-199.

Pinochet, D., Artacho, P., y A. Maraboli. 2014. Manual de fertilización de arándanos cultivados en el sur de Chile. Proyecto FIA-UACH PYT 2009-0080. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 71 p.

Proebsting, E.L., Serr, E.F., and N.F.Childers. 1954. Edible nuts mineral nutrition of fruit crops. New Brunswick, NJ Rutgers University 477 494R.

Rodríguez, J. 1993. Manual de fertilización. 362 p. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Roversi, R. 1977. Contenido de algunos elementos minerales de los órganos aéreos del avellano. I Congreso Internacional de Almendra y Avellana. Reus, España. p.225-233.

- Roversi, A. 1999. Prime indagini sulle asportazioni minerali del nocciolo. *Frutticoltura e Hortofloricoltura* 61 (11): 32-34.
- Roversi, A. 2002. Esigenze nutrizionali e concimazione sulnocciolo. 2° Convegno Nazionale del Nocciolo. N° 24. p. 28-42.
- Roversi, A. 2010. Nutrients uptake in hazelnut orchards. *Acta Hort.* 868: 439-444.
- Sadzawka, A. 1991. Propiedades químicas de los suelos. p. 9-24. *In* Programa Comunicaciones Remehue (ed.) Acidez y encalado de suelos en la Región de Los Lagos. Serie Remehue N° 15. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Remehue, Osorno, Chile.
- Sánchez, E.E., and T.L.Righetti. 2005. Effect of postharvest soil and foliar application of boron fertilizer on the partitioning of boron in apple trees. *Hort. Sci.* 40 (7): 2115-2117.
- Shrestha, G.K., Thompson, M.M., and T.L.Righetti. 1987. Foliar-applied boron increase fruit set in "Barcelona" hazelnut. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 412-416.
- Solar, A., and F.Štampar. 2001. Influence of boron and zinc application on flowering and nut set in "Tonda di Giffoni" hazelnut. *Acta Hort.* 556: 307-312.
- Sotomayor, C., Silva, H., and J. Castro. 2000. Effect of boron plus zinc foliar spray on fruit setting of two almond cultivars. *Acta Hort.* 591: 437-440.
- Sparks, D. 1987. Apparent effect of zinc treatment on the growth rate of pecan production and yield. *HortScience* 22: 899-901.
- Tous, J., Romero, A., Plana, J., Sentis, X., and J.Ferrán. 2005. Effect of nitrogen, boron and iron fertilization on yield and nut quality of Negret hazelnut trees. *Proc. VIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort.* 686:277-280.
- Usenik, V., and F. Stampar. 2002. Effect of application of zinc plus boron on sweet cherry fruit set and yield. *Acta Hort.* 594:245-249.
- Ute, K., and S.Clemens. 2005. Functions and homeostasis of zinc, copper and nickel in plants. *Topics Current Genet.* 14: 215-271.
- Walworth, J.L., and N.E. Summer. 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (Dris). *Adv. Soil Sci.* 6: 149-188.



CAPÍTULO 6

RIEGO

Leovigildo Medina M., Ing. Agrónomo Mg. en Cs.

1. Introducción

El avellano europeo es una especie sensible a la falta de agua y presenta una baja capacidad de regulación estomática. Los árboles en condiciones de estrés hídrico presentan una disminución de la funcionalidad foliar y capacidad asimilativa de la copa (Ellena, 2013), (Bignami *et al* 1999).

Los sistemas productivos dependen estrechamente del uso de agua, siendo esta el principal factor limitante de la producción en gran parte del mundo (Steduto *et al.*, 2012). Se ha observado que en climas benignos, no entra en dormancia y presenta crecimiento vegetativo durante todo el año (Lagerstedt, 1978); es un árbol que no tolera veranos excesivamente calurosos y secos (Valenzuela *et al.*, 2000). El avellano europeo (como cultivo) puede alcanzar producciones satisfactorias en condiciones de clima moderado, con veranos frescos e inviernos benignos, sin grandes oscilaciones de temperatura (Medel, 1986; Baldwin, 1998 y Lemus, 2004).

La respuesta productiva de un árbol frutal dependerá de los procesos ecofisiológicos internos de la planta y de las condiciones externas generadas por el clima y suelo (Santibáñez, 2012), lo que se encuentra asociado al crecimiento y reproducción de una planta, influenciada por la capacidad del follaje para realizar fotosíntesis. La capacidad de fotosíntesis depende de la radiación solar, temperatura y estado hídrico de las hojas (Santibáñez, 1994). A su vez, la cantidad total de carbohidratos a producir en una planta es influenciada por la capacidad de intercepción de radiación, es decir del área foliar efectiva de los árboles (Gil, 2000). Las variables ambientales también generan cambiantes condiciones de respuesta, en donde ellas (según su intensidad), se identifican como niveles de estrés: térmico, radiación e hídrico, entre otros (Santibáñez, 1994; Allen y Ort, 2001).

El estrés hídrico se manifiesta en dos dimensiones, el primero donde el agua interviene en el equilibrio interno de los tejidos y célula, y un segundo donde el viento determina que la planta active mecanismos de pérdida de agua, lo que se realiza mediante apertura y cierre de estomas (Hsiao, 1990; Santibáñez, 2012). El cierre de estomas afecta el proceso de fotosíntesis, reduciendo en consecuencia las tasas de crecimiento y productividad (Turner, 1986; Santibáñez, 2012).

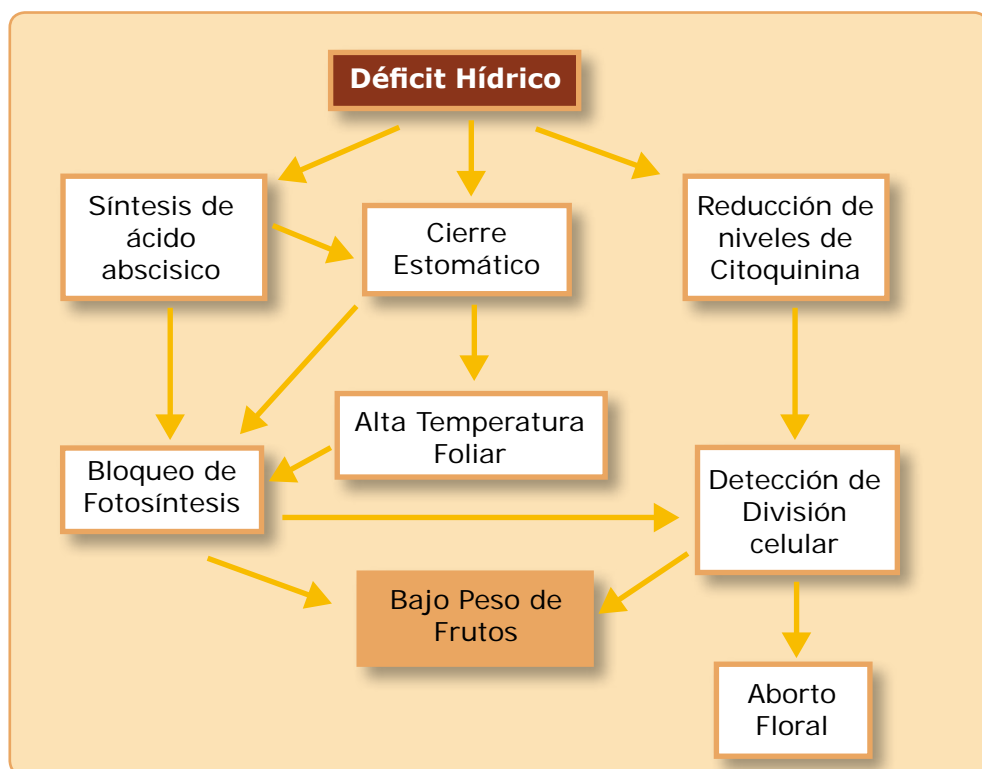


Figura 1. Secuencia de causa y efecto de estrés hídrico

Fuente: Adaptado de Santibáñez, 2012.

La falta de agua disponible para un cultivo, provoca una marcada reducción de la fotosíntesis y en consecuencia reduce la producción de carbohidratos, afectándose el rendimiento (Gil, 2000; Santibáñez, 2012).

El avellano Europeo (*Corylus avellana* L.), es una especie sensible al estrés hídrico ambiental (Schulze y Küppers, 1979; Turner et al., 1984), en áreas en donde el déficit de vapor producido entre el ambiente y la hoja es desfavorable para el cultivo. Por ello, es necesario generar una condición de mayor abastecimiento de agua mediante la aplicación de riego (Girona et al., 1994).

El avellano, tiene un ciclo anual bastante complejo por la sobreposición de estados fenológicos durante los meses de diciembre y enero. En tal sentido, requiere una adecuada disponibilidad hídrica para atenuar la competencia entre los diferentes órganos del árbol (Gispert et al., 2005). Para avellano se ha descrito que la presencia o no de frutos afecta a otros procesos fisiológicos como la fotosíntesis (De Jong, 1986), dado que la producción de avellano es variable, existiendo años de baja producción. A la vez, también se ha demostrado que la aplicación de agua en la etapa de llenado de frutos, tiene incidencia en el producto final (Weinbaum et al., 1994; Girona et al., 1994).

Los árboles de esta especie frutal, en condiciones de estrés hídrico, presentan una disminución de la funcionalidad foliar y la capacidad asimilativa de la copa (Girona *et al.*, 1994), donde la ocurrencia de un estrés hídrico desde polinización a llenado de grano puede reducir la producción en un 60 % (Mingeau *et al.*, 1994). También se afecta negativamente el crecimiento, formación de la estructura, productividad de la planta y algunas características industriales de las avellanas, como el aumento del porcentaje de frutos vanos y disminución del rendimiento al descascarado (Girona *et al.*, 1994); otro período sensible es 10 días antes de la fertilización de la flor (Mingeau *et al.*, 1994). Por otra parte, la ocurrencia de estrés hídrico durante la etapa de fructificación del avellano europeo ocasiona una caída prematura de frutos (Girona *et al.*, 1994).

Esta especie frutal, en forma extensiva y en climas con buena distribución de agua, logra rendimientos aceptables que permiten sostener la rentabilidad de los huertos. Sin embargo, cuando la distribución de lluvias es inadecuada puede afectarse el rendimiento de frutos, lo que se acentúa con escasez de agua en etapas de formación y llenado de éstos, dado una baja capacidad de producir asimilados (inducida por la escasa disponibilidad de agua) (Marsal *et al.*, 1997), (Marsal *et al.*, 1997; Goldhamer y Shackel, 1990); al ocurrir en períodos o etapas sensibles (Chalmers *et al.*, 1981) puede influenciar el rendimiento al descascarado (Bignami *et al.*, 2009).

Un aspecto interesante a destacar es que las necesidades de agua del avellano europeo son crecientes durante el crecimiento vegetativo, inducción floral y desarrollo de la avellana (Valenzuela *et al.*, 2004; Baldwin, 2009).

En la literatura se menciona que la causa de bajos rendimientos es la falta de riego (Solar y Štampar, 2011), en cambio la aplicación regular del riego ocasiona un impacto importante en el rendimiento de este árbol frutal (Dias *et al.*, 2005; Gispert *et al.*, 2005). Por otra parte, la aplicación de riegos suplementarios permiten mejorar su rendimiento respecto de la condición sin regadío (Baldwin, 2009).

Sobre esta materia, Gispert *et al.*, (1996) señalaron que la aplicación de un volumen de riego equivalente a 4000 m³ha⁻¹ al año, distribuida en una fracción de 40 a 60% de la fracción de sombra y en una profundidad de suelo, de 30 a 40 cm, es suficiente para obtener una buena respuesta vegetativa y de rendimiento en esta especie frutal. En relación a ello, otros investigadores sostienen que el volumen de agua requerido para este árbol frutal es de 2.500-3000 m³ ha⁻¹ al año (Valenzuela *et al.*, 2004).

Los diferentes cultivares varían en las exigencias de tipo climática, presentando algunos un menor grado de tolerancia y otros un mayor grado de adaptación a diferentes condiciones de clima (Medel, 1986).

Cuadro 1. Estimadores climáticos para avellano europeo

| Estimador Climático | Severa | Limitación Moderada | Sin Limitación |
|--|--------|---------------------|----------------|
| Radiación (Kcal cm ⁻² año ⁻¹) | < 100 | 100 – 110 | > 110 |
| Temperatura anual (°C) | <11 | 11 – 12 | > 12 |
| Horas frío (N°) | < 600 | 600 – 800 | > 800 |
| Período térmico vegetativo (meses) | < 5 | 5 – 6 | > 6 |
| Temperatura verano (°C) | <14 | 14-15 | >15 |
| Periodo libre de heladas (meses) | < 4 | 4 - 5 | > 5 |
| Precipitación anual (mm) | < 600 | 600 – 800 | > 800 |
| Precipitación primavera-verano (mm) | < 300 | 300 – 600 | > 600 |
| Período seco (meses) | >4 | 2 - 4 | < 2 |

Fuente: Medel, 1986.

El avellano europeo no debe plantarse en suelos de mal drenaje (Barón *et al.*, 1997), poco profundos y pesados (no tolera excesos de agua) (Tous *et al.*, 1994; Tombesi, 1994), o delgados y en suelos calcáreos. Los árboles pueden crecer bien en este tipo de suelo hasta los primeros 8 a 10 años, pero después producen escasos frutos, dado su pobre sistema radicular, más bien superficial (Tous *et al.*, 1994; Tombesi, 1994; 2001; Grau, 2007). A pesar de esto, la mayoría de sus raíces se encuentran en los primeros 60 cm de profundidad (Barón *et al.*, 1997; Ellena 2010).

Este árbol requiere riego en condiciones de climas cálidos, los cuales deben aplicarse oportunamente, ya que ocurre una caída prematura de frutos al afectarse por una ligera sequía (Girona *et al.*, 1994). En secano requiere suficientes precipitaciones en primavera y verano, y un mínimo de lluvia otoñal para mantener una buena vegetación al momento de aparición de los órganos florales y del desarrollo del fruto (Girona *et al.*, 1994).

Las necesidades de agua son particularmente elevadas durante el período que abarca el crecimiento vegetativo, la inducción floral y el desarrollo de la avellana (Girona *et al.*, 1994; Valenzuela *et al.*, 2000). Por ello, Gispert *et al* (2005) señala que el cultivo de avellano europeo debe regarse en primavera-verano. Aquellos riegos aplicados solamente en verano o reducciones de un 50% de la cantidad de agua requerida, afectan la producción y calidad de frutos.

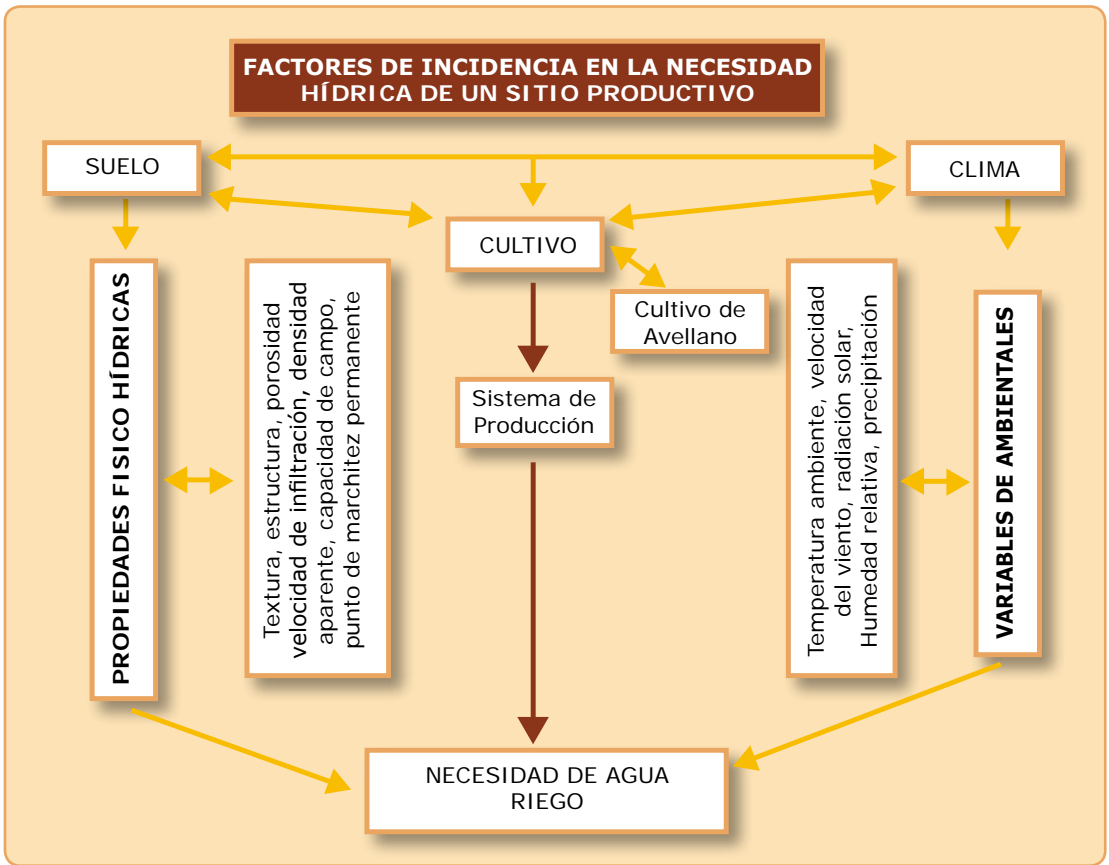


Figura 2. Esquema simplificado de necesidad de agua para un huerto de avellano europeo.

2. Programación de riego

2.1 Determinación de necesidades de riego

La cantidad de agua a aplicar en un huerto de avellano europeo depende de las interacciones suelo-planta-clima. Para estas condiciones, se debe determinar la cantidad de agua evaporada desde el suelo y la cantidad de agua transpirada y utilizada por este árbol frutal (Allen *et al.*, 2006; Rojas *et al.*, 2001) y en su conjunto se denomina evapotranspiración (Allen *et al.*, 2006). Para determinar las necesidades de agua a aplicar a un frutal, mediante riego, se han desarrollado y experimentado diversas metodologías que relacionan elementos del clima, disponibilidad de agua en el suelo y la planta en diferentes estados de desarrollo (Jara y Valenzuela, 1998).

Una de las variables que se necesita determinar es la evapotranspiración de referencia (ET_o). Este concepto considera una cubierta referencial de pradera de gramíneas en condiciones óptimas de crecimiento y abastecimiento de agua (Allen *et al.*, 2006). Esta condición permite que la determinación de la evapotranspiración solo dependa de la demanda atmosférica (Rojas *et al.*, 2001). Para la determinación de ET_o se han desarrollado una gran cantidad de modelos empíricos, siendo los más usados los siguientes: Blanney-Creedley, Turk, Priestley-Taylor y Penman-Montieth (Ortega-Farías *et al.*, 1998; Allen *et al.*, 2006).

Una vez establecido el valor de ET_o , se debe determinar la cantidad de agua a aplicar a un cultivo, que se denomina evapotranspiración del cultivo (ET_c). El valor de ET_c , corresponde a la tasa de evapotranspiración de un cultivo libre de enfermedades, condición óptima de suelo, fertilidad y agua (Marcelis *et al.*, 2009).

En el país, existen datos de evapotranspiración de referencia diaria que pueden consultarse en el sitio web www.agroclima.cl; <http://agromet.inia.cl>.

A modo de ejemplo, se muestran a continuación datos de evapotranspiración de referencia y precipitación para algunas localidades del país (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 2. Datos promedios de evapotranspiración de referencia en algunas localidades del sur de Chile.

| Mes | Días | N° Evapotranspiración de Referencia, ET_o (mm mes ⁻¹) | | | | |
|------------|------|---|----------------|--------|-----------|--------|
| | | Angol | Nueva Imperial | Gorbea | Río Bueno | Osorno |
| Julio | 31 | 36 | 20 | 18 | 10 | 17,9 |
| Agosto | 31 | 54 | 30,6 | 37 | 24 | 24,5 |
| Septiembre | 30 | 70 | 57,8 | 64 | 44 | 40,8 |
| Octubre | 31 | 126 | 83,3 | 88 | 78 | 64,9 |
| Noviembre | 30 | 165 | 101,2 | 119 | 94 | 95,7 |
| Diciembre | 31 | 247 | 145,3 | 121 | 112 | 138,8 |
| Enero | 31 | 237 | 161,3 | 185 | 150 | 143,7 |
| Febrero | 28 | 208 | 126,1 | 162 | 152 | 104,8 |
| Marzo | 31 | 148 | 93,5 | 131 | 111 | 73,9 |
| Abril | 30 | 104 | 48 | 79 | 64 | 37,7 |
| Mayo | 31 | 47 | 27,5 | 40 | 30 | 21,8 |
| Junio | 30 | 39 | 26,3 | 21 | 8 | 14,6 |

Cuadro 3. Datos promedios de precipitación mensual acumulada en algunas localidades del sur de Chile.

| Mes | N° Días | Precipitación, Pp (mm mes ⁻¹) | | | | |
|------------|------------|---|----------------|--------|-----------|--------|
| | | Angol | Nueva Imperial | Gorbea | Río Bueno | Osorno |
| Julio | 31 | 207,9 | 218,1 | 274 | 192,4 | 225,6 |
| Agosto | 31 | 146,8 | 160,5 | 328 | 163,3 | 143,9 |
| Septiembre | 30 | 79,3 | 105,6 | 189 | 113,3 | 124 |
| Octubre | 31 | 44,3 | 99,2 | 135,8 | 60,5 | 72,9 |
| Noviembre | 30 | 23,6 | 59,9 | 123,3 | 46,2 | 60,8 |
| Diciembre | 31 | 18,4 | 63,7 | 105,1 | 40 | 43,3 |
| Enero | 31 | 21,4 | 50,2 | 52,3 | 41,5 | 63,6 |
| Febrero | 28 | 15,8 | 43 | 85,5 | 42,3 | 49,7 |
| Marzo | 31 | 25,6 | 41,2 | 67,4 | 57,6 | 46,4 |
| Abril | 30 | 56,8 | 91,1 | 167,3 | 87,2 | 114,7 |
| Mayo | 31 | 190,1 | 236,6 | 301,2 | 200,2 | 253,7 |
| Junio | 30 | 224,8 | 224,9 | 309,7 | 222,7 | 184,4 |

La cantidad de agua consumida por el cultivo depende de su estado de desarrollo, y se representa por el coeficiente de cultivo (K_c), cuyo valor se obtiene de la relación entre evapotranspiración de cultivo en condición estándar y evapotranspiración de referencia:

$$K_c = ET_c / ET_o$$

El valor de K_c refleja las diferencias entre el cultivo y la superficie de referencia. Como las condiciones del cultivo varían, en función de las etapas de crecimiento, se genera una curva de valores que refleja las condiciones de cobertura vegetal durante el ciclo vegetativo (Allen *et al.*, 2006).

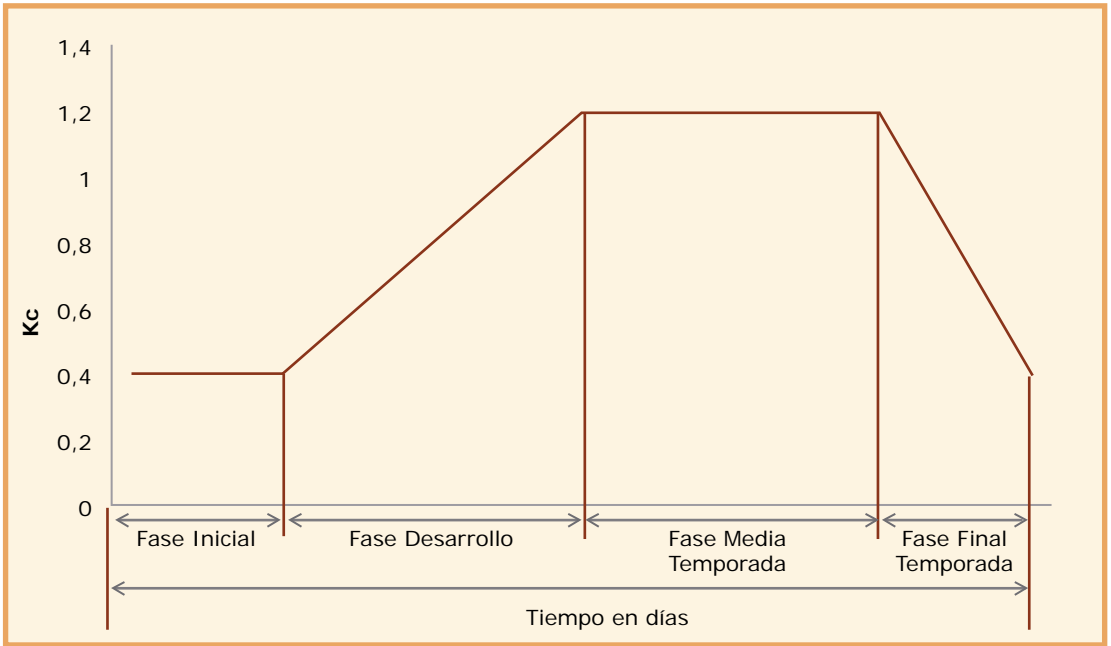


Figura 3. Curva generalizada de K_c

Fuente: Allen *et al.*, 1998

El coeficiente de cultivo (K_c), es propio de cada especie y de la etapa del ciclo vegetativo en que se encuentre. El valor de K_c permite calcular la evapotranspiración de cultivo (ET_c) a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_0). Los valores del parámetro están relacionados con las características de cada cultivo, por lo cual son específicos y dependen de las etapas fenológicas de éste, por ello sus valores son variables en el tiempo (Allen *et al.*, 1998).

Los valores presentados (Figura 4) fueron obtenidos del informe final de la Dirección General de Aguas (DGA), estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras (Ayala *et al.*, 2007); quien generó la información desde boletín FAO 56 (Allen *et al.*, 1998). Los valores son referenciales y en cada huerto se debe realizar la validación de sus valores.

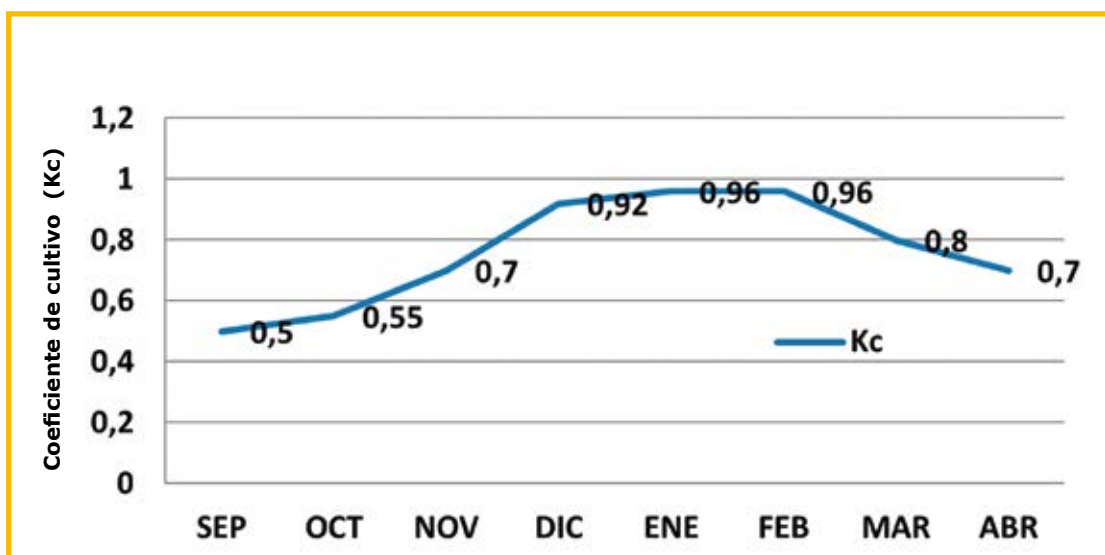


Figura 4. Coeficiente de cultivo referencial para avellano europeo.

Fuente: Adaptado de Allen *et al.* (1998).

Conocido el valor de K_c del cultivo se puede determinar la necesidad de agua, es decir la evapotranspiración (ET_c) mediante el uso de la siguiente expresión:

$$ET_c \text{ (mm día}^{-1}\text{)} = ET_o \text{ (mm día}^{-1}\text{)} \times K_c$$

Donde:

ET_c : evapotranspiración de cultivo en mm día^{-1}

ET_o : evapotranspiración de referencia en mm día^{-1}

K_c : coeficiente de cultivo, representa el estado de desarrollo fenológico del árbol de avellano europeo, adimensional (-).

Con este procedimiento se establece la cantidad de agua en mm día^{-1} que ha consumido un cultivo en una superficie unitaria, es decir 1 m^2 . Sin embargo, los árboles frutales se encuentran en condiciones hileradas y no ocupan toda la superficie. De este modo, para un uso eficiente del agua a aplicar se debe ajustar la superficie individual del árbol.

El área individual (A_i) por cada árbol (m^2), corresponde al área asignada que tiene cada árbol frutal al interior de la plantación y se refiere a la multiplicación de distancia sobre hilera por distancia entre hilera.

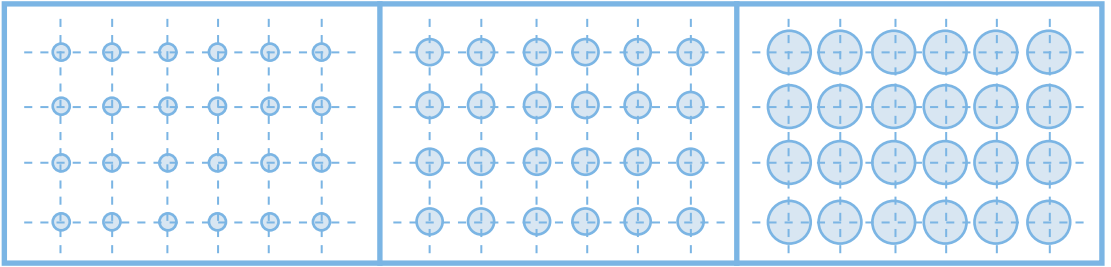


Figura 5. Esquema referencial de evolución del área potencial y disponible respecto al área de sombra al medio día.

El área de cobertura (A_c), corresponde al área de sombreado de cada árbol, se sugiere evaluar al menos dos veces por mes durante la temporada.

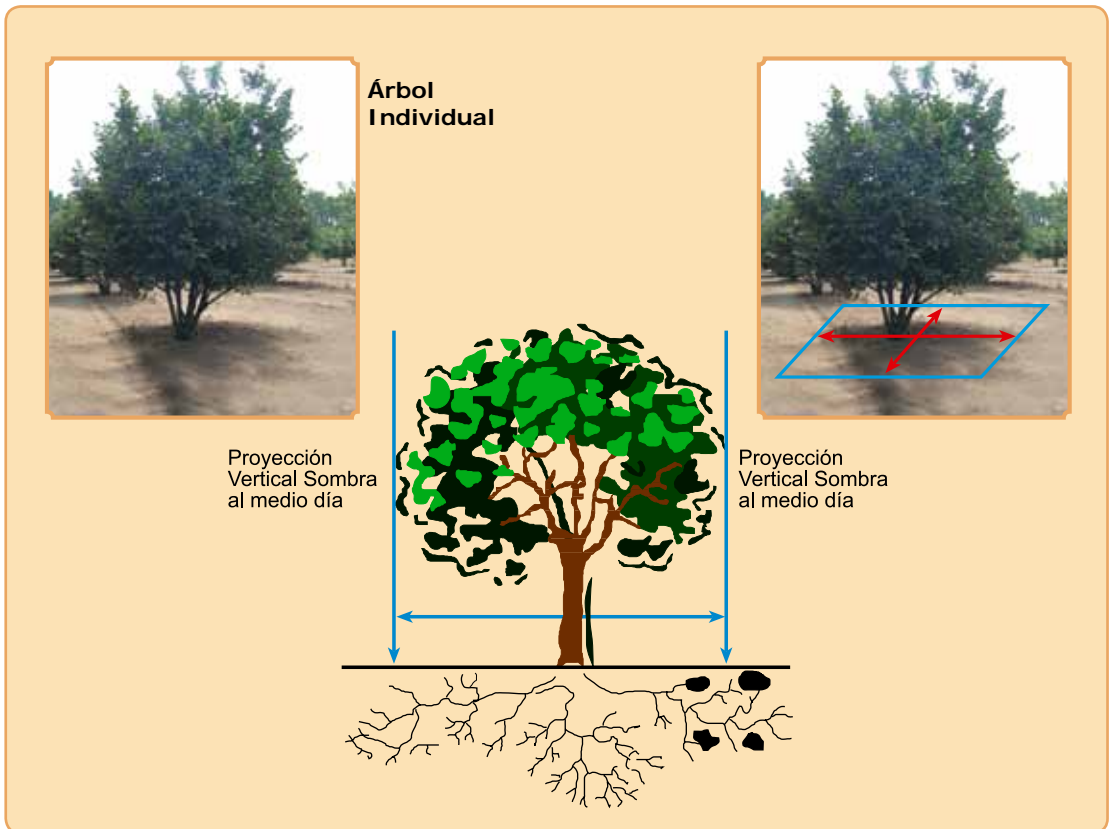


Figura 6. Área individual y área de cobertura de un árbol.

Porcentaje de sombreamiento (Ps), es la relación existente entre área de cobertura y área individual.

$$Ps = (Ac / Ai) \times 100$$

Donde:

Ps: porcentaje de sombra (%).

Ac: área de cobertura (m²).

Ai: área potencial de cobertura (m²)

Cuadro 4. Valores de corrección de cobertura.

| Corrección de cobertura (Kr) | | | |
|------------------------------|------|---------------------------|------|
| Porcentaje de sombra (Ps) | Kr | Porcentaje de sombra (Ps) | Kr |
| 10 | 12 | 60 | 70 |
| 12 | 14,4 | 62 | 72,4 |
| 14 | 16,8 | 64 | 74,8 |
| 16 | 19,2 | 66 | 77,2 |
| 18 | 21,6 | 68 | 79,6 |
| 20 | 24 | 70 | 82 |
| 22 | 26,2 | 72 | 84,4 |
| 24 | 28,4 | 74 | 86,8 |
| 26 | 30,6 | 76 | 89,2 |
| 28 | 32,8 | 78 | 91,6 |
| 30 | 35 | 80 | 94 |
| 32 | 37,4 | 82 | 95,2 |
| 34 | 39,8 | 84 | 96,4 |
| 36 | 42,2 | 86 | 97,6 |
| 38 | 44,6 | 88 | 98,8 |
| 40 | 47 | 90 | 100 |
| 42 | 49,4 | 92 | 100 |
| 44 | 51,8 | 94 | 100 |
| 46 | 54,2 | 96 | 100 |
| 48 | 56,6 | 98 | 100 |
| 50 | 59 | 100 | 100 |
| 52 | 61,2 | - | - |
| 54 | 63,4 | - | - |
| 56 | 65,6 | - | - |
| 58 | 67,8 | - | - |

Fuente: Keller y Karmeli, 1975.

Al realizar este ajuste se logra una mejor estimación del agua a aplicar al cultivo o requerimiento neto de riego (R_n), en donde la dosis de agua se determina al multiplicar el coeficiente de cobertura (K_r) por la superficie total o potencial disponible para el árbol (A_i) y por la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Rojas *et al.*, 2001).

$$R_n = ET_c \times (K_r \times A_i)$$

Donde:

R_n : requerimiento neto de agua, en litros.

ET_c : evapotranspiración del cultivo, $l\ m^{-2}$

K_r : factor de corrección por cobertura

A_i : área potencial del árbol, m^2 .

La aplicación de agua se realiza mediante técnicas de riego, a las cuales se ha determinado un valor de eficiencia de aplicación, que debe considerarse en la determinación de la cantidad bruta de agua a aplicar a un árbol (Rojas *et al.*, 2001).

$$R_b = R_n / E_{fa}$$

Donde:

R_b : requerimiento bruto de agua, en litros

R_n : requerimiento neto de agua, en litros

E_{fa} : eficiencia de aplicación de agua.

La eficiencia de aplicación de agua es la relación de agua efectiva a utilizar respecto de la aplicada (Brouwer *et al.*, 1989).

E_{fa} = (Volumen de agua utilizada / Volumen de agua aplicada).

Cuadro 5. Valores de eficiencia de aplicación, según método de riego.

| Método de riego | Normal | Conducción californiana |
|--------------------|--------|-------------------------|
| Tendido | 30 | 35 |
| Surco | 45 | 50 |
| Surco en contorno | 50 | 60 |
| Bordes en contorno | 50 | 65 |
| Bordes Rectos | 60 | 65 |
| Pretiles | 60 | 65 |
| Tazas | 65 | 70 |
| Aspersión | 75 | - |
| Microjet | 85 | - |
| Microaspersión | 85 | - |
| Goteo | 90 | - |

Fuente: Proyectos CNR.

Una vez determinado el volumen bruto de agua a aplicar, se debe elegir la técnica a utilizar. En el caso de riego localizado con aplicación del agua mediante goteros, ella se aplica gota a gota en un determinado punto, ingresando al suelo de forma vertical y horizontal, formando un bulbo húmedo (Fernández *et al.*, 2010).

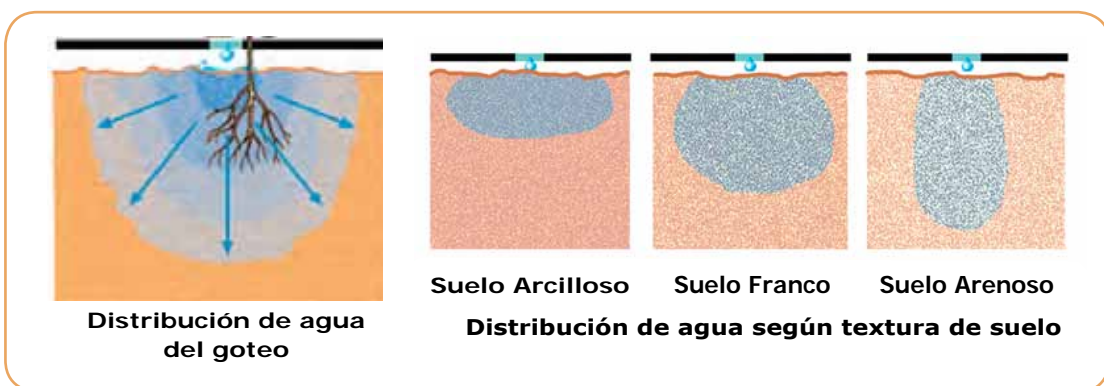


Figura 7. Esquema movimiento del agua en el suelo según textura.

Fuente: Manual de Riego para agricultores. Módulo riego localizado.

El emisor del gotero posee una descarga de agua en términos de volumen por unidad de tiempo, por lo general en litros por hora (l/h^{-1}). Esto permite establecer el tiempo de riego, mediante la siguiente expresión:

$$TR = (Nb \times 60) / (Ng \times qg)$$

Donde:

TR: tiempo de riego (min)

Nb: cantidad de agua bruta y operativa a colocar al suelo, en litros (por árbol o superficie unitaria)

Ng: número de goteros disponibles por unidad (por árbol o superficie unitaria)

qg : caudal del gotero, Lh^{-1} .



Figura 8. Tipos de goteros para la aplicación de agua en frutales.

2.2 Consideraciones físico-hídricas del suelo en la programación de riego.

Cuando se riega un árbol frutal, en el caso de avellano europeo, se aplica agua al suelo y luego la planta la extrae paulatinamente desde éste, en periodos entre riegos consecutivos (Ortega-Farías *et al.*, 2006); por lo tanto el suelo actúa como un depósito desde donde las plantas se abastecen en el tiempo, en función de sus requerimientos (Pizarro, 1996). La capacidad de almacenaje de agua del suelo depende de dos factores: capacidad de retención de agua del suelo y profundidad de raíces (Allen *et al.*, 2006; Jara y Valenzuela, 1998).

Los parámetros físico-hídricos del suelo, asociados a las prácticas de riego, se relacionan directamente con la textura y espesor de cada estrata del perfil del suelo (Valenzuela y Jara, 1979; Hillel, 1980) donde se desarrollan las raíces de los árboles (Carrasco y Ortiz, 2011). Según Narro-Farías (1994), el suelo actúa en numerosos procesos físicos, químicos y biológicos, lo que se considera como un respaldo y aporte de aire, agua y nutrientes (Hirzel, 2008).

La capacidad de retención de agua de un suelo depende de la textura, estructura, profundidad efectiva (profundidad útil de crecimiento del sistema radical), horizontes (estratas de suelo), densidad aparente, compactación, porosidad total, macro porosidad (Hillel, 1980; Carrasco *et al.*, 2008).

La densidad aparente (Dap) de un suelo es la relación existente entre su masa por unidad de volumen (Hillel, 1980), y asociada con la porosidad de éste (Carrasco, 2008).

Cuadro 6. Valores referenciales de densidad aparente (Dap) para suelos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, según clase textural.

| Textura | Dap (g cm ⁻³) | |
|-------------------------------|---------------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo |
| Arenosa francosa | 1,00 | 1,53 |
| Franco Arenosa | 0,6 | 1,47 |
| Franco * | 0,82 | 1,33 |
| Franco ** | 0.26 | 0,85 |
| Franco Limoso | 0,57 | 1,42 |
| Franco Arcillosa | 1,11 | 1,44 |
| Franco Arcillo limoso | 0.6 | 1,57 |
| Franco Arcillo Arenoso | 1,13 | 1,39 |
| Franco Arenoso Fino a Franco | 1,07 | 1,47 |
| Franco Arcillo Arenoso Grueso | 0.91 | 1,6 |
| Franco Arenoso Fino | 0.68 | 1.38 |
| Arcillosa | 0,94 | 1,29 |

*Valores, Región de La Araucanía.** Valores, regiones de Los Ríos y Los Lagos.

Fuente: Adaptado de CIREN (2002 y 2003).

Los suelos arenosos tienen un gran volumen de macroporos, escasa retención de agua y disponibilidad reducida de ella para las plantas, las raíces penetran con facilidad pero se dificulta la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que obliga a utilizar estrategias de riegos frecuentes (Carrasco y Ortíz, 2011).

Un suelo arcilloso tiene gran cantidad de microporos, por lo tanto almacena una gran cantidad de agua, pero el rango de entrega de ésta es limitada debido a las fuerzas de cohesión y adhesión del agua a las partículas de suelo (Hillel, 1980).

Por otro lado, un suelo franco o trumao, tiene un volumen de poros menor que el suelo arcilloso, pero su rango de disponibilidad de agua es mayor (Hillel, 1980, Carrasco y Ortiz 2011).

La porosidad de un suelo está ligada a la aireación y capacidad de retención de agua (Ferreira y Sellés, 2013) y se relaciona con la densidad aparente (Dap), (Hillel, 1980).

Los macroporos del suelo son aquellos que permiten el desarrollo de las raíces y el movimiento del agua en el suelo (Davies *et al.*, 1987; Wang *et al.*, 1996). Por su parte, los microporos corresponden a una red de poros finos del suelo, que retienen el agua luego de ocurrido el drenaje de éste, siendo vitales en la disponibilidad de agua para las raíces de los árboles (Hillel, 1980; Florentino, 1989). Así, para comparar suelos en función de la porosidad total, Bonneau y Souchier (1987) proponen:

Porosidad Total = Microporosidad (<3-8 μm) + Mesoporosidad + Macroporosidad (>30 μm)

La humedad del suelo es un parámetro dinámico, que varía rápidamente. Adicionalmente, el significado del contenido de humedad en éste no es absoluto y depende del tipo de suelo (Allen *et al.*, 2006; Medina *et al.*, 2013).

Para entender y hacer prácticos los conceptos de la física de suelos aplicada al riego se debe comprender esta situación, sabiendo que la capacidad de almacenaje de agua en el suelo depende de su textura y estructura (Hillel, 1980; Valenzuela y Jara, 1979).

El agua es retenida en el suelo por una energía o tensión y su valor se asocia a la cantidad de agua presente en éste, que dependerá de la textura asociada a tamaño de poros en donde actúan las fuerzas de cohesión y adhesión (Hillel, 1980). Por lo tanto, en sentido inverso, se puede asociar con la energía o tensión que debe generar una planta de avellano europeo para extraer el agua presente en el suelo (Medina *et al.*, 2013). Dicho valor varía con la humedad y la textura de éste. Se entiende por tensión a la fuerza con que las partículas de la matriz de suelo retienen el agua y que las plantas deben vencer para utilizarla (Hillel, 1980; Millar, 1993).

Dichos elementos deben considerarse al momento de establecer un programa de riego y no ocasionar un déficit de agua para las plantas.

La determinación de la humedad aprovechable del suelo utiliza la siguiente expresión:

$$H.A. = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Dap}{DH_2O} * P$$

Donde:

H.A.: altura de agua aprovechable para el cultivo (mm). Un milímetro de altura corresponde a un litro de agua por un metro cuadrado de terreno

CC: contenido gravimétrico de humedad de suelo expresado en porcentaje (base peso seco) a una energía que oscila entre 1/10 a 1/33 bar. Indica el límite superior o máximo de agua útil para el árbol que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad. Se conoce como capacidad de campo

PMP: contenido gravimétrico de humedad del suelo expresado en porcentaje (base peso seco) a una energía de retención que oscila entre 10 a 15 bar. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para el árbol, asociado a un potencial matricial de 15 bar. Conocido como punto de marchitez permanente

Dap: densidad aparente del suelo ($g\ cm^{-3}$)

DH₂O: densidad del agua ($g\ cm^{-3}$)

P: profundidad de la estrata de suelo considerada útil para riego (mm).

Cuadro 7 .Valores de humedad gravimétrica referencial para capacidad de campo y punto de marchitez permanente, en suelos de las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, según clase textural.

| Textura | CC (%) a 0,33 Bar | | PMP (%) a 15 Bar | |
|-------------------------------|----------------------|--------|---------------------|--------|
| | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo |
| Arenosa francosa | 28,9 | 9,8 | 12,9 | 4,1 |
| Franco Arenosa | 80,3 | 5 | 59,4 | 3 |
| Franco * | 43,1 | 22,5 | 22 | 10,3 |
| Franco ** | 130,6 | 39,6 | 17,7 | 5,0 |
| Franco Limoso | 78,6 | 10,3 | 67,6 | 6,8 |
| Franco Arcillosa | 23,3 | 18,6 | 16 | 11,3 |
| Franco Arcillo limoso | 62 | 17,1 | 52,2 | 10,5 |
| Franco Arcillo Arenoso | 34,4 | 15,6 | 22 | 8,4 |
| Franco Arenoso Fino a Franco | 32,3 | 19 | 16,8 | 9,1 |
| Franco Arcillo Arenoso Grueso | 29 | 16 | 15,4 | 8,1 |
| Franco Arenoso Fino | 61,9 | 7 | 37,2 | 4 |
| Arcillosa | 42 | 29 | 26 | 17 |

*Valores, Región de La Araucanía.** Valores, regiones de Los Ríos y Los Lagos.
Fuente: Adaptado de CIREN (2002 y 2003).

Cuadro 8. Parámetros físico-hídricos del suelo a nivel de estratas, en un perfil igual a 60 cm. Sitios de observación: comunas de Nueva Imperial, Gorbea y Osorno.

Comuna: Nueva Imperial. Ubicación Coordenadas: 684129.53 m E, 5709252.86 m S. Sector: Fundo Santa Adela.

| Perfil de suelo (cm) | CC (%) | PMP (%) | Dap (g cm ⁻³) |
|----------------------|--------|---------|---------------------------|
| 0-17 | 38 | 23 | 1,15 |
| 17-40 | 39 | 21 | 1,05 |
| 40-60 | 42 | 24 | 0,97 |

Comuna: Gorbea. Ubicación Coordenadas: 707203.65 m E 5667228.41 m S. Sector: Fundo San Francisco.

| Perfil de suelo (cm) | CC (%) | PMP (%) | Dap (g cm ⁻³) |
|----------------------|--------|---------|---------------------------|
| 0-20 | 64 | 39 | 0,93 |
| 20-41 | 66 | 45 | 0,97 |
| 41-53 | 63 | 40 | 1,05 |
| 53-60 | 58 | 37 | 1,16 |

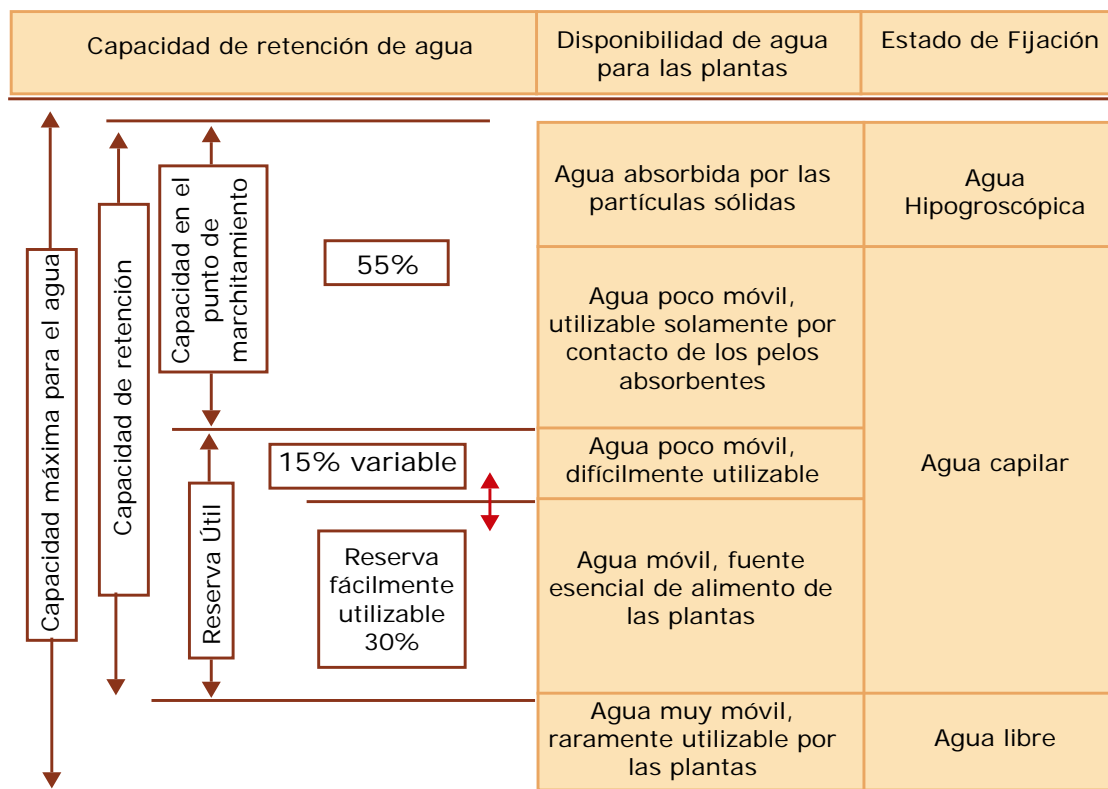
Comuna: Osorno. Ubicación Coordenadas: 641474.64 m E 5494968.27 m S. Sector: **Fundo Los Pinos.**

| Perfil de suelo (cm) | CC (%) | PMP (%) | Dap (g cm ⁻³) |
|----------------------|--------|---------|---------------------------|
| 0-6 | 42 | 29 | 1,13 |
| 6-16 | 35 | 26 | 1,21 |
| 16-40 | 43 | 32 | 1,19 |
| 40-60 | 41 | 32 | 1,17 |

Fuente: Análisis físico-hídrico realizado en laboratorio de riego de la Universidad Católica de Temuco.

En el esquema siguiente se muestra la distribución de agua en un suelo

Figura 9. Esquema con los estados físicos del agua y uso agronómico.



Fuente: Tarjuelo, 2005.

2.3 Capacidad para el agua

El agua higroscópica forma una película que recubre las partículas de suelo, no es asimilable por las plantas (no absorbible), está fuertemente retenida por fuerzas superiores a 15 atmósferas. La fuerza de succión es de 31 atmósferas.

El agua capilar, está presente en los tubos capilares del suelo, existiendo agua capilar absorbible y no absorbible. El agua capilar no absorbible por las plantas, se introduce en los tubos capilares más pequeños $< 0,2$ micras. Está fuertemente retenida y la fuerza de succión es de 31-15 atmósferas. El agua capilar absorbible por las plantas, se encuentra en tubos capilares de 0,2-8 micras. Es agua útil para la vegetación, constituye la reserva durante los períodos secos. La fuerza de retención varía entre 15 a 1 atmósferas.

El agua libre, es aquella que se introduce y fluye por el suelo por efecto de la fuerza de gravedad.

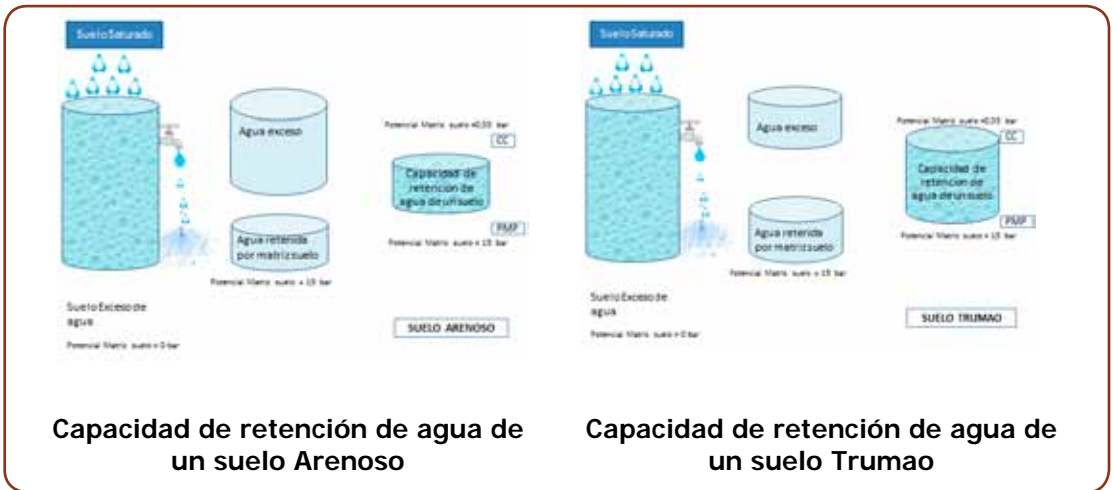


Figura 10. Esquema representativo de humedad aprovechable de un suelo arenoso y un suelo trumao, que refleja la disponibilidad de agua para las plantas, según textura de suelo.

Se debe considerar que los suelos rara vez son homogéneos en profundidad. En este sentido se debe efectuar un análisis de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo para cada estrata de éste que compone la profundidad de riego a considerar en el frutal (Valenzuela y Jara, 1979).

El cuándo regar se puede establecer en base a tres principios. El primero, basado en la variación de humedad del suelo, según un criterio de riego (CR), el cual indica el porcentaje tolerable de disminución de agua aprovechable del suelo (Valenzuela y Jara, 1979; Millar, 1993). Se sugiere un valor de CR = 50%, asignándose valores de CR = 30 % para cultivos sensibles, y de CR = 60 % para plantas que pueden soportar de buena manera un estrés hídrico (Valenzuela y Jara, 1979; Medina *et al.*, 2013).

El segundo aspecto a considerar es la profundidad de desarrollo de raíces de un cultivo, y se debe diferenciar las raíces efectivas (Valenzuela y Jara, 1979) para la absorción de agua y nutrientes (Hirzel, 2014) de aquellas que permiten un anclaje propio de la condición genética del frutal a considerar (Valenzuela y Jara, 1979).

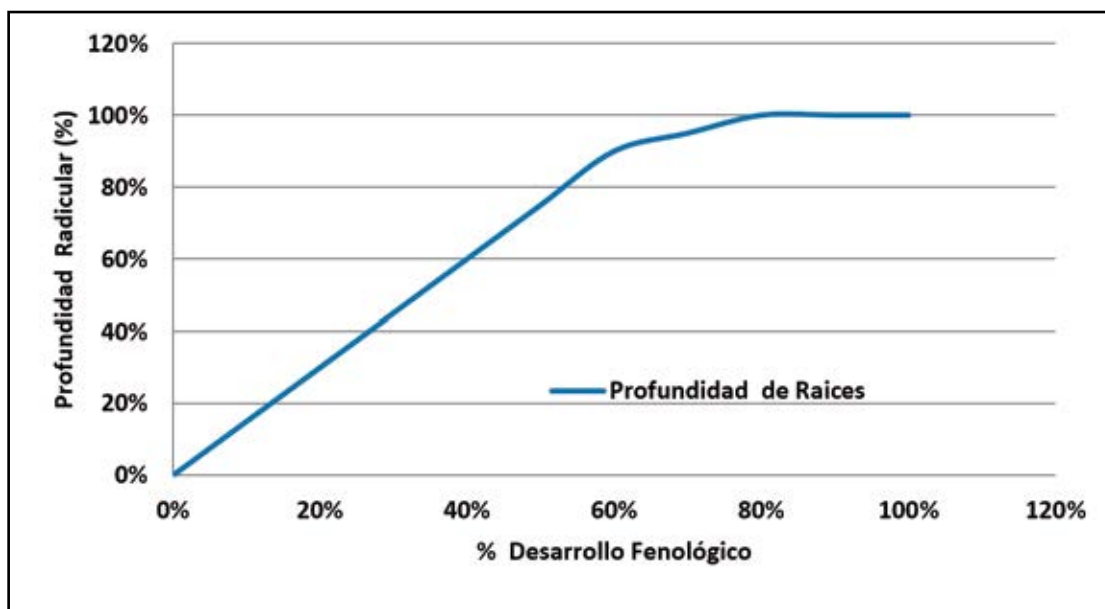


Figura 11. Evolución de la profundidad de raíces acorde con el desarrollo fenológico de una planta.

Un tercer elemento es la cantidad de agua que consume una planta, la cual puede variar con el clima, edad del frutal, ubicación geográfica, manejo de poda (Valenzuela y Jara, 1979; Allen *et al.*, 2006, Medina *et al.*, 2013).

La relación comparada entre la humedad aprovechable de un suelo, considerando un criterio de riego, permite establecer la cantidad de agua neta disponible para un frutal, generándose la siguiente expresión (Medina *et al.*, 2013):

$$\mathbf{Ln = HA \times CR}$$

Donde :

Ln : cantidad de agua neta disponible para la planta (mm)

HA : humedad aprovechable (mm)

CR : criterio de riego, en porcentaje (se sugiere valores entre 0 a 0,5).

Luego, es útil conocer la frecuencia de riego para fines de planificación. Para ello se establece una comparación entre lámina neta y la evapotranspiración de cultivo determinada para el frutal considerado, dando origen a la siguiente expresión (Allen *et al.*, 1998; Centro del Agua para la Agricultura, 2012):

$$\mathbf{FR = Ln / ET_c}$$

Donde:

FR : frecuencia de riego (días)

Ln : cantidad de agua neta disponible para la planta

ET_c: evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹).

2.4 La programación de riego en frutales: avellano europeo

A continuación, se presentan dos ejemplos de procedimiento de cálculo para establecer las cantidades de agua a aplicar (por árbol), tiempo de riego y frecuencia de riego. (Para árboles de 5 y 8 años).

Ejemplo 1:

| Variedad | Barcelona |
|------------------------|--|
| Edad del árbol | 5 años |
| Distancia sobre hilera | 4 metros |
| Distancia entre hilera | 5 metros |
| Lugar | Nueva Imperial |
| Sistema de riego | Gotero botón, auto compensado. |
| Descarga de gotero | 4 L ha ⁻¹ |
| Nº goteros/árbol | 4 |
| Mes de riego | Enero |
| Caudal descarga/gotero | 4 L h ⁻¹ x 4 = 16 L h ⁻¹ por árbol |
| Nº días/mes | 31 días |
| ET _o | 161,3 mm mes ⁻¹ (Cuadro 2) |
| ET _o | (161,3 mm mes ⁻¹) / 31 = 5,20 mm día ⁻¹ |
| K _c | 0,96* |
| ET _c | 5,20 mm día ⁻¹ x 0,96 = 4,99 mm día ⁻¹ |

* (obtenido de Medina *et al.*, 2013)

Se interpreta de la siguiente forma: en promedio el árbol consumió 4,99 litros de agua por día, en términos netos por cada metro cuadrado de superficie. Se debe corregir este valor considerando el porcentaje de sombreado, según lo propuesto por Keller y Karmeli (1975).

Radio de sombra medido al medio día : 1,4 m (se mide en árboles representativos del huerto)

Área de sombra del árbol individual (Ac) : $\pi R^2 = 3,1415 \times (1.4^2) = 6,16 \text{ m}^2$

Área individual del árbol (Ai) : DSH x DEH = 4 x 5 = 20 m²

Porcentaje de sombreado (Ps) : $(6,16 \text{ m}^2 / 20 \text{ m}^2) \times 100 = 30,78 \%$

Área sombra corregida (As) : 20 m² x (0,35) = 7 m²

Del Cuadro 4, se obtiene el valor de Kr.

| Porcentaje de Sombreamiento, Ps (%) | Corrección de cobertura, Kr (%) |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 30,78 | 35,00 |

$$R_n = ET_c \times A_s = (4,99 \text{ L día}^{-1} \times \text{m}^2) \times (7 \text{ m}^2) = 34,93 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol.}$$

A continuación, se realiza la corrección por eficiencia según método o técnica de riego:

Para riego por goteo, si la eficiencia de aplicación (Efa) es: 90 %

$$R_b = (34,93 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol}) (0,9) = 38,81 \text{ L día}^{-1}$$

$$TR = R_b \text{ (descarga por árbol)} = [(38,81 \text{ L}) (16 \text{ L h}^{-1})] \times 60 = 145,54 \text{ minutos}$$

Interpretación: para aplicar 34,93 litros netos de agua para el cultivo, se deben aplicar en términos reales 38,81 litros de esta y considerando 4 goteros, con descarga de emisor de 4 L h⁻¹, la operación de reposición de agua consumida por el cultivo se demora 145,54 minutos.

Al considerar las características del suelo y su capacidad de retención, se establece la frecuencia de riego, es decir cada cuantos días regar.

Conocidas las características físicas del suelo, para un perfil de riego acorde al frutal y en especial la profundidad de raíces, con fines de planificación y operación del riego se determina la humedad total aprovechable del suelo. Para el ejemplo se ha considerado una profundidad de raíces de 60 cm.

Los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente del suelo, se obtienen del Cuadro 8 (Comuna de Nueva Imperial, predio Santa Adela, suelo franco arcilloso).

La humedad aprovechable por estratas de suelo es:

$$HA_1 = ((38\% - 23\%) / 100) \times ((1,15 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 17 \text{ cm} = 2,9325 \text{ cm}$$

$$HA_2 = ((39\% - 21\%) / 100) \times ((1,05 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 23 \text{ cm} = 4,3470 \text{ cm}$$

$$HA_3 = ((42\% - 24\%) / 100) \times ((0,97 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 20 \text{ cm} = 3,4920 \text{ cm}$$

$$HA_t = HA_1 + HA_2 + HA_3 = 2,9325 \text{ cm} + 4,3470 \text{ cm} + 3,4920 \text{ cm}$$

$$HA_t = 10,7715 \text{ cm} \quad \text{o su equivalente} \quad HA_t = 107,715 \text{ mm}$$

La humedad aprovechable para el perfil de suelo útil con raíces es de 10,7715 cm, que es equivalente a 107,715 mm. A su vez en términos de volumen corresponde a 107,715 litros de agua por unidad de superficie de suelo, en 60 cm de profundidad (humedad aprovechable total).

Luego, la cantidad de agua útil para la planta obtenida a partir del valor de humedad aprovechable total, se determina mediante la expresión:

$$\mathbf{Ln = HA \times CR}$$

Si $\mathbf{HA = 107,715 \text{ mm}}$ y $\mathbf{CR = 50 \%}$
 $\mathbf{Ln = 107,715 \text{ mm} \times 0,5 = 53,8575 \text{ mm}}$

La cantidad de agua útil para el avellano europeo, bajo las condiciones de suelo previamente establecidas es de 53,8575 mm, es decir cuando el árbol haya extraído del suelo el 50% de la humedad aprovechable. O sea, en términos equivalentes a 53,8575 litros de agua por unidad de superficie, se debe realizar una reposición de agua al suelo.

Si se desea conocer para cuantos días alcanza el agua, se debe utilizar la siguiente expresión:

$$\mathbf{FR = Ln / ET_c}$$

$\mathbf{Ln = 53,8575 \text{ (mm)}}$.

$\mathbf{ET_c = 4,99 \text{ mm día}^{-1}}$, enero.

$\mathbf{FR = (53,8575 \text{ mm} / 4,99 \text{ mm día}^{-1}) = 10,79 \text{ días}}$

Se debe regar cada 11 días.

Ejemplo2:

| Variedad | Barcelona |
|------------------------|--|
| Edad del árbol | 8 años |
| Distancia sobre hilera | 4 metros |
| Distancia entre hilera | 5 metros |
| Lugar | Nueva Imperial |
| Sistema de riego | gotero botón, auto compensado. |
| Descarga de gotero | 4 L ha ⁻¹ |
| Nº goteros/árbol | 4 |
| Mes de riego | Enero |
| Caudal descarga/gotero | 4 L h ⁻¹ x 4 = 16 L h ⁻¹ por árbol |
| Nº días/mes | 31 días |
| ET _o | 161,3 mm mes ⁻¹ (Cuadro 2) |
| ET _o | (161,3 mm mes ⁻¹) / 31 = 5,20 mm día ⁻¹ |
| K _c | 0,96* |
| ET _c | 5,20 mm día ⁻¹ x 0,96 = 4,99 mm día ⁻¹ |

* (obtenido de Medina *et al.*, 2013)

Se interpreta de la siguiente forma: en promedio el árbol consumió 4,99 litros de agua por día, en términos netos por cada metro cuadrado de superficie. Se debe corregir este valor considerando el porcentaje de sombramiento, según lo propuesto por Keller y Karmeli (1975).

Radio de sombra medido al medio día : 1,8 m (se mide en árboles representativos del huerto)
 Área de sombra del árbol individual (Ac) : $\pi R^2 = 3,1415 \times (1,8^2) = 10,178 \text{ m}^2$
 Área individual del árbol (Ai) : DSH x DEH = 4 x 5 = 20 m²
 Porcentaje de sombramiento (Ps) : $(10,178 \text{ m}^2 / 20 \text{ m}^2) \times 100 = 50,89 \%$
 Área sombra corregida (As) : 20 m² x (0,59) = 11,8 m²

Del Cuadro 4 se obtiene el valor de Kr.

| Porcentaje de Sombramiento, Ps (%) | Corrección de cobertura, Kr (%) |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 50,89 | 59,00 |

$$R_n = ET_c \times A_s = (4,99 \text{ L día}^{-1} \times \text{m}^2) \times (11,8 \text{ m}^2) = 58,88 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol.}$$

A continuación, se realiza la corrección por eficiencia según método o técnica de riego:

Para riego por goteo, si la eficiencia de aplicación (Efa) es: 90 %

$$\mathbf{Rb} = (58,88 \text{ L día}^{-1} \text{ por árbol}) (0,9) = 65,42 \text{ L día}^{-1}$$

$$\mathbf{TR} = \text{Rb (descarga por árbol)} = [(65,42 \text{ L}) (16 \text{ L h}^{-1})] \times 60 = 245,33 \text{ minutos}$$

Interpretación: para aplicar 58,88 litros netos de agua para el cultivo, se deben aplicar en términos reales 65,42 litros y considerando 4 goteros con descarga de emisor de 4 L h⁻¹. La operación de reposición de agua consumida por el cultivo se demora 245,33 minutos.

Al considerar las características del suelo y su capacidad de retención, se establece la frecuencia de riego, es decir cada cuantos días regar.

Conocidas las características físicas del suelo, para un perfil de riego acorde al frutal y en especial la profundidad de raíces con fines de planificación y operación del riego se determina la humedad total aprovechable del suelo. Para el ejemplo se ha considerado una profundidad de raíces de 60 cm.

Los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente del suelo, se obtienen de Cuadro 8 (Comuna de Nueva Imperial, predio Santa Adela, suelo franco arcilloso). Con los valores de humedad aprovechable además de los antecedentes del Cuadro 8, se construye el Cuadro 9 que se muestra más adelante en el texto.

La humedad aprovechable por estratas de suelo es:

$$\text{HA 1} = ((38\% - 23\%) / 100) \times ((1,15 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 17 \text{ cm} = 2,9325 \text{ cm}$$

$$\text{HA 2} = ((39\% - 21\%) / 100) \times ((1,05 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 23 \text{ cm} = 4,3470 \text{ cm}$$

$$\text{HA 3} = ((42\% - 24\%) / 100) \times ((0,97 \text{ g cm}^{-3}) / (1 \text{ g cm}^{-3})) \times 20 \text{ cm} = 3,4920 \text{ cm}$$

Con los antecedentes del Cuadro 8 y los valores de humedad aprovechable por estratas se genera el Cuadro 9 para esta condición de suelo

$$\text{HA t} = \text{HA1} + \text{HA2} + \text{HA 3} = 2,9325 \text{ cm} + 4,3470 \text{ cm} + 3,4920 \text{ cm}$$

$$\text{HA t} = 10,7715 \text{ cm o su equivalente HA t} = 107,715 \text{ mm}$$

La humedad aprovechable para el perfil de raíces útil es de 10,7715 cm, que es equivalente a 107,715 mm, que a su vez en términos de volumen corresponde a 107,715 litros de agua por unidad de superficie de suelo, en 60 cm de profundidad (humedad aprovechable total).

Luego, la cantidad de agua útil para la planta obtenida a partir del valor de humedad aprovechable total, se determina mediante la expresión:

$$L_n = HA \times CR$$

Si $HA = 107,715 \text{ mm}$ y $CR = 50 \%$
 $L_n = 107,715 \text{ mm} \times 0,5 = 53,8575 \text{ mm}$

La cantidad de agua útil para el avellano, bajo las condiciones de suelo previamente establecidas es de 53,8575 mm, es decir cuando el árbol haya extraído del suelo el 50% de la humedad aprovechable. Es decir en términos equivalentes a 53,8575 litros de agua por unidad de superficie, se debe realizar una reposición de agua al suelo.

Si se desea conocer para cuantos días alcanza el agua, se debe utilizar la siguiente expresión:

$$FR = L_n / ET_c$$

$L_n = 53,8575 \text{ mm}$.
 $ET_c = 4,99 \text{ mm día}^{-1}$, Enero.
 $FR = (53,8575 \text{ mm} / 4,99 \text{ mm día}^{-1}) = 10,79 \text{ días}$

Se debe regar cada 11 días, para el mes de Enero.

Resumiendo, cada 11 días debe regar durante el mes de Enero, y en cada oportunidad el sistema de riego debe ser capaz de reponer el valor de la lámina real o bruta, controlada a través del "tiempo de riego" (según "emisor de riego") utilizado para regar.

Cuadro 9. Valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo, predio Santa Adela. Comuna de Nueva Imperial.

| Perfil de suelo (cm) | Es (cm) | CC (%) | PMP (%) | Dap (g cm ⁻³) | HA (cm) |
|----------------------|---------|--------|---------|---------------------------|---------|
| 0-17 | 17 | 38 | 23 | 1,15 | 2,932 |
| 17-40 | 23 | 39 | 21 | 1,05 | 4,347 |
| 40-60 | 20 | 42 | 24 | 0,97 | 3,492 |

Fuente: análisis físico del suelo realizado en Laboratorio Riego UCT, 2012.

2.4.1 Descripción del ensayo de riego

Se implementó un ensayo de riego, con aplicación de agua mediante goteo, en una plantación de avellano europeo, *Corylus avellana* L., cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, realizada en el año 2008, en el predio Santa Adela, ubicado en la comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía. La distancia de plantación es de 5 m entre hileras y de 4 m sobre hileras, en ambos cultivares.

2.4.2 Tratamientos de agua aplicada

Los tratamientos de agua aplicada, se definieron en base a la estimación de agua en función de datos de evapotranspiración de referencia (ET_0) histórica para la zona agroclimática. Se realizaron los siguientes tratamientos: sin riego, y aplicaciones de 50, 75 y 100% respecto del valor de evapotranspiración de referencia.

Cuadro 10. Descripción de tratamientos.

| Tratamiento | Código | Descripción |
|-------------|--------|--|
| ET_0 0% | T0 | Sin riego |
| ET_0 50% | T1 | Aplicación de agua en un 50% del valor de evapotranspiración de referencia. |
| ET_0 75% | T2 | Aplicación de agua en un 75% del valor de evapotranspiración de referencia. |
| ET_0 100% | T3 | Aplicación de agua en un 100% del valor de evapotranspiración de referencia. |

Se establecieron tratamientos con aplicaciones de diferentes cantidades de agua estandarizadas para períodos semanales. La cantidad de agua de cada tratamiento se aplicó mediante líneas de goteo con 2 goteros de botón auto compensados por árbol, con descarga de cada gotero igual a 4 L h^{-1} . La operación de riego se realizó con un programador de riego, definiéndose sectores de riego con válvulas independientes para cada tratamiento, para los cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, de manera que al accionar un tratamiento de forma simultánea se regaban ambas variedades. El volumen de agua aplicado por árbol se ajustó al área de sombra de cada temporada, definiéndose de esa forma el área correspondiente a uso de agua durante cada temporada evaluada.

La revisión de la programación de riego y su ajuste de agua a aplicar se llevó a cabo semanalmente. La operación de riego, en términos prácticos, se realizó programando el tiempo de riego correspondiente para cada tratamiento.

Las cantidades de agua aplicada por tratamiento de riego, en términos reales por mes y temporada fueron registradas (día, mes), de igual manera las precipitaciones efectivas. El agua planificada y aplicada, corresponde a cada tratamiento por mes. Esta cantidad de agua aplicada es influenciada por el agua de lluvias, lo que en términos reales por mes y total de la temporada (por tratamiento) considera el agua del tratamiento más aquella correspondiente a la lluvia de la temporada.

La precipitación acumulada por mes considerada en el ensayo corresponde a la precipitación efectiva (producto de un registro de análisis diario de datos) del período considerado en cada temporada de riego.

La precipitación efectiva es aquella cantidad de agua proveniente de una lluvia, que se incorpora al suelo y queda efectivamente disponible para las plantas (Ferrerres *et al.*, 1981). Existen varias técnicas para estimar la lluvia efectiva (Jensen *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1998), sin embargo en términos prácticos se puede considerar que toda lluvia superior a 5 mm día⁻¹ es efectiva para suelos con baja cobertura vegetal, y para frutales toda lluvia superior a 10 mm día⁻¹ es considerada efectiva y disponible para el uso de un árbol (Medina *et al.*, 2013), aunque en muchos casos se considera la lluvia total ocurrida para la aplicación de riego, sobre todo en períodos cortos (Gil-Albert, 2015).

2.4.3 Resultados de rendimiento de fruto en las temporadas productivas 2013-2014 y 2014-2015

Los resultados corresponden a evaluaciones realizadas en estas temporadas, en árboles plantados en el año 2008.

Los rendimientos obtenidos corresponden al efecto de los tratamientos de cantidad de agua aplicada por temporada en avellano europeo, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, en el Huerto Santa Adela, en la comuna de Nueva Imperial. Los valores de rendimiento son producto de la evaluación total de tres árboles al momento de cosecha en cada temporada y tratamiento del ensayo.

En la temporada 2013-2014 se aprecia, en ambas variedades, una tendencia de mayor producción frutos en árboles regados respecto de aquellos sin regadío (Figura 12:A y B). Esta respuesta productiva se mantiene y concuerda con diversos trabajos realizados respecto de agua aplicada a frutales (Holzapfel *et al.*, 2006).

Al observar por cultivar, en esta temporada, en el caso del cv.Barcelona (A), los tratamientos T0, T1 y T2 forman un grupo de mayor rendimiento de frutos que se diferencia significativamente del tratamiento T3 (test de Tukey, $P \leq 0,05$), no diferenciándose significativamente entre ellos en relación a este parámetro.

Por su parte en esta misma temporada, en el caso del cv. Tonda di Giffoni (B), se aprecia que los tratamientos T1 y T3 determinan un significativo mayor rendimiento de frutos que los obtenidos con los tratamientos T0 y T2 (test de Tukey, $P \leq 0,05$).

En la temporada 2014-2015, se observa en ambas variedades una tendencia a un mayor rendimiento de frutos con el tratamiento T2 respecto de los alcanzados con los tratamientos T0, T1 y T3. No obstante, en el caso del cv. Barcelona (Figura 12: C) no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de agua total aplicada (test de Tukey, n.s.) en relación al rendimiento de frutos. En contraste, en el caso del cv. Tonda di Giffoni (Figura 12: D), el tratamiento T2 de agua total aplicada determinó un rendimiento de frutos significativamente superior al obtenido con los tratamientos T0, T1 y T3 (test de Tukey, $P \leq 0,05$).

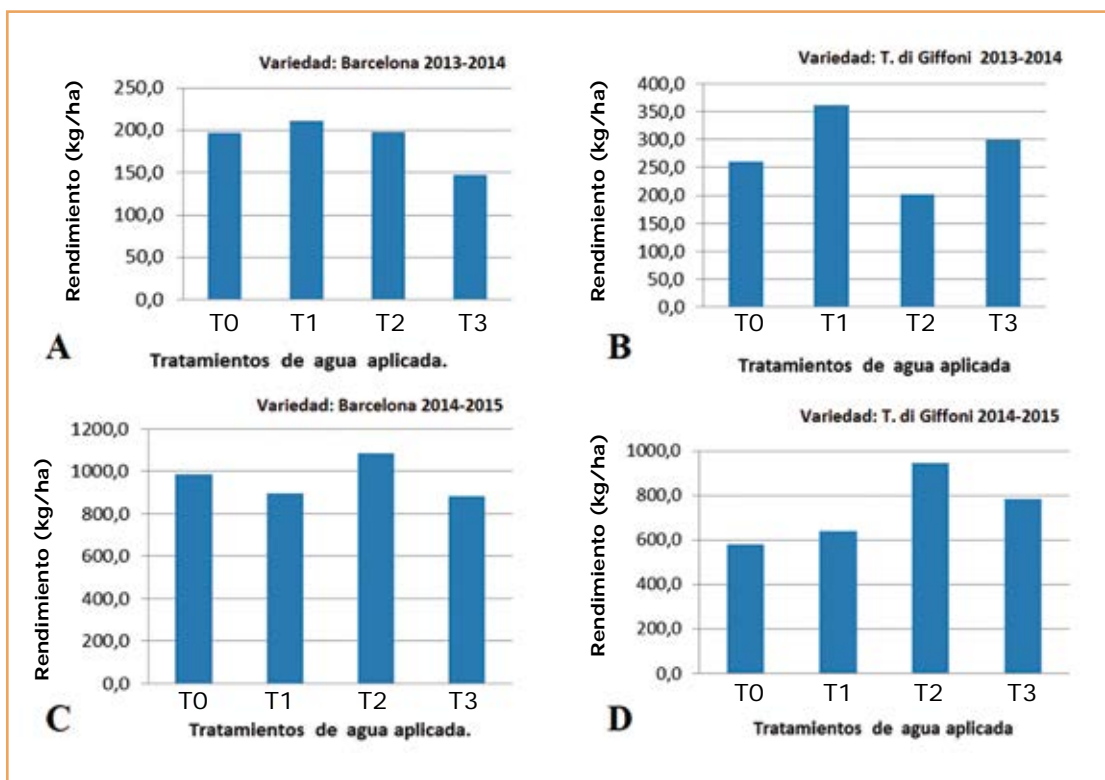


Figura 12. Efecto del agua total aplicada, temporadas 2013-2014 y 2014-2015, en el rendimiento de frutos de avellano europeo, cvs. Barcelona (A, C) y Tonda di Giffoni (B, D).

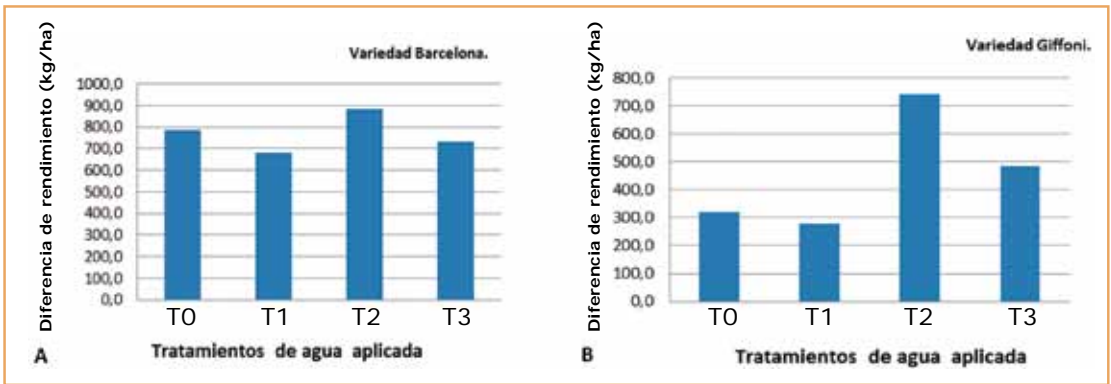


Figura 13. Diferencia en rendimiento de frutos entre temporadas productivas (2013-2014 y 2014-2015), cvs. Barcelona (A) y Tonda di Giffoni (B).

Al observar las diferencias de rendimiento entre temporadas productivas (Figura 13), se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de frutos con el tratamiento T2 de agua total aplicada en la temporada, en ambos cvs. de avellano europeo (A y B). En el caso del cv. Barcelona (A) la diferencia de rendimiento entre tratamientos de agua total aplicada en la temporada no muestra una tendencia clara. Sin embargo en el caso del cv. Tonda di Giffoni (B), la diferencia de rendimiento lograda con el tratamiento T2 de agua total aplicada en la temporada es claramente superior a la de los otros tratamientos (Figura 13).

Estudios realizados en Italia, por Girona *et al.* (1994), indican que la mayor respuesta productiva del avellano europeo se logra con tratamientos que consideran la aplicación de riego respecto de aquellos no regados; en el caso de tratamientos con riego, las aplicaciones de agua equivalentes a 75% de ET_c favorecen el rendimiento (Bignami *et al.*, 2009). Sobre esto, Marsal *et al.* (1997) en un estudio realizado sobre el comportamiento de avellano europeo en condiciones de stress, encontraron que las aplicaciones de agua, particularmente en el "llenado de grano", mantienen altos niveles de fotosíntesis, que inciden en el rendimiento de frutos.

2.4.4 Distribución de raíces en plantas de avellano

Los antecedentes presentados corresponden a observaciones realizadas durante la temporada 2013-2014 en un huerto de avellano europeo, plantado el año 2012 en la comuna de Gorbea y también a aquellas realizadas el año 2014 en plantaciones efectuadas en 2008 en el predio Santa Adela, de la comuna de Nueva Imperial (Región de La Araucanía).

Se observó la presencia de raíces en plantas de avellano europeo de 2° año de plantación (Gorbea), encontrándose una mayor concentración de estas en plantas regadas (A) que en aquellas no regadas (B).

La profundidad de raíces en ambas situaciones no es mayor a 40 cm.



Foto 1. Vista de desarrollo radicular de un árbol joven de avellano, cvs. Barcelona (izquierda) y Tonda di Giffoni (derecha) durante su segundo año de plantación.

Fuente: INIA Carillanca

Al revisar la distribución de las raíces en plantas de avellano europeo, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, en un suelo franco arcilloso (Comuna de Nueva Imperial), en un perfil de suelo de 0-60 cm de profundidad se observa:

En condiciones de riego por goteo, las raíces de las plantas se encuentran distribuidas en un perfil de 60 centímetros de suelo. En detalle, se aprecia que en la profundidad 0-20 cm hubo escasa presencia de raíces, encontrándose en aquella de 20-50 cm una mayor concentración de raíces de anclaje y de raíces finas; entre 50-60 cm también hubo escasa presencia de raíces. Al observar el alcance de las raíces, se constató una alta concentración de ellas con orientación sobre las hileras de plantas, es decir la mayor concentración de raíces se orientan de forma preferente sobre la banda de humedad.

En condiciones sin riego, las raíces de las plantas se distribuyen en un perfil de 50 cm de suelo. En particular se aprecia que en la profundidad 0-10 cm hay escasa presencia de éstas, observándose en aquella correspondiente a 10-50 cm una mayor concentración de raíces de anclaje y raíces finas; entre 50-60 cm de profundidad hay una escasa a nula presencia de ellas. En relación al alcance de las raíces, se observó una alta concentración de ellas con orientación sobre las hileras y las entre hileras de plantas, es decir las raíces se orientan radialmente en torno al árbol.



Foto 2. Vista de la densidad de raíces en plantas regadas de avellano europeo, de 8 años de edad, con distribución orientada y concentrada sobre hileras.

Fuente: INIA Carillanca

La distribución de las raíces de avellano europeo encontrada en las inspecciones realizadas, concuerda con lo indicado en la literatura en el sentido que ellas son superficiales y poco profundizadoras, lo cual determina que este árbol frutal sea sensible al estrés hídrico, afectándose con ello la producción de frutos (Tous *et al.*, 1994; Tombesi, 1994; Grau, 2007).

2.4.5 Observación de crecimiento del eje principal y ramas, diámetro del tronco, y número de frutos

En la temporada agrícola 2011 se determinó la altura del eje principal, longitud de ramas laterales y diámetro del tronco. Al revisar los datos registrados y establecer la diferencia de altura, denominada "incremento de la altura del eje" (período enero-diciembre 2011), en función del efecto de los tratamientos de agua aplicada, se observó una tendencia a un mayor valor del parámetro con el tratamiento T2 para el caso del cv. Barcelona (A); en el cv. Tonda di Giffoni (A), se apreció una tendencia a un mayor valor del parámetro, con el tratamiento T1.

Respecto de la longitud de ramas, para la temporada y período evaluado, se observó (para ambos cultivares) una tendencia a un mayor incremento de ellas con el tratamiento T3.

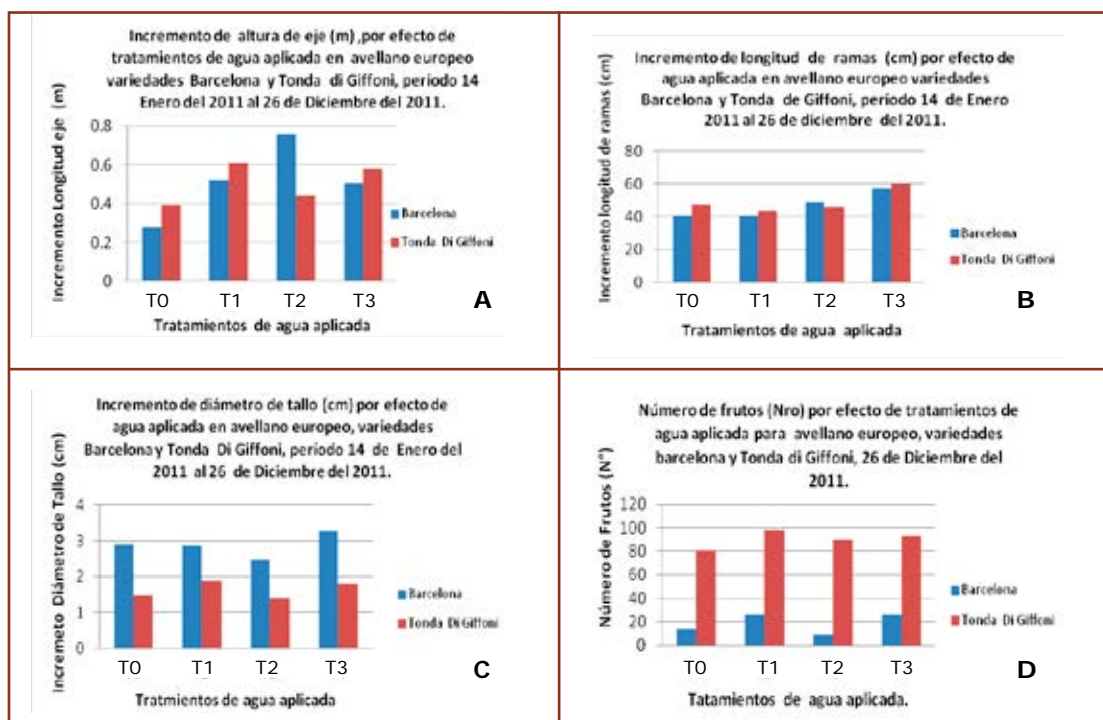


Figura 14. Incremento de la longitud del eje (A), ramas (B) y diámetro del tallo (C), número de frutos (D) por efecto de tratamientos de agua, período enero-diciembre de 2011, cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni, predio Santa Adela, comuna de Nueva Imperial. Región de La Araucanía.

El incremento del diámetro del tallo (C), (período evaluado), en el caso del cv. Barcelona Giffoni muestra valores similares con los tratamientos T0 y T1, presentándose el menor incremento con el Tratamiento T2; se aprecia una tendencia a un mayor incremento con el tratamiento T3. En el caso del cv. Tonda Di Giffoni, los tratamientos T0 y T2 determinan los menores incrementos de diámetro del tallo. Sin embargo, los tratamientos T1 y T3 conducen a mayores incrementos del parámetro.

Para la evaluación del número de frutos se consideraron tres árboles por tratamiento, en su primera producción, contabilizándose el total de éstos a la cosecha.

En general, los tratamientos regados determinaron una mayor cantidad de frutos que aquellos sin riego. Se aprecia una tendencia a una mayor cantidad de frutos con el tratamiento T1 (50 % de reposición de agua respecto de la evapotranspiración potencial). También se observa una tendencia a una mayor cantidad de frutos con el cv. Barcelona que con el cv Tonda di Giffoni.

Evaluaciones y valores acumulados temporada 2010 a 2013 (Los tratamientos de izquierda a derecha son: T4, T2, T3, riego productor (Rp) y T0.

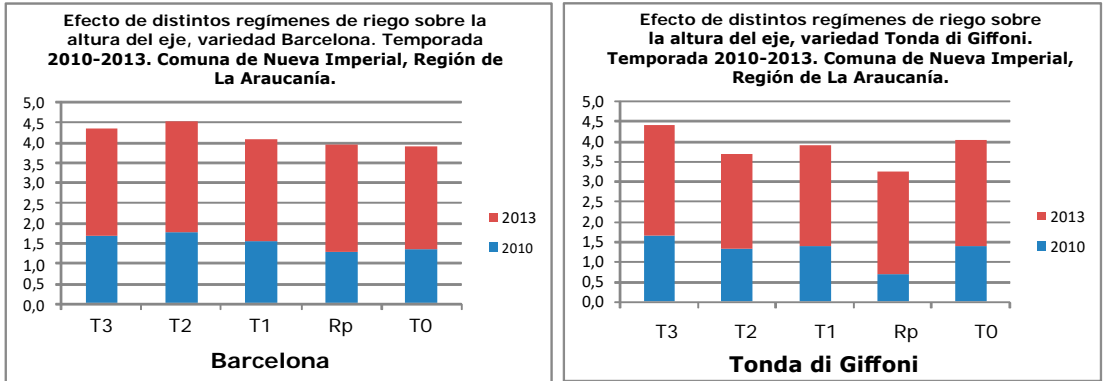


Figura 15. Efecto de 4 regímenes de riego sobre la altura del eje (m), en avellano europeo cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni. Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

En el caso del cv. Barcelona, se observa una tendencia a una mayor longitud del eje con el tratamiento T1, mientras que ello ocurre con el tratamiento T3 en el cv. Tonda di Giffoni. En ambos cultivares se aprecia una tendencia a un mayor crecimiento del eje con plantas regadas respecto de aquellas sin riego.

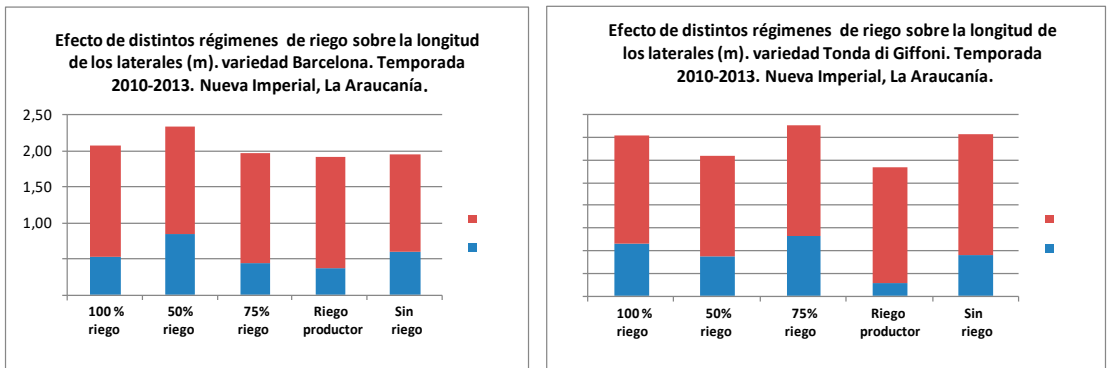


Figura 16. Efecto de 4 regímenes de riego sobre la longitud promedio de los laterales (m), en avellano europeo cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

Por otra parte, respecto a la longitud de los laterales se aprecia una tendencia a un mayor valor de este parámetro con el tratamiento T1 en el caso del cv. Barcelona; por el contrario ello se observó con el tratamiento T2 con el cv. Tonda di Giffoni. Para ambos cultivares se aprecia una mayor longitud de los laterales con los tratamientos regados respecto de aquella alcanzada sin riego.

Referencias Bibliográficas

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper N° 56. Rome, Italy. 300 p.

Allen, D.J., and D.R. Ort. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends Plant Sci.* 6 (1): 36-42.

Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., Howell, T.A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., Yrisarry, J.B., Smith, M., Pereira, L.S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., and R.Elliott. 2006. A Recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by FAO56 Penman–Monteith method. *Agricultural Water Management* 81:1-22.

Ayala, C.Y.A.L. 2007. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. S.I.T. N° 122. República de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.

Baldwin, B. 1998. Hazelnuts, in the new rural industries. p. 428-435. *In* K. Hyde (ed.) *A Handbook for Farmers and Investors*, Rural Industries Research and Development Corporation. Canberra, Australia.

Baldwin, B. 2009. The effects of site and seasonal conditions on nut yield and kernel quality of hazelnut genotypes grown in Australia. *Acta Hort.* 845 : 83-88.

Barón, L.I., Rigert, C., Stebbins, R., y S.Bell. 1997. El cultivo del avellano europeo (*Corylus avellana* L.). 29 p. *En*: El cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación La Platina, Santiago, Chile.

Bignami, C., Cristofori, V., Ghini, P., and E. Rugini. 2009. Effects of irrigation on growth and yield components of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Central Italy. VII Int. Congress on hazelnut. Viterbo, Italy. *Acta Hort.* 845: 309-314.

Bonneau, M. y B. Souchier. 1987. Edafología 2: Constituyentes y propiedades del suelo. Masson (ed.). Barcelona. 462 p.

Brouwer, C., Prins, K., and M. Heibloem. 1989. Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling. Training Manual N° 4. Water Resources, Development and Management Service. Land and Water Development Division. FAO. Rome, Italy.

Carrasco, J., Felmer, S., y G. Lemus. 2008. Frutales: Labor de subsolado de suelos compactados. *Tierra Adentro* (Chile) 79: 24-27.

Carrasco, J. 2008. Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. p.11-47. En: Hirzel, J. (ed.) Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Carrasco, J., y M. Ortiz. 2011. Propiedades físicas del suelo que condicionan el desarrollo de frutales en la Región de O'Higgins. p. 17-54. En: Lemus, G. y Salgado, I. (eds.) Centro de Frutales de Carozo: Resumen técnico. Boletín INIA N° 227. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Rayentue, Rengo, Chile.

Centro del Agua para la Agricultura. 2012. Necesidades de agua de los cultivos. Boletín Técnico N°1. 25p. Departamento Recursos Hídricos, Facultad Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

CIREN. 2002. Descripciones de suelos, materiales y símbolos. Estudio agrológico IX Región. Publicación N° 122. 360 p. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.

CIREN. 2003. Descripciones de suelo, materiales y símbolos. Estudio agrológico X Región. Tomo II. Publicación N° 123. 412 p. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago, Chile.

Chalmers, D.J., Mitchell, P.D., and L. Van Heek. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply tree density, and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 307-312.

Ellena, M., 2013. Avellano Europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274, P.202.

Ellena, M. y Sandoval, P. 2013. Avellano Europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva, organografía. Boletín INIA N° 274, P.27-48, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco-Chile.

Ellena, M., 2010. Polinización y Manejo del Avellano Europeo. Boletín INIA N° 202, P.98.

Davies, B., Tagle D., and B. Finney. 1987. Manejo del suelo. 4ª Edición. Traducido por Ingrid G. Adam. Editorial El Ateneo. Buenos Aires, Argentina.

De Jong, T.M. 1986. Fruits effects on photosynthesis in *Prunus persica*. *Physiol. Plant.* 66:149-153.

Dias, R., Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., Carvalho, J.L., and A.P. Silva. 2005. Effect of irrigation on physiological and biochemical traits of hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort* 686: 201 -206.

Fereres, E., Aldrich, T.M., Schulbach, H., and D.A. Martinich. 1981. Responses of young almond trees to late-season drought. *Cal. Agric.* July-August: 11-12.

Fernández, R., Yruela, M., Milla, M., García, J. y N. Oyanarte. 2010. Manual de riego para agricultores. Módulo 4. Riego Localizado. Empresa Pública para el desarrollo agrario y pesquero de Andalucía S.A. Junta de Andalucía, España.

Ferreira, R., y G. Sellés. 2013. Manual de riego para especies frutales. Uso eficiente del agua de riego y estrategias para enfrentar períodos de escasez. Boletín INIA 278. 320 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Santiago, Chile.

Florentino, A. 1989. Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en suelos representativos de la Colonia Agrícola de Turén (Estado Portuguesa). Su incidencia agronómica. 207 p. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

Gil, S.G. 2000. La producción de Fruta. 583 p. Colección Agricultura, Facultad de Agronomía y Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Gil-Albert, V.F. 2015. Manejo, riego y abonado del suelo. Ediciones Paraninfo. 211 p. Madrid, España.

Girona, J., Cohen, M., Mata, M., Marsal, J., and C. Miravete. 1994. Physiological, growth and yield responses of hazelnut (*Corylus avellana* L.) to different irrigation regimes. *Acta Hort.* (ISHS) 351:463-472

Gispert, J.R., Gil, J., y A. Company. 1996. La superficie mullada del sòl en el cultiu de l'avellaner. *Catalunya Rural i Agraria* 29: 29-37.

Gispert, J.R., Tous, J., Romero, A., Plana, J., Gil, J., and A. Company. 2005. The influence of different irrigation strategies and the percentage of wet soil volume on the productive and vegetative behaviour of the hazelnut tree (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort.* 686: 333-341.

Goldhamer, D.A., and K.Shackel.1990.Irrigation cut off and drought irrigation strategy effects on almond. 18th Annu. Almond Res. Conf. Fresno, California 1990: 30-35

Grau, P. 2007. Establecimiento, fenología y desarrollo del avellano europeo. Seminario: Avellano Europeo: una oportunidad productiva para la zona centro sur de Chile. Centro de eventos Fimaule, Talca, Julio 18.

Disponible en: http://www.fdf.cl/biblioteca/presentaciones/2007/02_avellano_europeo/descargas/05_Pablo_Grau.pdf Leído el 01 de Abril de 2016.

Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. 425 p. Academic Press, Inc., New York, USA.

Hirzel, J. 2008. El suelo como fuente nutricional. p. 49-83. En: Hirzel, J. (ed.) Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Hirzel, J. 2014. El suelo como fuente nutricional. p. 71-109. En: Hirzel, J. (ed.) Diagnóstico Nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Segunda edición corregida y aumentada. Colección Libros INIA N°31. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Holzappel, E., y J.L. Arumí. 2006. Interim Report. Tecnología de manejo de agua para una agricultura intensiva sustentable. 70 p. Proyecto D02I-1146. Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.

Hsiao, T. 1990. Fisiología general, estrés de agua y dinámica de crecimiento y rendimiento de las plantas cultivadas, técnicas de medición del estado dinámico en la planta. p.1-102. En: Curso internacional manejo de agua en frutales. Dpto. Ing. Agr., Facultad de Cs. Agronómicas, Veterinarias y Forestales, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

Jara, J., y A. Valenzuela. 1998. Necesidades de agua de los cultivos. 24 p. CNR-Universidad de Concepción. Chillán, Chile.

Jensen, M.E., Burman, R.D., and R.G. Allen. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice N° 70, Am. Soc. Civil Engr., New York, USA. 332 p.

Keller, J., and D. Karmeli. 1975. Trickle irrigation design. 133 p. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. California, USA.

- Lagerstedt, H. 1978. The fabulous filbert. HortScience 13 (2): 122 p.
- Lemus, G. 2004. El cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) La Platina-Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Proyecto FIA N° C.96-I-1-025. 29 p.
- Marcelis, L. F. M., Elings, A., de Visser, P. H. B., and E.Heuvelink. 2009. Simulating growth and development of tomato crop. Acta Hort. 821:101-110
- Marsal, J., Girona, J., and M. Matta. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. J.Amer.Soc.Hort. Sci. 122 (4): 582-587.
- Medel, F. 1986. Requerimientos climáticos y edáficos para las especies frutales en el sur de Chile. Agrosur 14(1): 48-56.
- Medina, L., Ellena, M., Sandoval, P., González, A., y G. Azócar. 2013. Riego. p.113-144. En: Ellena, M. (ed.) Avellano Europeo: Establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Mingeau, M., Ameglio, T., Pons, B., and P. Rousseau. 1994. Effects of water stress on development growth and yield of hazelnut trees. Acta Hort. (351):305-314
- Millar, A. 1993. Manejo de agua y producción agrícola. 556 p. IICA y Universidad de Concepción, Chile.
- Narro-Farías, E. 1994. Física de suelos. con enfoque agrícola. 193 p. Editorial Trillas, México.
- Ortega-Farías, S., Acevedo, C., and S. Fuentes. 1998. Estimation of tomato evapotranspiration by the Penman-Monteith method. 23rd Conference on Agricultural and Forest Meteorology, edited by Strand, J.F. and Goens, D. American Meteorological Society Vol. 1: 136-138.
- Ortega-Farías, S., Carrasco, M., Poblete, C., Acevedo, C., and A. Oliosio. 2006. Evaluation of a two-layer model to estimate the latent heat flux over a cabernet sauvignon vineyard. 5th International Symposium Irrigation of Horticultural Crops, Mildura-Victoria, Australia, 28 August-02 September.
- Pizarro, F. 1996. Riego localizado de alta frecuencia. 513 p. Mundi-Prensa, España.

Rojas,W., Ferrada, L., e Y. Nakamura. 2001. Programación para riego presurizado en frutales: conceptos aplicados a partir de la experiencia en La Provincia de Limarí. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile), Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Oficina Técnica Limarí (Ovalle), Chile.

Santibáñez, F. 1994. Crop requirements-temperate crops. En: Griffith J. (ed.) Handbook of Agricultural Meteorology. Oxford Univ. Press (Chapter 17).

Santibáñez, F. 2012. Cómo los cambios climáticos afectan a la fruticultura chilena. Revista Fedefruta N° 134: 16-22.

Solar, A., and F. Stampar. 2011. Characterisation of selected hazelnut cultivars: phenology, growing and yielding capacity, market quality and nutraceutical value. J.Sci.Food Agric. 91: 1205-1212.

Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., y D. Raes. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. 510 p. Estudio FAO: riego y drenaje N°66. Roma, Italia.

Schulze, E.D., y M.Küppers. 1979. Short-term and long-term effects of plant water deficits on stomatal response to humidity in *Corylus avellana* L. Planta 146: 319-326.

Tarjuelo, J.M. 2005. Riego por Aspersión y Tecnología. 581p. Editorial Mundiprensa.

Tombesi, A. 1994. Influence of soil water levels on assimilation and water use efficiency in hazelnut. Acta Hort. 351: 247-255.

Tous, J., Girona J., and J. Tacias. 1994. Cultural practices and costs in hazelnut production. Acta Hort. 351: 395-418.

Tous, J., Romero, A., Rovira, M.,and J.Clave. 1994. Comparison of different training systems on hazelnut. Acta Hort. 351: 455-461.

Turner,N.C.1986. Adaptation to water deficits: a changing perspective. Austr. J. Plant Physiol. 13(1) 175 – 190.

Turner, N.C., Schulze, E.D., and T.Gollan. 1984. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content: I. species comparisons at high soil water contents. Oecologia 63: 338-342

Valenzuela, A., y J. Jara.1979. Prácticas de riego: Fundamentos de riego y drenaje. 234 p. Universidad de Concepción, Instituto de Ingeniería Agrícola, Chillán, Chile.

Valenzuela, J., Lemus, G., Lobato, A. 2001. Avellano Europeo. P.68-86. En: Lemus S, Gamalier (Ed) Curso frutales de nuez no tradicionales: Macadamia, pistacho, pecano, avellano europeo. Santiago, INIA La Platina, 28 Mar 2001. Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/bibliotecas/serieactas/NR26376.pdf>.

Valenzuela, J., Lemus, G., y A. Lobato. 2004. El cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.). 29p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación La Platina, Santiago, Chile.

Wang, D., Lowery, B.Norman,J.M., and K. McSweeney. 1996. Ant burrow effects on water flow and soil hydraulic properties of Sparta sand. Soil Tillage Research 37: 83-93.

Weinbaum, S.A., Picchioni, G.A., Muraoka, T.T., Ferguson,L., and P.H. Brown. 1994. Fertilizer nitrogen and boron uptake, storage, and allocation vary during the alternate-bearing cycle in pistachio trees. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 119:24-31.

A photograph showing a tractor with a red pruning machine in an orchard. The machine is positioned to prune a tree. A person is standing next to the tractor, operating the machine. The orchard has many bare trees, suggesting it is winter or early spring. The ground is covered with dry leaves and twigs. A yellow flag is visible on the ground near the base of a tree.

CAPÍTULO 7

PODA Y SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Alesandro Roversi, Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo

La poda comprende diferentes labores realizadas directamente en el árbol, para modelarlo según una determinada forma y regular su actividad vegetativa y productiva, con el objetivo de obtener el máximo rendimiento económico. Para ejecutarla adecuadamente es necesario conocer previamente las estructuras del árbol, el cual está constituido por dos partes fundamentales: la aérea y la subterránea (raíces).

La parte aérea o epigea en su conjunto se denomina copa, porta las hojas, flores (masculinas o amentos y femeninas) y frutos. En el avellano europeo, como en las demás especies caducifolias, las hojas nuevas se forman en primavera (septiembre-octubre) con una vida de algunos meses (septiembre-abril) y luego caen en otoño (abril-mayo). No obstante, según la variedad, condiciones edafoclimáticas los árboles pueden permanecer con sus hojas hasta inicios de invierno. Por otro lado, las componentes leñosas de la estructura esquelética tienen una vida más prolongada. Las ramas primarias (ubicadas directamente sobre el tronco) presentan una mayor vida, en cambio, las ramas secundarias y terciarias pueden tener una vida más breve y los brotes persisten como tales una estación vegetativa y luego se transforman en ramas.

En los primeros años de establecimiento del huerto, una poda de formación racional de los árboles tiene como finalidad constituir en un plazo relativamente breve la formación elegida de la estructura, en función de las condiciones agroecológicas y agronómicas específicas de cada lugar. Por lo tanto, el objetivo de la poda de formación es formar el árbol, rebajando las plantas a diferentes alturas, en relación a la fertilidad del suelo y de la forma de conducción elegida. Este tipo de poda es indispensable para asegurar el equilibrio futuro de los árboles y a la vez simplificar las futuras podas de fructificación de los árboles adultos. Adicionalmente, favorece la iluminación y aireación de la copa de los árboles. La poda racional de los árboles de avellano europeo, requiere un conocimiento previo de la fisiología, comportamiento biológico, hábito de crecimiento, fructificación y vigor de la variedad (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2011; Ellena *et al.*, 2013).

7.1. Influencia de la poda sobre los árboles en formación

La influencia de la poda en árboles jóvenes debe considerar los siguientes aspectos:

- Lograr un equilibrio adecuado entre crecimiento vegetativo y reproductivo de los árboles, para acortar rápidamente la fase improductiva
- Alcanzar velozmente la formación del esqueleto productivo del árbol: desde el aspecto fisiológico y del productivo (cuantitativo y cualitativo)

En la construcción del esqueleto productivo se debe privilegiar la obtención de la mayor superficie fotosintética con el menor esqueleto posible. Por ello, la copa debe estar bien expuesta a la luz y al mismo tiempo, sostenida por una estructura sólida, capaz de soportar a futuro elevadas cargas de avellanas (Ellena *et al.*, 2013).

Esta labor permite:

- Formar un esqueleto adecuado del árbol, en relación a su propia capacidad de desarrollo
- Mejorar y regular la producción, obteniendo fruta de alta calidad y disminuir la tendencia del avellano al añerismo
- Mantener la vegetación equilibrada en todas las partes del árbol
- Conservar un buen equilibrio entre la zona radicular y aérea del árbol, regulando el vigor de la planta
- Favorecer la formación y desarrollo de ramas productivas y eliminar aquellas mal ubicadas y enfermas
- Facilitar la entrada de luz al interior de la copa del árbol, para alcanzar una alta producción y calidad de las avellanas
- Facilitar la cosecha y otras labores, como tratamientos para prevención de plagas y enfermedades.

De acuerdo a la época en que se efectúa la poda se puede diferenciar en invernal, con árboles en reposo vegetativo, verde con cortes en primavera o en verano, es decir con plantas en actividad vegetativa.

7.2. Poda de formación

La poda de formación es necesaria para asegurar el equilibrio futuro (vegetativo-productivo) del árbol y además simplificar la poda sucesiva de fructificación o producción, favoreciendo la entrada de luz y aireación al interior de la copa. Se realiza durante los primeros años en los diferentes tipos de formación de los árboles, es decir en monoeje, multieje, vaso arbustivo, plantaciones en palmeta, seto. Éste último, con árboles establecidos en pareja sobre la hilera e inclinados, con distancias de 5-6 m entre hileras y 2-4 m sobre la hilera (1.400-2.000 plantas), requiere poca poda luego que la estructura productiva del árbol ha sido formada. Por el contrario, se ha demostrado que las podas fuertes pueden prolongar el período improductivo de los árboles, induciendo un mayor crecimiento vegetativo. La poda también puede inducir el desarrollo de hijuelos a partir de heridas y este crecimiento vegetativo vigoroso puede sobrecargar el centro del árbol con brotes vigorosos que causan sombramiento en la copa, afectando con ello la producción y calidad de la fruta (Ellena, 2010; Olsen, 2013).

7.3. Poda de producción

En avellano europeo, la poda de producción se realiza principalmente durante el invierno en plantas en estado de reposo vegetativo, con pocos cortes de poda, para eliminar principalmente ramas secas, enfermas, senescentes y mal ubicadas (Ellena *et al.*, 2013).

En años recientes, investigaciones realizadas en Europa, particularmente Italia, se ha estudiado el efecto de diversos métodos de poda de producción, basados en diferentes intensidades de poda sobre la madera, en el desarrollo vegetativo, penetración de luz en la copa y superficie del suelo, producción y características tecnológicas y cualitativas de las avellanas (Cristofori y Rugini, 2012). La falta de poda de producción ha evidenciado una progresiva reducción del vigor de los brotes, aumento de ramas secas, escasa penetración de luz al interior de la copa de los árboles, reducción en los rendimientos y calidad de las avellanas. A consecuencia de ello, es necesario intervenir con podas muy fuertes para renovar la madera frutal, facilitando la entrada de enfermedades fungosas y bacterianas en la madera.

En plantas adultas, excesivamente envejecidas por falta de poda se ha observado un menor vigor de los brotes de un año de edad, afectando significativamente la producción y calidad de la fruta (Cristofori y Rugini, 2012; Tombesi y Cartechini, 1983). Se han evidenciado correlaciones entre la longitud y formación de yemas mixtas: los brotes de un año deberían tener una longitud de al menos 15-20 cm (Ellena *et al.*, 2013; Cristofori y Rugini, 2012). Una buena disponibilidad de luz en la copa tiene un efecto positivo en una mejor inducción y diferenciación de las yemas a flor. Estudios realizados en Italia en árboles adultos de avellano, han demostrado que la cantidad de radiación luminosa que penetra el interior de la copa y de aquella que llega al suelo solo se limita a un 0,5% de la plena luz (Bignami *et al.*, 1999, 2005). La falta de poda de producción provoca una menor formación de yemas a flor dentro de la copa de los árboles, con un desplazamiento de la producción de fruta hacia el exterior. Ello favorece la alternancia de producción y una progresiva disminución productiva, particularmente en la parte basal e interna del árbol. En la actualidad se realizan estudios con podas más intensivas en árboles adultos de avellano, con el objetivo de permitir una mejor distribución de la luz y en árboles senescentes podas drásticas con el fin de rejuvenecer la copa (Cristofori *et al.*, 2009).



Foto 1. Huerto adulto de avellano europeo cv Barcelona conducido en multieje, con escasa iluminación de la parte interna de la copa. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

7.3.1. Estudios recientes sobre manejo de la copa en árboles de avellano europeo

El desarrollo y productividad de los árboles frutales está influenciado por la calidad y cantidad de luz que dispone la copa. Se ha determinado que en avellano europeo, las limitaciones de la capacidad asimilativa de las plantas sería un factor crítico para esta especie, particularmente por su baja potencialidad productiva (Hampson *et al.*, 1996). Estudios realizados en el extranjero en árboles con copas muy densas se ha determinado una intensidad luminosa de $270 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y una tasa de fotosíntesis inferior en relación a la parte externa del árbol que ha recibido alrededor de $1.400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Bignami y Cammilli, 2002).

En general, en huertos adultos de avellano europeo, con sistemas de conducción en multieje o forma arbustiva y con manejos de poda muy suaves ha ocurrido un fuerte envejecimiento de los árboles, con reducciones importantes de su productividad (Cristofori y Rugini, 2012). Estudios de poda realizados en estos huertos, indican que las intervenciones drásticas

han permitido un rejuvenecimiento parcial de la copa, con efectos positivos sobre la productividad de las plantas al final de un trienio de investigación (Cristofori *et al.*, 2009). En los tratamientos con podas más fuertes se logró un mejor rendimiento luego de tres años de estudio, probablemente debido a una mayor intercepción de luz en la copa de los árboles menos densos, que condujo a una distribución más uniforme de las formaciones fructíferas incluso en las partes más internas de la copa (Cristofori y Rugini, 2012). En relación a las características tecnológicas de las avellanas (rendimiento al descascarado), estos estudios no han demostrado diferencias importantes entre los tratamientos de poda (intensidad de poda). Sin embargo, el control sin poda mostró un menor rendimiento al descascarado y un mayor porcentaje de frutos vanos que aquellos logrados con tratamientos con poda. Respecto a la calidad de las semillas, no existen diferencias importantes entre los tratamientos con distintas intensidades de poda, excepto para el contenido de aceite, que ha sido levemente mayor en árboles sometidos a podas suaves.

Se ha evidenciado la ventaja de realizar podas anuales en avellano europeo, particularmente con acortamientos de las ramas vigorosas de tipo vertical, que impiden la penetración de la luz al interior de los árboles. Investigaciones realizadas con podas manuales en este árbol frutal han demostrado efectos positivos sobre el rendimiento y calidad de la fruta (Roversi y Mozzone, 2005; Roversi *et al.*, 2007 y 2009a; Ughini *et al.*, 2009). Sin embargo, este tipo de poda tiene un mayor costo que la mecanizada por una alta demanda en mano de obra, requiriéndose entre 26-45 minutos por árbol versus 27 segundos para aquella mecanizada, dependiendo de su desarrollo.

Adicionalmente, las podas mecánicas racionales han permitido contener la alternancia de producción (años de carga y años de escasa carga de fruta), especialmente en huertos envejecidos. Además, se ha observado una menor incidencia de frutos vanos en huertos sometidos a poda. No obstante, en el primer año luego de realizada la poda hubo una pérdida importante de producción, debido a la eliminación de ramas con presencia de flores femeninas polinizadas (Roversi *et al.*, 2002, 2009b, 2011; Sonnati *et al.*, 2009; Ughini *et al.*, 2009 a,b; Malvicini *et al.*, 2014). Las pérdidas de rendimiento se recuperaron parcialmente al segundo año después de efectuada la poda (Roversi *et al.*, 2011). Dichos estudios indicaron que luego de dos años de realizada la poda mecánica se recuperan los rendimientos, con incrementos significativos respecto al testigo sin poda. En función de estos resultados, se sugiere que la poda del avellano europeo se realice cada tres años para mantener la producción y calidad adecuada de la fruta, y así evitar la entrada en añerismo de los huertos.



Foto 2. Poda mecánica de avellanos europeo en receso vegetativo (derecha) y verde (izquierda).

Fuente: Dr. Alesandro Roversi.

7.3.2. Estudios de optimización de la poda de producción

Estudios realizados durante primavera-verano con poda en verde, se lograron buenos resultados respecto a producciones acumuladas (tres años) y características tecnológicas superiores de las avellanas, con un menor porcentaje de frutos con defectos. Este tipo de poda ha permitido también obtener resultados positivos en producción y calidad de fruta, con podas alternadas de 3-4 años (Roversi *et al.*, 2007; Roversi *et al.*, 2009a; Ughini *et al.*, 2009). La poda en verde a fines de primavera verano puede ser una buena alternativa para el sur de Chile, dado que podrían evitarse las enfermedades fungosas y bacterianas de la madera (Ellena *et al.*, 2011). Sin embargo, es necesario poner a punto esta tecnología para las variedades cultivadas en Chile, particularmente de elevado vigor, como es el caso de Barcelona y Tonda di Giffoni. Esto debe realizarse verificando el ciclo de repetición de los cortes de poda, intensidad, cantidad de masa vegetal a extraer, estudiando combinaciones o alternativas de corte (corte lateral o hedging, corte superior de la copa o topping, combinación de ambos cortes), épocas de corte (primavera, otoño, invierno) y evaluación de los efectos de esta práctica sobre la productividad en años sucesivos y aspectos cualitativos de las producciones (rendimiento al descascarado, peso de semillas, peso de frutos, frutos vanos y con defectos).



Foto 3. Poda en verde semi-mecanizada en huerto adulto de avellano europeo. Sin poda (izquierda) y con poda (derecha). Podado en verde el 07 diciembre en Centro Regional Carillanca.

Fuente: INIA Carillanca

7.4. Sistemas de conducción

En relación a los sistemas de conducción y distancias de plantación más adecuadas y eficaces (según punto de vista agronómico y económico), no existen opiniones coincidentes entre productores, técnicos e investigadores. Las formas de conducción mayormente utilizadas en los principales países productores de avellano europeo en el mundo son el multieje o sistema arbustivo, el vaso arbustivo y el monoeje o árbol (Bignami *et al.*, 1999; Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2014; Germain y Sarraquigne, 1997; Romisondo *et al.*, 1983b; Tous *et al.*, 1994).

7.4.1. Multieje o arbustivo

Forma de conducción muy difundida en los principales países productores de avellana, que respeta el modo natural de vegetación o crecimiento de la especie. En este sistema las plantas se establecen en otoño o invierno y al año siguiente, durante el receso vegetativo, se rebajan los árboles a nivel del suelo. Los brotes vigorosos que emergen posteriormente se seleccionan, eligiendo 4-5 distribuidos de manera adecuada, los que formarán el arbusto, eliminándose aquellos supernumerarios y vigorosos que nacen a partir del sistema radicular o base de la planta. En Chile han ocurrido problemas

con este sistema de formación, atrasándose innecesariamente la poda de formación de las plantas, que afecta la estructura productiva de los árboles y sus niveles de producción.



Foto 4. Huerto de avellano europeo, cv. Barcelona conducido en multijeje.
Fuente: INIA Carillanca



Foto 5. Inadecuada formación en multijeje de huerto joven de avellano europeo con falta de poda que impide la entrada de luz al interior de la copa.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 6. Adecuada formación en multieje en huerto joven de avellano europeo.

Fuente: INIA Carillanca

La variedad Tonda di Giffoni presenta un crecimiento más vertical y cerrado, siendo más idónea para este tipo de conducción que la variedad Barcelona. Esta última tiene mayor vigor y crecimiento más expandido, particularmente de sus ramas laterales, que dificulta las labores mecanizadas del huerto, particularmente en árboles adultos en plena producción. Sin embargo, esto se puede solucionar realizando podas mecanizadas más severas en las entre hileras (hedging) y sobre la copa (topping), esta última para permitir la entrada de luz a su interior.



Foto 7. Poda lateral (hedging) y poda superior (topping).

Fuente: Dr. Alesandro Roversi.

7.4.2. Vaso arbustivo

Es una forma multieje en volumen cuyos brotes se ubican a 40-50 cm del suelo, con el fin de manejar más fácilmente la planta. Para la formación de este sistema de conducción se procede con la plantación de árboles de 1-2 años de vivero. Luego de la plantación, durante fines de otoño e invierno, las plantas se rebajan a 50-60 cm desde el nivel del suelo. En caso que la brotación y desarrollo de los brotes no haya sido adecuada, se procederá a rebajar nuevamente la planta en el otoño o invierno siguiente a una altura de 30-40 cm.

A la temporada siguiente se eligen 4-5 brotes de similar vigor, adecuadamente orientados hacia el exterior para formar la estructura de vaso, eliminándose aquellos supra numerarios y eventuales hijuelos que nacen de la base de la planta. Las ramas elegidas (4-5) se dejan crecer libremente en los años sucesivos, las que se revestirán de ramillas ubicadas regularmente en éstas, con el objetivo de permitir una correcta entrada y distribución de luz al interior de la copa del árbol.

Los cortes de poda en los primeros años de formación, están orientados principalmente al aclareo de las ramillas que se encuentran en número excesivo, particularmente para los brotes muy densos y vigorosos ubicados al interior del vaso. Los mejores brotes de un año serán aquellos que alcancen una longitud de 15-20 cm (Ellena *et al.*, 2013).



Foto 8. Huerto de avellano europeo conducido en forma de vaso arbustivo. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

7.4.3. Monoeje

El sistema de conducción en monoeje se recomienda principalmente para cultivares vigorosos como Barcelona, Oregon y Barcelona.

Para el establecimiento de huertos en sistema monoeje se requieren plantas con un año de vivero o más (dos años), vigorosas, preferentemente de 1 metro o más de altura, de buen desarrollo radicular y libre de enfermedades y plagas, particularmente de bacteriosis (*Xanthomonas campestris*) e insectos que ataquen el sistema radicular de las plantas como cabritos (*Aegorhinus superciliosus* y *A. nodipennis*), cabrito del Maitén y Coigüe respectivamente. No se recomienda utilizar árboles con escaso desarrollo, poco vigor y débiles, dado que se retrasa la entrada en producción del huerto y además son más propensos a ataques de enfermedades, particularmente bacteriosis (Ellena *et al.*, 2013).

Esta forma de conducción se caracteriza por presentar un tronco único del cual nacen 4-5 ramas, insertas a una altura de 89-90 cm desde el nivel del suelo (Bignami *et al.*, 1999; Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2013).

Para una adecuada formación de este sistema de conducción se procede con la plantación en otoño-invierno, rebajando a nivel de suelo si las plantas no tienen pre- formación en vivero. En el verano del año siguiente, se elige el brote más vigoroso para formar el tronco y a fines de la estación de crecimiento se procede a rebajarlo a 80-90 cm desde el nivel del suelo, con el fin de vigorizar y mejorar la brotación lateral. En caso de disponer de árboles terminados procedentes de vivero, posteriormente a la plantación, las plantas se rebajan a 70-100 cm (eje central) desde el nivel del suelo y se elimina el resto de los brotes (Ellena, 2010). Durante los años sucesivos se mantiene un eje central y se eligen las ramas (4-5) adecuadamente orientadas, con el fin de formar el volumen o futuro esqueleto del árbol. En variedades vigorosas (Barcelona, Tonda di Giffoni) cuando el vigor de los árboles es normal es importante lograr crecimientos idealmente superiores a 60-80 cm. En variedades de vigor medio, se recomienda despuntar a unos 60 cm desde el punto de la inserción de estas ramas con el eje principal, a objeto de promover el desarrollo de los brotes vigorosos que forman el primer nivel de ramas. Si el vigor de los árboles es débil y el crecimiento de los brotes es escaso, inferior a 60 cm en variedades vigorosas (ej. Barcelona) y 40 cm en variedades de vigor medio se recomienda realizar una poda fuerte a 2-3 yemas. En el caso de árboles que solamente han desarrollado un brote de suficiente vigor y el resto débiles, se deberán rebajar los brotes vigorosos a unos 60 cm y dejar intactos aquellos que se encuentran en el esqueleto de la planta (Ellena *et al.*, 2013).

Si el crecimiento del árbol es un solo brote vigoroso y los demás son muy débiles, se recomienda rebajarlo a 5-6 yemas para dar continuidad al árbol

desde este brote y el resto de los brotes se rebajan a 2-3 yemas o se dejan intactos. Se deben realizar tratamientos para eliminar los hijuelos que nacen de la base de la planta, mediante productos químicos como herbicidas o desecantes. Entre los productos comerciales más empleados destacan el Paraquat, Farmon, entre otros. Estudios recientes iniciados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca han evidenciado efectos positivos en el control químico de hijuelos mediante el uso de ácido naftalen acético (NAA).

En todos los cortes realizados en este proceso es necesario cubrir o sellar con pasta poda, a fin de evitar la entrada de enfermedades a la madera, particularmente en cortes de madera más gruesa.



Foto 9. Sellado de herida con pasta poda.

Fuente: INIA Carillanca

7.5. Poda al segundo invierno y siguientes

Luego de la poda realizada el primer invierno se desarrollarán brotes vigorosos, sobre los cuales se recomienda realizar las siguientes labores de poda:

En árboles de buen vigor, en general los crecimientos normales varían entre 60-100 cm de longitud y en aquellos de vigor medio en torno a 40-60 cm. De cada rama pueden elegirse dos brotes. Uno para la continuidad como rama principal del árbol y otro de ángulo de inserción abierta para la formación de la rama secundaria. Sobre la rama seleccionada como principal, se recomienda realizar un despunte a unos 60 cm (variedades vigorosas, como Barcelona), mientras que en variedades de poco vigor, como Tonda Gentile delle Langhe, Tonda Romana, Negret, no es necesario realizar despunte, el cual puede ser sustituido por una desviación. El resto de los brotes puede quedar sin intervenir y podar solo aquellos que pueden producir competencia a la formación del árbol, especialmente los que estén

mal ubicados al interior de la copa. También se aconseja mantener algunos brotes horizontales y débiles para proteger los troncos. Por otro lado, se deben eliminar los brotes desarrollados en la proximidad de las ramas de formación elegidas que se entrecruzan, con el fin de evitar competencia. En los años siguientes debe mantenerse entre 60-70 cm de distancia entre las ramas de formación elegidas para variedades vigorosas (Barcelona) o entre 50-60 cm para aquellas variedades de menor vigor.

Es necesario resaltar que las podas muy fuertes debilitan mucho al avellano europeo. Después que el árbol está formado se recomienda realizar podas de mantenimiento e idealmente efectuarlas en forma alternada respecto a las caras del árbol. Este sistema de conducción facilita las labores mecánicas ejecutadas en el huerto, particularmente la cosecha, realizada del suelo con máquinas aspiradoras y poda (Ellena *et al.*, 2013).

7.6. Seto

Forma de conducción con árboles establecidos en parejas sobre la hilera e inclinados, con distancias de plantación de 5-6 m entre las hileras y 2-4 m sobre la banda de plantación (1.400-2.000 plantas ha⁻¹). Este sistema ha sido evaluado en Italia (Romisondo *et al.*, 1983b) y posteriormente en Francia (Germain y Sarraquigne, 1997) y en España (Tous *et al.*, 1994) con elevadas producciones durante los primeros años. Sin embargo, este sistema de conducción, sin embargo, ha presentado resultados no homogéneos probablemente por la variabilidad en vigor y estructura vegetativa de los cultivares utilizados, diversas condiciones culturales y edafoclimáticas de los sitios experimentales (Bignami *et al.*, 1999).

El sistema seto, a pesar de presentar ventajas productivas inmediatas con una precoz entrada en producción tiene mayores costos iniciales para el establecimiento y formación del huerto. Para la conducción en seto se requieren plantas de buena calidad y cañas de soporte empleadas para la inclinación de las plantas. En Chile no existen huertos comerciales manejados con este sistema de conducción. Recientemente la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca ha establecido huertos experimentales manejados bajo forma de setos, para evaluar la respuesta agronómica del cultivo en un sistema de elevadísima densidad de plantación, utilizando plantas autoradicadas del cv. Barcelona.

7.7. Palmeta

La palmeta es un sistema de conducción en parte constituida por un esqueleto con eje central de dos a tres pisos de ramas primarias, no necesariamente ubicada en pareja, sobre las cuales se insertan ramillas secundarias de escasa longitud y brotes productivos.

Este sistema de conducción ha sido recientemente introducido en la zona de Monferrato, Región de Piemonte, norte de Italia, con el objetivo de capturar la luz y facilitar las labores mecánicas. Para el establecimiento de este sistema se requieren plantas vigorosas (categoría extra). Durante el establecimiento los árboles son despuntados a 50-70 cm desde el nivel del suelo con el fin de formar el primer piso. En la temporada siguiente la planta generará una serie de brotes, de éstos, antes que lignifiquen completamente se elegirá el más vigoroso y central que constituirá el eje central de la futura palmeta. Los otros que formarán las dos ramas del primer piso, se elegirán 1-2 por cada uno de los lados de la futura palmeta. En los dos años siguientes se elegirán los brotes que formarán el segundo y tercer piso. Análogamente a lo realizado en los sistemas de conducción de vaso y monoeje, se eliminarán los brotes sobre el tronco.

Es importante mantener el equilibrio del eje central con las ramas, eligiendo éstas con un diámetro no superior al del eje central (1/3 sobre el cual se encuentran insertas). La distancia entre los pisos no debería ser inferior a 80 cm. Se requiere mantener siempre bien despejada la parte superior de las ramas, respetando el gradiente de vegetación (cono lateral estrecho) desde la parte inferior a aquella superior del árbol. En verano es recomendable realizar podas en verde con el objetivo de aclarar las ramas mixtas y evitar competencias. Durante el segundo y tercer año las podas en verde tienen el objetivo de eliminar los brotes vigorosos y las ramas mixtas en exceso, favoreciendo las ramas de los dos pisos principales. Con la poda de invierno se pueden eliminar ramillas secundarias y terciarias excesivas.

7.7.1 Palmeta irregular

Este sistema de conducción utiliza las ramificaciones laterales (brotes del eje principal del árbol). Para la formación de la estructura principal no es estrictamente necesario el despunte del eje principal. Las ramificaciones laterales deberían ubicarse 30-40 cm una de la otra. Es necesario regular el número de los brotes que formarán las ramas principales sobre los dos lados del eje principal.

7.7.2 Palmeta de crecimiento libre

Es aquella de crecimiento libre, es decir, que se obtiene sin formar pisos sobre el árbol. La emisión de los brotes laterales se logra con el ejercicio o poda del caporal en los puntos deseados o bien tratando las yemas con inhibidores de las auxinas. En Chile se realiza este tratamiento en cerezos y kakis, con el fin de lograr una buena ramificación lateral.

La conducción en palmeta asegura una óptima iluminación de la copa, facilita la eliminación de sierpes y la cosecha mecanizada. Este sistema permite rendimientos unitarios significativamente superiores a los alcanzados con los sistemas tradicionales de conducción en mono y multieje. En Italia

estudios realizados en la Región de Piemonte (Monferrato), con la variedad TGL, han evidenciado un mayor rendimiento ha^{-1} del sistema de conducción en palmeta con poda mecanizada en huertos de 8 años ($1,76 \text{ ton ha}^{-1}$), respecto al sistema de conducción en vaso y multieje de 10 años ($1,22 \text{ ton ha}^{-1}$) (Roversi, 2016, comunicación personal).



Foto 10. Sistema de conducción en palmeta, cv. Tonda Gentile delle Langhe. Monferrato, Región de Piemonte, Italia (2012).

Fuente: Dr. Alesandro Roversi.

7.8. Estudios de sistemas de conducción

En la temporada 2008 se establecieron ensayos con sistemas de conducción (monoeje y multieje) en avellano europeo, cvs Barcelona y Tonda di Giffoni, para evaluar su comportamiento productivo en dos sitios de la Región de La Araucanía (Comunas de Vilcún y Nueva Imperial, con diferente condición edafoclimática). Los resultados pueden apreciarse en las siguientes figuras.

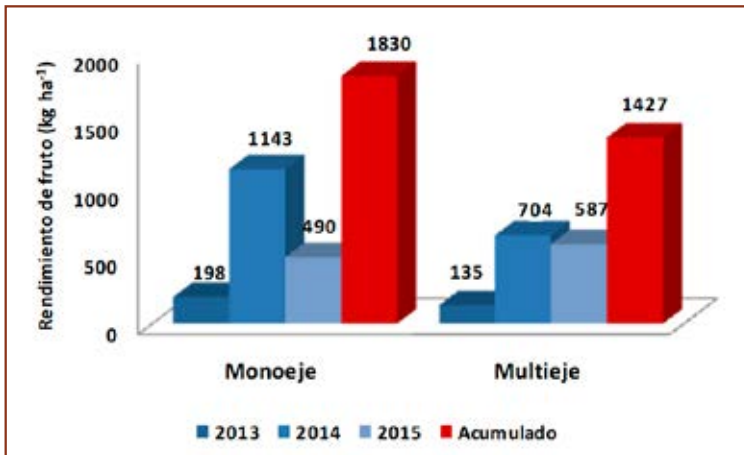


Figura 1. Efecto del sistema de conducción en monoeje y multieje sobre el rendimiento de fruto anual y acumulado, cv. Barcelona (2013-2015). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

En el caso del cv. Barcelona (comuna de Vilcún) con el sistema monoeje, se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento acumulado (1.830 kg ha^{-1}) (temporadas 2013-2015) que el alcanzado con el sistema multieje (1.427 kg ha^{-1}) (Figura 1). Los rendimientos decayeron fuertemente en la temporada 2014-2015 por problemas climáticos, particularmente heladas tardías en primavera, bajo las condiciones agroecológicas del sitio de plantación y en gran parte de la zona sur de Chile, desde la comuna de Victoria al sur, incluyendo la provincia de Osorno en la Región de Los Lagos. Sin embargo, con el sistema monoeje, la reducción de rendimiento fue mayor en el cv. Barcelona que con Tonda di Giffoni (Figura 2).

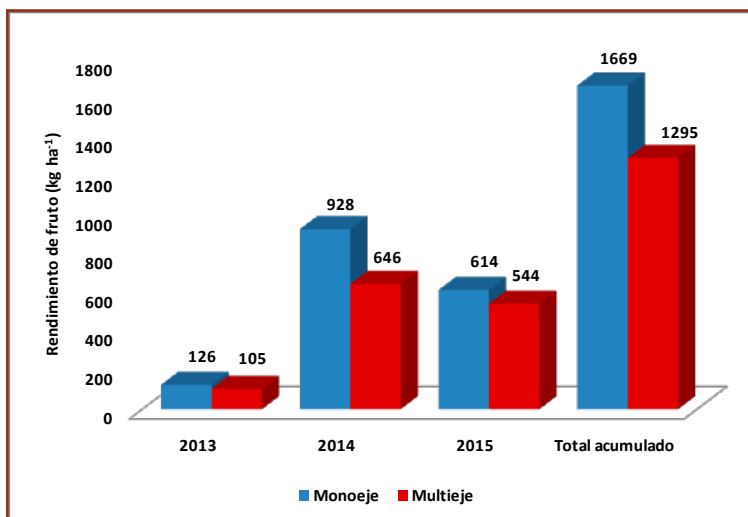


Figura 2. Efecto del sistema de conducción en monoeje y multieje sobre el rendimiento acumulado (kg ha^{-1}), cv. Tonda di Giffoni (2013-2015). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Con la variedad Tonda di Giffoni (comuna de Vilcún) se aprecia la misma tendencia descrita para Barcelona, con una mayor producción acumulada por hectárea para el sistema monoeje (1.669 kg ha^{-1}), respecto de aquella lograda con el sistema multieje (1.295 kg ha^{-1}). Cabe destacar, que el rendimiento promedio por hectárea del cv. Barcelona en los dos sistemas de conducción fue superior al de Tonda di Giffoni, en las condiciones edafoclimáticas del sitio experimental.

Los valores menores de producción se alcanzaron con el sistema de conducción en multieje en ambos cultivares de avellano europeo. Ello probablemente se debería a que los árboles bajo este sistema de conducción, luego de su plantación a la temporada siguiente fueron rebajados a nivel de piso, con el fin de promover el desarrollo de los brotes basales para la formación del sistema (4-5 ramas madres o estructurales). Durante la primera temporada las plantas se dejaron crecer libremente para favorecer el desarrollo radicular. Este sistema atrasa al menos en una temporada la entrada en producción del huerto, afectando los niveles de rendimiento durante la primera temporada productiva. En los años sucesivos es esperable un rendimiento similar respecto al sistema monoeje.

En las condiciones agroecológicas de la comuna de Nueva Imperial, con el cv Barcelona no se observa una tendencia definida sobre el rendimiento de frutos al comparar los sistemas de conducción, a pesar de un ligero mayor rendimiento acumulado de frutos (2.274 kg ha^{-1}) con el sistema monoeje que con el multieje (2.162 kg ha^{-1}), (Figura 3). Al contrario, en el caso del cv Tonda di Giffoni se observa una tendencia a un mayor rendimiento acumulado con el sistema monoeje (1.831 kg ha^{-1}) que con multieje (1.552 kg ha^{-1}), (Figura 4).

Para ambas variedades en los dos sistemas de conducción, los rendimientos promedios disminuyeron fuertemente en la cosecha 2015. Ello se debe a condiciones climáticas adversas que ocurrieron a fines de primavera en la temporada anterior, que afectaron de manera importante la disponibilidad de flores femeninas y con ello los rendimientos. Estos resultados indicarían que en el transcurso del tiempo los niveles productivos se podrían equiparar entre ambos sistemas de conducción; incluso ser superiores para el multieje, particularmente para las condiciones climáticas de Nueva Imperial donde ocurren fuertes vientos (sur) en primavera, que afectan el desarrollo y mantenimiento de la verticalidad del eje principal en el sistema monoeje.

En zonas ventosas, se ha observado un mejor comportamiento del desarrollo vegetativo y productivo de los árboles con el sistema multieje, con un desarrollo más equilibrado de las plantas (Ellena *et al.*, 2013). Por ello, en las nuevas plantaciones, en zonas con ocurrencia de vientos sur fuertes y recurrentes en primavera verano es preferible conducir los árboles con el sistema multieje, excepto que se cuente con cortinas cortavientos

establecidas con anterioridad a la plantación de los árboles. Otros sistemas posibles de utilizar serían la palmeta italiana y el seto, sin embargo aún no se evalúan bajo las condiciones de cultivo del avellano europeo en Chile.

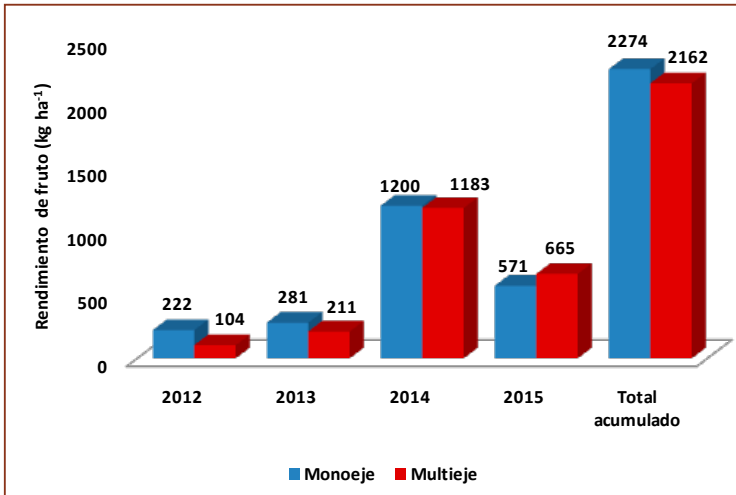


Figura 3. Efecto del sistema de conducción sobre el rendimiento de fruto acumulado (kg ha⁻¹), cv. Barcelona (2012-2015). Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

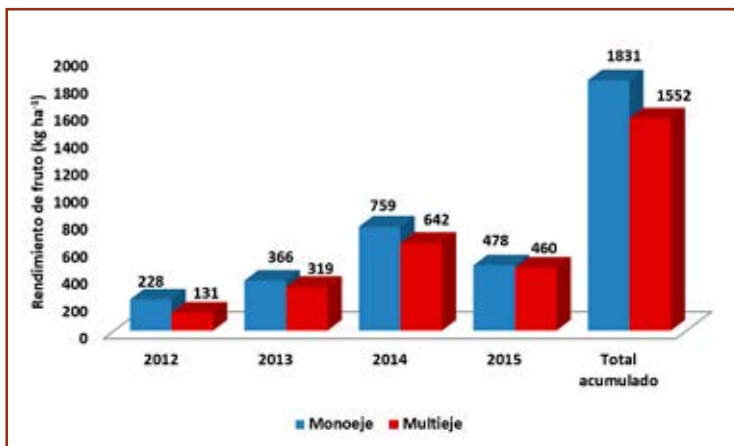


Figura 4. Efecto del sistema de conducción sobre el rendimiento de fruto acumulado (kg ha⁻¹), cv. Tonda di Giffoni (2013-2015). Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía.



Foto 11. Árboles conducidos en monoeje afectados por el viento. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Con el desarrollo de portainjertos clonales de menor vigor a desarrollarse en el futuro, los sistemas a utilizar serían: monoeje, eje arbustivo, palmeta italiana y sistema seto, este último para densidades altas y muy altas de plantación, dependiendo del vigor de la combinación portainjerto-variedad.

Los sistemas de conducción en alta densidad permitirán aumentar los rendimientos unitarios por superficie, adelantar la entrada en producción, mejorar la calidad de la fruta por una mejor iluminación del árbol, y aumentar la cantidad de yemas reproductivas por mejor desarrollo de los brotes portadores de éstas y su mejor iluminación (Ellena *et al.*, 2014). Por otra parte, los sistemas de conducción con densidades altas con variedades injertadas sobre portainjertos clonales facilitarán el manejo agronómico de los huertos, especialmente la cosecha y poda mecanizada, mayor eficiencia de los agroquímicos y formulados (líquidos o sólidos) para la polinización asistida o suplementaria, más rápida amortización de los huertos y finalmente mayor competitividad de la industria del avellano europeo en Chile.



Foto 12. Sistema de conducción en alta densidad con uso de portainjertos de menor vigor, injertado en la variedad Tonda di Giffoni. Centro Regional INIA Carillanca, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Referencias Bibliográficas

Bignami, C., De Salvador, R.F., e G. Strabbioli. 1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della corilicoltura nel Lazio. *Rivista de Frutticoltura e di Ortofloricoltura* N° 11: 16-27p.

Bignami, C., e C. Cammilli. 2002. Fattori ambientali e colturali e funzionalità fogliare del nocciolo. VI Giornate Scientifiche S.O.I; 24-25 aprile 2002, Spoleto (PG). Atti: 163-164p.

Bignami, C., Bertazza, G., Bizzarri, S., Brusiches, A., Cammilli, C., and V.Cristofori. 2005. Effect of high density and dynamic tree spacing on yield and quality of the hazelnut cultivar Tonda Gentile Romana. Proc. VI International Congress on Hazelnut. *Acta Hort.* 686: 263-270.

Cristofori, V., Cammilli, C., Valentini, B., and C. Bignami. 2009. Effect of different pruning methods on growth, yield and quality of hazelnut cultivar Tonda Gentile Romana. *Acta Horticulturae* 845: 315-322p.

Cristofori, V., and E.Rugini. 2012. Gestione della chioma nei nocciolati del viterbese: stato dell'arte e modalità di potatura a confronto. *Corylus & Co.*, Anno III, N° 1/2012: 40-47p.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. *Boletín INIA* N° 202.88p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., Jequier, J., Contreras, M., y G. Azócar. 2011. Poda en avellano europeo. *GTT Vanguardia y Tecnología.* p. 62-63.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., y G. Azócar. 2013. Poda y sistemas de conducción. p. 152-162. En: Ellena, M. (ed.) *Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva.* *Boletín INIA* N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., Jequier, J., Contreras, M., y C. San Martín. 2014. Advantages of High Density Planting of Hazelnut Orchards in South Chile: preliminary data. Proc. VIIIth Int. Congress on Hazelnut. *Acta Hort.* 1052: 235-240.

Germain, E., and J-P. Sarraquigne. 1997. Hazelnut training systems: comparison between three system used on three varieties. *Acta Hort.* 445: 237-245.

Hampson, C.R., Azarenko, A.N., and J.R.Potter. 1996. Photosynthetic rate, flowering and yield component alteration in hazelnut in response to different light environments. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121 (6): 1103-1111.

Malvicini, G.L., Roversi, A., and A.Pansecchi. 2014. Some observations on hazelnut mechanical pruning in the North of Italy. *Acta Hort.* 1052: 169-174.

Olsen, J. 2013. Growing hazelnut in the Pacific Northwest. Training and pruning. OSU Extension Catalog. EM 9078. Oregon State University, Extension Service, Oregon, USA.

Romisondo, P., Me, G., Manzo, P., e A.Tombesi. 1983b. Scelta delle cultivar. Aspetti della tecnica colturale e loro riflessi sulla qualità delle produzioni. *Atti del Convegno Internazionale sul Nocciolo. Avellino 22-24 settembre.* p. 61-78.

Roversi, A., Ughini, V., Scocco, C., Mozzone, G., e C. Sonnati. 2002. Prove di potatura meccanica del nocciolo. *Quaderni della Regione Piemonte Agricoltura* 32:16-20.

Roversi, A., and G. Mozzone. 2005. Preliminary observations on the effects of renewal pruning in hazelnut orchard. *Proc. 6th Int. Congress on Hazelnut.* *Acta Hort.* 686: 253-258.

Roversi, A., Mozzone, G., Castellano, L., e F.S. Tosun. 2007. Nocciolo: produzioni più elevate e frutti migliori con la potatura verde. *Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura* 4: 64-66.

Roversi, A., Pansecchi, A., e G.L. Malvicini. 2009b. Potatura meccanica del nocciolo per migliorare resa e qualità. *L'Informatore Agrario* 34: 56-58.

Roversi, A., Malvicini, G.L., Mozzone, G., and T.Dimalcun. 2009a. A simple summer pruning trial on hazelnut. *VII Int. Congress on Hazelnut.* *Acta Hort.* 845: 367-372.

Roversi, A., Pansecchi, A., e G.L. Malvicini. 2011. La potatura meccanica del nocciolo: ulteriori indagini nel Monferrato. *Frutticoltura* 12: 46-50.

Sonnati, C., Ughini, V., and G.Facciotto. 2009. Prune and recycle: mechanical hazelnut pruning and energetic recovery of its biomass. *Acta Hort.* 845: 413-418.

Tombesi, A., e A. Cartechini, 1983. La Ristrutturazione delle piante adulte di nocciolo. Atti del Convegno Internazionale sul nocciolo. Avellino, Italia. p. 405-408.

Tous, J., Girona, J., and J.Tasias. 1994. Cultural practices and cost in hazelnut production. Proc. 3rd Int. Congress on Hazelnut. Acta Hort. 351: 395-418.

Ughini, V., Malvicini, G.L., Roversi, A., Sonnati, C., Facciotto, G., e S. Bergante. 2009a. Potatura meccanica del nocciolo e convenienza al recupero delle biomasse. Quaderni della Regione Piemonte 64: 32-35.

Ughini, V., Roversi, A., Malvicini, G.L., and C.Sonnati. 2009. Effects of hazelnut summer pruning made in different months. VII Int. Congress on Hazelnut. Acta Hort. 845: 363-366.

Ughini, V., Sonnati, C., Malvicini, G.L., Roversi, A., Facciotto, G., e S.Bergante. 2009b. Ecosostenibilità della potatura meccanica del nocciolo e convenienza al recupero delle biomasse prodotte. Quaderni della Regione Piemonte Agricoltura & Ricerca "Ricerca Applicata in Corilicoltura", p.26-44.



CAPÍTULO 8

VARIETADES Y PORTAINJERTOS

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo

La producción mundial de avellanas (*Corylus avellana* L.), se basa principalmente en selecciones de materiales locales. De los 500 cultivares conocidos alrededor del mundo, sólo 20 se cultivan para fines comerciales en los principales países productores (Mehlenbacher, 2009). No obstante, en los últimos años se han licenciado nuevas variedades provenientes principalmente del programa de mejoramiento genético de la Universidad de Oregon, Estados Unidos.

En Chile, entre las regiones del Maule y Los Lagos (puntualmente Talca a Puerto Varas), se cultivan actualmente dos variedades: Barcelona (60%) y Tonda di Giffoni (40%). Otras variedades de menor importancia son Tonda Gentile delle Langhe (TGL), Tonda Romana y algunas nuevas variedades de origen norteamericano como Jefferson, Yamhill, Tonda Pacifica, entre otras, que recientemente han comenzado a plantarse.

8.1. Barcelona

Es una variedad de origen desconocido, difundida en Estados Unidos (Oregon), Francia y Chile, (zona centro sur y sur) y en menor grado en otros países productores de avellana.

8.1.1. Barcelona chilena

En la actualidad, en la zona de cultivo del avellano europeo en Chile, predomina la variedad "Barcelona chilena", seleccionada y difundida en el país por uno de los agricultores pioneros de este cultivo: Jaime Armengolli. Esta variedad-población presenta crecimiento abierto, expandido, productividad media a elevada, vigor elevado, floración masculina y femenina precoz, dicogamia, proteandria, brotación tardía, 3,2 frutos por grupo, longitud de involucro más bien largo.



Foto 1. Hábito de crecimiento de la variedad Barcelona chilena y forma del involucro.

Fuente: INIA Carillanca

Los principales cultivares polinizadores para cv. Barcelona son: Daviana, Butler, Hall´s Giant, Mortarella, Trebizonda, germoplasma local como Verde, Amarillo, Rojo, Azul, Café, Blanco, entre otros. No todos estos cultivares polinizadores son cronológicamente compatibles para el cv. Barcelona, lo que depende de las áreas de cultivo y condiciones climáticas. En relación a los frutos, éstos son de forma cónica (característica demandada por la industria), color marrón oscuro, espesor de la cáscara gruesa, peso promedio de las avellanas 3,5 g, peso promedio de la semilla 1,5 g y rendimiento al descascarado de 39-42%, pelado o blanching intermedio. Es una excelente variedad para el consumo directo o elaboración de snack y en los últimos años ha presentado una buena demanda en el mercado chino. El consumo de este tipo de producto podría crecer y abrirse nuevos mercados en China y otros países asiáticos, quienes habitualmente consumen frutos secos.



Foto 2. Frutos del cv. Barcelona chilena con cáscara, descascarado y tostado.

Fuente: INIA Carillanca

El cultivar tiene gran potencial productivo, superior a 3.000 kg ha⁻¹, siendo posible lograr producciones de 4.500-5.000 kg ha⁻¹ en la zona norte de la Región de La Araucanía y centro sur de Chile. Este cultivar tiene gran adaptación a las especiales condiciones edafoclimáticas del centro sur y sur de Chile (Ellena *et al.*, 2012, 2013, 2014). No obstante, en la zona sur han ocurrido reducciones importantes en los rendimientos unitarios, particularmente durante la temporada 2014-2015, debido a condiciones climáticas adversas que afectaron una mayor disponibilidad de flores en los árboles.

Estudios iniciales de caracterización molecular de materiales de avellano europeo de "Barcelona chilena" (provenientes de diferentes zonas), realizados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca, no han indicado polimorfismo entre los límites de resolución de este método, sugiriendo que todas las muestras tienen un alto grado de similitud genética.

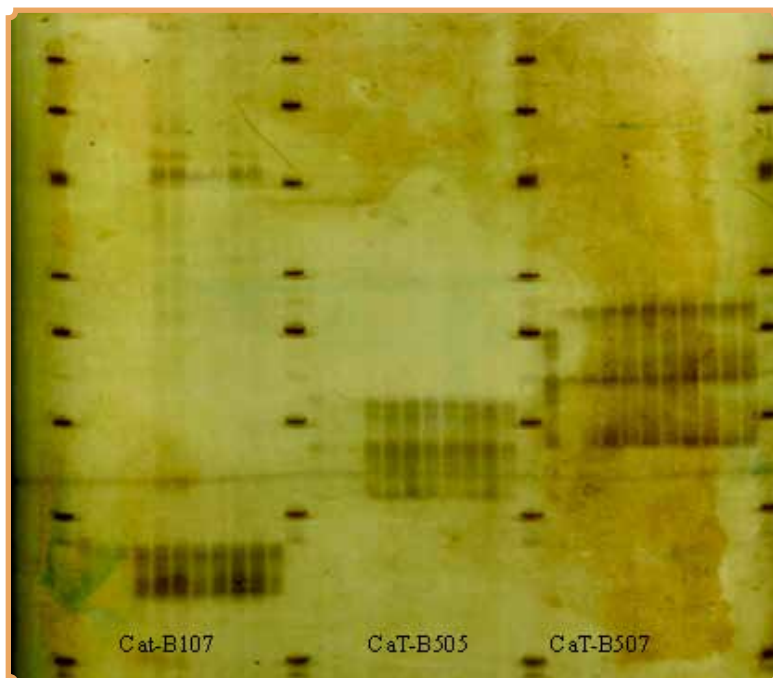


Figura 1. Perfil genético obtenido mediante marcadores micro satélites (SSR), a partir de una colección de avellano europeo proveniente de diferentes zonas de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

8.1.2. Caracterización del fruto

Se realizaron estudios de caracterización del fruto para el cv. Barcelona chilena proveniente de diferentes condiciones agroecológicas de las regiones de La Araucanía y Los Lagos. En las siguientes figuras se presentan los resultados de los parámetros peso del fruto, peso de semilla, calibre del fruto, calibre de la semilla y rendimiento al descascarado (Ellena, 2013), (Figuras 2 a 8).

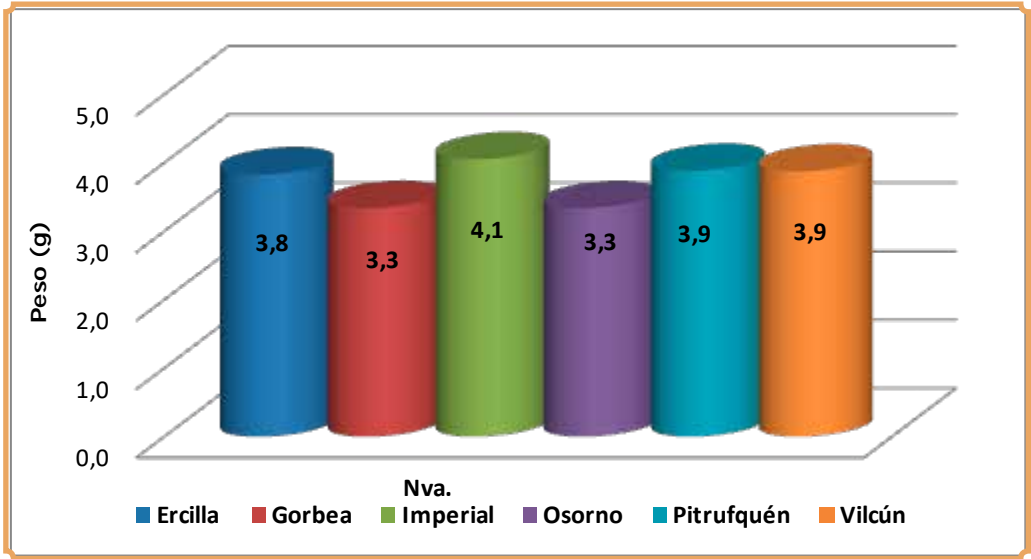


Figura 2. Comparación de las características del fruto: peso (g), cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

En relación al peso del fruto (g) cultivar Barcelona los valores más bajos se presentaron para las comunas de Gorbea y Osorno (3,3 g). Por otra parte, los valores más altos se determinaron para las comunas de Nueva Imperial (4,1 g), Pitrufrquén y Vilcún (3,9 g), respectivamente.

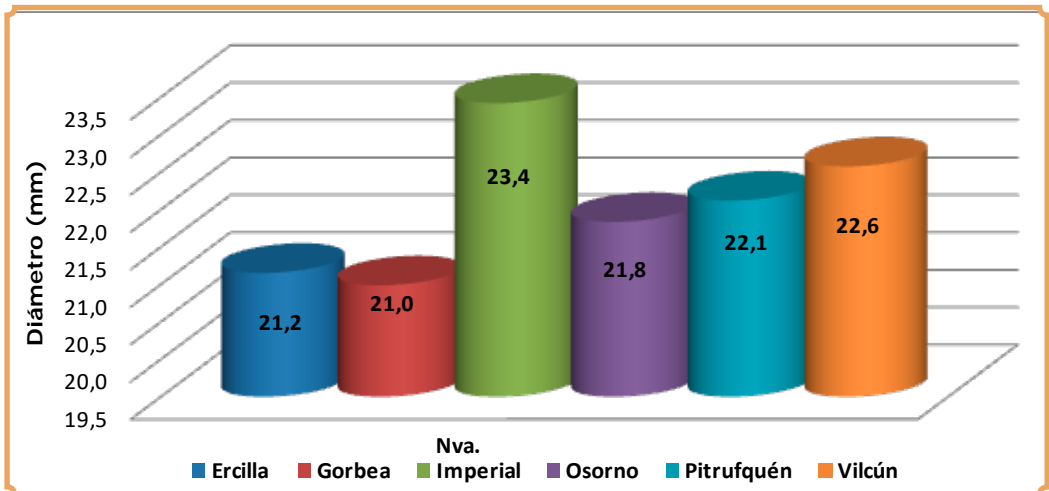


Figura 3. Comparación de las características del fruto: diámetro ecuatorial o ancho (mm), cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

Respecto al diámetro ecuatorial del fruto, los valores más altos se observaron para las comunas de Nueva Imperial (23,4 mm) y Vilcún (22,6 mm).

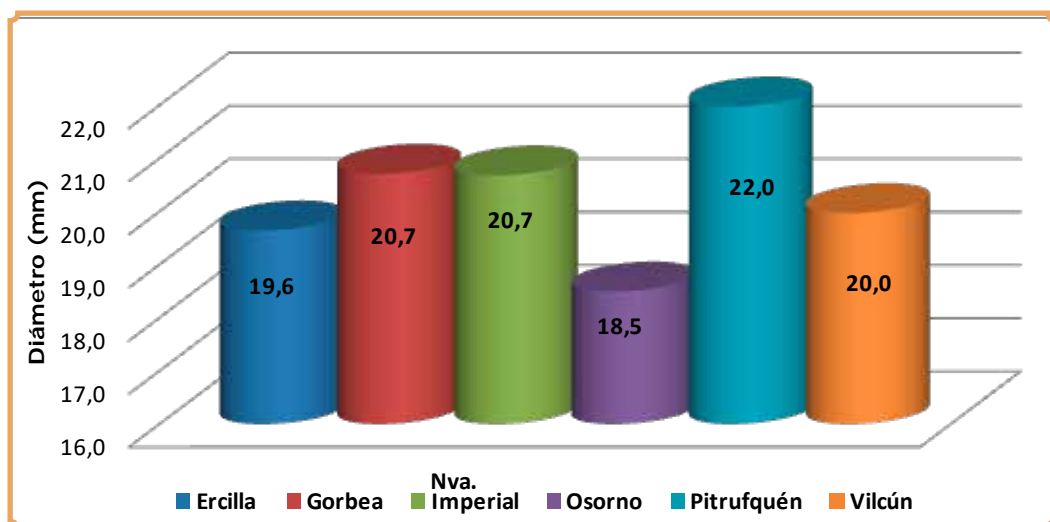


Figura 4. Comparación de las características del fruto: diámetro apical o longitud (mm), cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

En relación al diámetro apical del fruto no se produjeron grandes diferencias entre las comunas en estudio. Sin embargo, el valor más bajo se observó para la comuna de Osorno (18,5 mm).

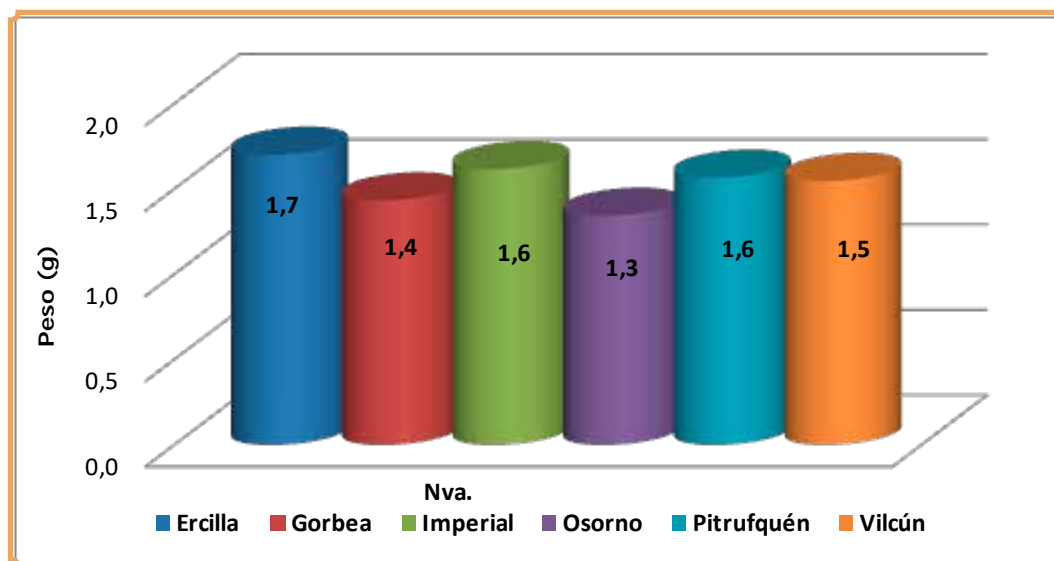


Figura 5. Comparación de las características de la semilla: peso (g), cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

Respecto al peso de semilla (g) los valores más altos se observaron para la comuna de Ercilla (1,7 g), Nueva Imperial y Pitrufrquén (1,6 g).

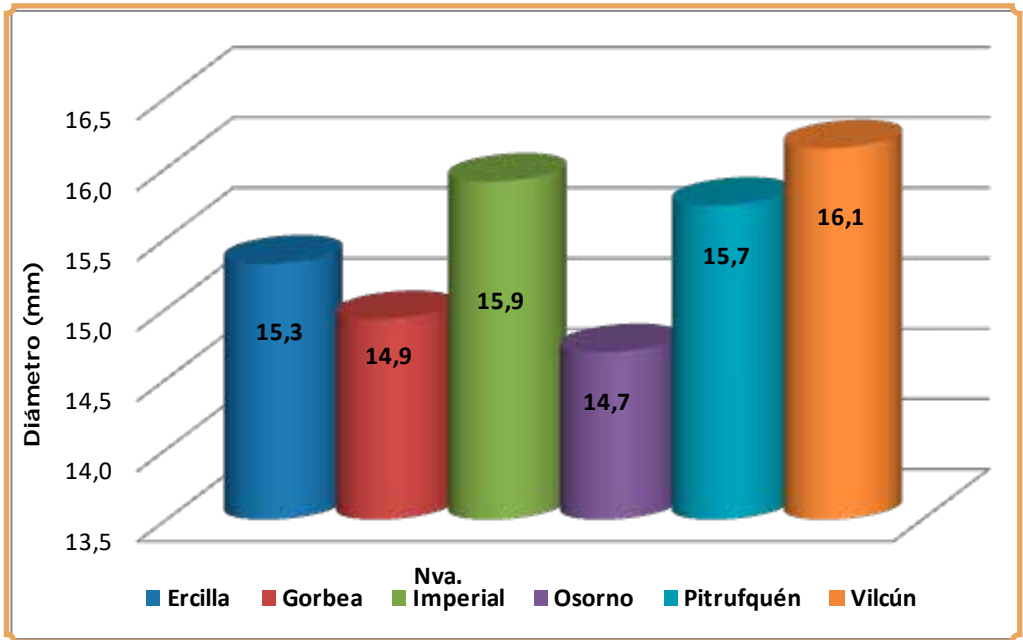


Figura 6. Comparación de las características de la semilla: diámetro ecuatorial o ancho (mm), cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

El diámetro ecuatorial de semilla (mm) fue más alto para las comunas de Vilcún, Nueva Imperial y Pitrufquén (16,1; 15,9 y 16,7 g) respectivamente.

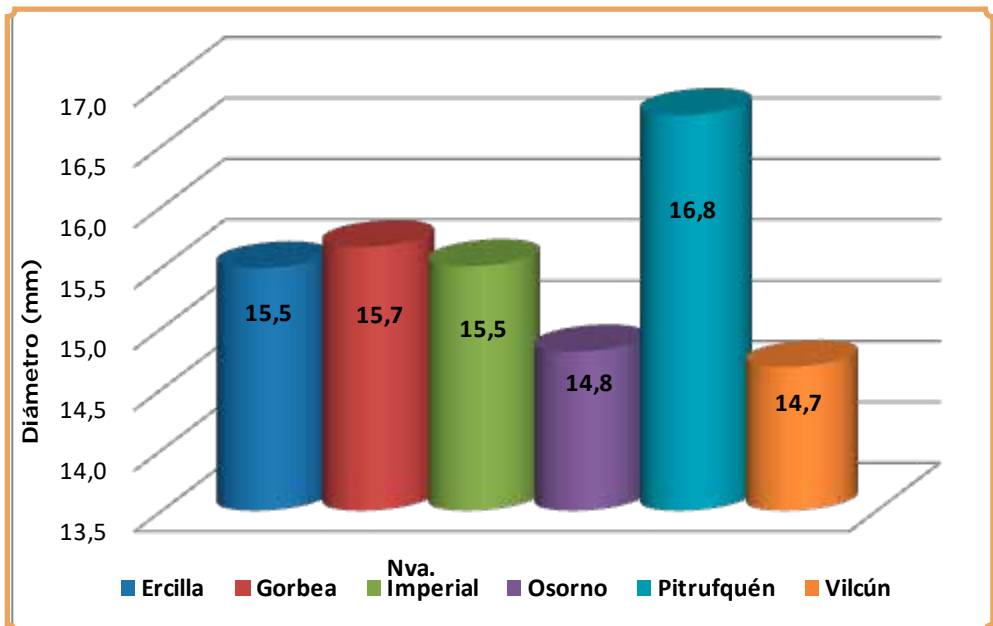


Figura 7. Comparación de las características de la semilla: diámetro apical o longitud (mm), cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

Respecto al diámetro apical de la semilla (mm) los valores más altos alcanzados fueron para las comunas de Gorbea, Ercilla y Nueva Imperial (15,7; 15,5 y 15,5 mm respectivamente), no existieron diferencias importantes entre las localidades.

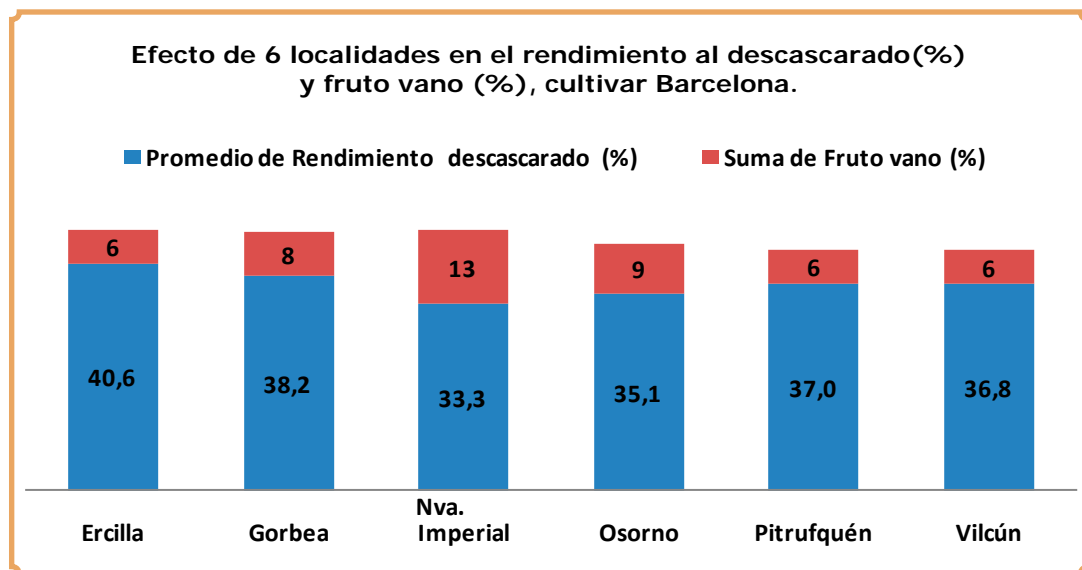


Figura 8. Comparación del rendimiento al descascarado, cv. Barcelona chilena, de acuerdo a zona de cultivo.

En relación al rendimiento al descascarado, en todos los sitios experimentales fue bajo en rendimiento de semilla o pepa, siendo un factor de índole genético. La variedad Barcelona se caracteriza por presentar bajos rendimientos industriales (pepa).

8.1.3. Defectos en fruto y semillas

El mayor porcentaje de frutos vanos en este cultivar de avellano europeo se observó en la comuna de Nueva Imperial (Figura 8). Ello podría atribuirse a la ocurrencia de temperaturas más bajas durante el proceso de fecundación y a un exceso de viento durante el proceso de polinización que podría haber afectado la llegada del polen a la flor femenina. En los demás sitios experimentales, los valores de porcentaje de frutos vanos obtenidos son normales para esta especie.

8.2. Tonda di Giffoni

La variedad italiana Tonda di Giffoni, originaria de la Región de Campania, muy difundida en la Región de Salerno, centro sur de Italia, es la variedad de avellano Europeo de mayor importancia para la industria en Chile, aumentando considerablemente su tasa de plantación en las últimas

temporadas. Ello se debe a la alta calidad tecnológica de las semillas, buenos precios y alta demanda de la industria alimentaria. En relación a las características del árbol, presenta un rápido crecimiento, vigor intermedio, precocidad productiva elevada, una notable proteandria y autoesterilidad, floración masculina y femenina muy precoz. Las flores masculinas (amentos) están separadas de las femeninas (glomérulos); se encuentran presentes en brotes del año y son visibles a partir del mes de febrero, mientras que las flores femeninas se evidencian a partir de fines de otoño-invierno. La plena floración se alcanza casi completamente alrededor de la mitad de junio, época en que se produce la polinización y fecundación que ocurre al culminar la maduración de los órganos florales femeninos en diciembre-enero, dependiendo de las zonas de cultivo. La brotación y época de cosecha son precoces.

Los frutos presentan un promedio de 2,8 núculas por grupo, longitud del involucro muy largo, forma globular, color marrón oscuro, con índice de redondez 1, peso promedio de avellanas de 2,5 g, peso promedio de semilla de 1,16 g, rendimiento al descascarado de 45-47 % y pelado o blanching del perisperma elevado. Estudios realizados en el exterior han determinado una gran homogeneidad de los frutos (Solar y Stampar, 2009).



Foto 3. Huerto de avellano europeo, cv. Tonda di Giffoni (8 años de edad). Comunas de Vilcún (izquierda) y Pitrufquén (derecha), Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 4. Involucros, frutos y semillas del cv. Tonda di Giffoni, se aprecia un buen blanching (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

Como ya se indicó, en los últimos años se han incrementado las plantaciones de huertos de avellano europeo con esta variedad, debido a su excelente calidad de fruta para la industria de transformación, en particular para la industria chocolatera, helados, confites, entre otros productos. Presenta buenas características industriales o tecnológicas (pelado y rendimiento al descascarado), como también un buen sabor y aroma después de ser sometida al tostado (Ellena, 2013).

8.3. Tonda Gentile Romana

Variedad de origen italiano, de la zona del Lazio, difundida en Campania, Marche y Abruzzo (Ellena, 2010). El árbol tiene un vigor medio. Presenta una floración precoz, autoincompatible y frutos sub-esféricos, con rendimiento promedio al descascarado del orden del 45% y de maduración intermedia. Las semillas son esféricas, de color claro, con desprendimiento discreto del tegumento de la semilla y muy demandada por la industria en Italia (De Salvador, 1998). Los principales cultivares polinizadores son Tonda di Giffoni, Imperiale di Trebizona, Mortarella, Riccia di Talanico, Nocchione. También es compatible con Barcelona, Tonda Gentile delle Langhe, Daviana, entre otros cultivares. En su lugar de origen, los rendimientos promedios en plena producción fluctúan entre 2.200-3.000 kg ha⁻¹. Esta variedad ha presentado una buena adaptación en zonas diversas respecto a su lugar de origen (Tombesi, 1991), sin embargo no se ha difundido comercialmente y de manera amplia en Chile. Estudios realizados por INIA Carillanca en La Araucanía indican un comportamiento agronómico inferior respecto de otras variedades como Barcelona y Tonda di Giffoni (Ellena, *et al.*, 2013).



Foto 5. Árbol e involucre del cv. Tonda Gentile Romana. Comuna de Freire, localidad de Radal (Agrichile), Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 6. Frutos del cv. Tonda Gentile Romana.

Fuente: INIA Carillanca

8.4. Tonda Gentile delle Langhe (TGL)

Variedad italiana de origen piamontés, norte de Italia, difundida principalmente en la provincia de Cuneo. El árbol es medianamente vigoroso con buen desarrollo inicial de las plantas durante los primeros años, con brotación precoz, precocidad productiva y caracterizada por presentar una notable protandria y autoincompatibilidad. Los principales cultivares polinizadores para esta variedad son: Cosford, Camponica, Mortarella y Selváticos de la Región de Piemonte (Tombesi, 1991).

Produce frutos de color marrón claro, sub-esféricos, con rendimiento al descascarado del 45-50 %. Las semillas son esféricas de color blanco marfil, con buen desprendimiento del perisperma, buen aroma; es muy apreciada por la industria del chocolate. El número de avellanas por clúster es de 2,9, involucre largo, índice de redondez de 0,98, tamaño de 18,6 x 18,6 x 17,9 mm, peso

de fruto 2,90 g, espesor de la cáscara delgada. La semilla o pepa es de 13,9 x 11,9 x 12,9 mm (tamaño) y su peso es de 1,17 g. Las partidas de fruta son muy homogéneas, de cáscara delgada y el perisperma tiene un espesor reducido, calidad que es importante para el descascarado y rendimiento industrial. Una vez tostada, es fácilmente pelada, atributo de carácter genético, por el cual TGL se diferencia de todos los demás cultivares. Adicionalmente, presenta buena resistencia a la rotura, por la forma y presencia de una cavidad interna poco acentuada. Todo lo anterior determina que dicha variedad sea considerada de mejor calidad industrial a nivel mundial (Ellena, 2013).



Foto 7. Árbol de avellano europeo, cv. Tonda Gentile delle Langhe.
Fuente: INIA Carillanca



Foto 8. Involucros, semilla y frutos del cv. Tonda Gentile delle Langhe. Comuna de Freire, localidad de Radal, Región de La Araucanía (Agrichile).

Fuente: INIA Carillanca

Investigaciones realizadas por INIA Carillanca han evidenciado que la maduración es muy precoz, cosechándose la fruta desde fines de febrero hasta mediados de marzo, dependiendo de la zona de cultivo (Ellena *et al.*, 2013).

8.5. Montebello

Variedad de origen siciliano (Sur de Italia), cultivada bajo diferentes sinónimos, incluyendo Nocchione, Nostrale, Comune di Sicilia, Sciciliana, Santa María del Gesú, de crecimiento cerrado, vigor medio y precocidad productiva intermedia (Baldini y Marangoni, 1993). La floración masculina es intermedia y la femenina es precoz, presenta dicogamia: protándrica con brotación tardía y cosecha precoz (mediados de febrero a inicios de marzo). Esta variedad presenta autocompatibilidad parcial. El árbol mantiene una brotación tardía. En la zona centro sur y sur de Chile ha mostrado buenos rendimientos (superior a 3.000 kg ha⁻¹). (Tombesi, 1991; Ellena, 2013).



Foto 9. Árbol y fruto de avellano europeo, cv. Montebello. Centro Regional INIA Carillanca, Comuna de Vilcún Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

En relación a los frutos, el número de avellanas por grupo o clúster es de 2, involucre largo, forma del fruto globular, color marrón claro, índice de redondez 0,97, tamaño 18,4 x 19,4 x 16,3 mm, peso del fruto 2,94 g, espesor de la cáscara gruesa. La semilla es de un tamaño de 13,8 x 13,3 x 10,8 mm, con un peso de 1,17 g, rendimiento al descascarado de 39,7%, y pelado o blanching medio. Es una variedad de escaso interés agronómico por su calidad industrial discreta (Ellena, 2013).



Foto 10. Frutos del cv. Montebello

Fuente: INIA Carillanca

Esta variedad se introdujo a Chile de manera errónea como Tonda Romana y por muchos años se ha establecido como polinizador para el cv. Barcelona, lo que no procede, ya que presenta los mismos grupos alélicos y por lo tanto, no es genéticamente compatible. Por su composición alélicas S1 S2 es compatible como polinizador para la variedad Tonda di Giffoni. Para su polinización se pueden utilizar cultivares polinizadores como Riccia di Talanico, Tonda Romana (Ellena, 2013).

8.6. Mortarella

Es un cultivar de origen italiano (Región de Campania). Árbol de porte intermedio, precocidad de productividad alta, muy rústico, elevada emisión de hijuelos, resistente al frío y vigor medio. La floración masculina y femenina es intermedia, dicogamia: proteandrea-homógama. Sus principales polinizadores son Tonda di Giffoni, San Giovanni, Riccia di Talanico. La brotación es tardía y la época de cosecha es intermedia. En relación a las avellanas: presenta un número de frutos por grupo de 4,5; longitud del involucro largo, forma alargada subcilíndrica, color café claro, índice de redondez 0,78, tamaño 19,1 x 16,2 x 13,8 mm, peso 2,17 g, espesor de la cáscara: delgada. El tamaño de la semilla en promedio es de 15,2 x 11,2 x 9,7 mm, peso 0,99 g, rendimiento al descascarado 40-50%. El pelado del perisperma es elevado. Sin embargo, por la forma alargada de la semilla, estas se utilizan principalmente por la industria de transformación en la elaboración de cremas, fabricación de helados y pastelería (Ellena, 2013).



Foto 11. Árbol e involucro del cv. Mortarella. Comuna de Freire, localidad de Radal (Agrichile), Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 12. Frutos del cv. Montebello, descascarado y pelado.

Fuente: INIA Carillanca

8.7. San Giovanni

Variedad de origen italiano, de porte medio, precocidad productiva intermedia y elevado vigor. La floración masculina y femenina es muy precoz. Presenta dicogamia: proteandrea homogama. Sus principales cultivares polinizadores son: Tonda di Giffoni, Mortarella, Camponica y Tonda Bianca. La brotación es muy precoz y la época de cosecha es temprana. Esta variedad tiene baja emisión de hijuelos (Ellena, 2013).



Foto 13. Árbol e involucre del cv. San Giovanni. Comuna de Freire, localidad de Radal, Región de La Araucanía (Agrichile).

Fuente: INIA Carillanca

En relación a las avellanas presenta 3,2 frutos por grupo, involucre largo, color marrón claro, índice de redondez 0,76, tamaño: 22,3 x 18,4 x 15,4 mm, peso 2,60 g, espesor de la cáscara medio. La semilla tiene un tamaño promedio de 17,0 x 12,1 x 9,6 mm, peso 1,20 g, rendimiento al descascarado 46%, pelado del perisperma medio.



Foto 14. Frutos y semilla del cv. San Giovanni. Comuna de Freire, localidad de Radal, Región de La Araucanía (Agrichile).

Fuente: INIA Carillanca

8.8. Camponica

Variedad italiana, cultivada fundamentalmente en la Región de Nápoles, sur de Italia, de sinónimo Campanica, Camponeca, Tonda Tempesta, Napoletana, Nocella Noce (Bergoughoux *et al.*, 1978; De Salvador, 1998).

En relación a las características del árbol, presenta un hábito de crecimiento vertical o erecto y porte alto con elevado vigor. Tiene una precocidad productiva intermedia y es altamente productiva. Respecto a su fenología, la floración masculina y femenina es muy precoz, con dicogamia: proteandrea. La brotación de esta variedad es de tipo intermedia y la cosecha es temprana en la temporada.

Las avellanas tienen en promedio 3,4 núculas por grupo o cluster, involucro 50% más largo que la nuez, fruto de color marrón claro, forma globular, índice de redondez de 0,97, tamaño (hls): 19,2 x 20,2 x 17,2 mm, peso de fruto 3,20 g, espesor de la cáscara delgada. La semilla tiene un tamaño (hls): 14,6 x 14,6 x 12,7 mm, peso 1,50 g, rendimiento al descascarado 46,8%, pelado del perisperma alto y presenta un intenso aroma típico a avellanas. Esta variedad se usa tanto para industria y consumo directo (mesa) en cáscara.

8.9. Riccia di Talánico

Variedad italiana cultivada en la Provincia de Caserta y originaria de Talánico, comuna de San Felice. Presenta óptimas características organolépticas, con frutos de cáscara delgada de color café claro y forma alargada. La semilla es de tamaño pequeño mediano con buen rendimiento al descascarado, óptimo sabor (muy agradable). Esta variedad es utilizada también como polinizador para variedades como Tonda di Giffoni y Tonda Romana (Tombesi, 1991).



Foto 15. Árbol joven e involucro, cv. Riccia di Talánico. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 16. Fruto del cv. Riccia di Talanico. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

8.10. Negret

Cultivar de origen español, siendo el más importante y difundido en España, particularmente, en la provincia de Tarragona (Ellena, 2013, Romero *et al.*, 1997, Rovira *et al.*, 1997, Tous *et al.*, 1997, Tous *et al.*, 2009). El árbol presenta vigor medio a bajo, de hábito de crecimiento semi-abierto, y elevada productividad en las condiciones agroecológicas de su lugar de origen.



Foto 17. Árbol joven e involucro cv. Negret. Centro Regional INIA Carillanca Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 18. Fruto del cv. Negret. Centro Regional INIA Carillanca, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

La floración masculina, con la liberación del polen ocurre entre fines de mayo y comienzos de junio, finalizando entre fines de junio e inicios de julio, dependiendo de las zonas agroecológicas donde se encuentren ubicados los huertos. La floración femenina, en particular la receptividad de los estigmas, se produce entre inicios y mediados de junio, terminando a mediados de julio (dependiendo de la zona en que se encuentren las plantaciones y las condiciones climáticas de la temporada). En relación al carácter de la floración, de acuerdo a las condiciones climáticas del año, puede comportarse homógama o dicógama, en éste último caso, protándrica.

La maduración de la fruta ocurre a mediados y fines de febrero y puede extenderse hasta finales de marzo e inicios de abril, dependiendo de la ubicación geográfica en que se encuentre el huerto, siendo la cosecha más tardía en la medida que se avanza hacia el sur del territorio nacional (Ellena *et al.*, 2013).

La fruta es de tipo alargado, de tamaño medio-pequeño (2,0 g), de forma subovoide, de tamaño 19,5 x 16,9 x 14,5 mm, avellana en número de 2,5 por cluster o grupo, involucro levemente más largo que el fruto, tegumento medio sutil, pericarpio de color café oscuro, levemente estriado y pubescente en el ápice. La semilla es de tamaño pequeño-mediano (1,0 g), con óptima remoción del perisperma después del proceso de tostado (para elaboración de confites, como turrone), con un buen rendimiento al descascarado (48%). En conclusión es un cultivar de excelente calidad para uso industrial. No obstante, en varias localidades de la zona sur de Chile esta variedad no ha presentado un buen comportamiento agronómico, en comparación a Barcelona y Tonda di Giffoni (Ellena *et al.*, 2013).

8.11. Morell

Variedad de origen español, difundida en la zona productora de avellanas de Tarragona, España. La característica del árbol es de vigor medio, con hábito de crecimiento abierto, buena productividad y de tipo intermedio. La época de floración masculina con su liberación de polen comienza a fines de julio y los primeros días de agosto. Respecto a la floración femenina su receptividad estigmática ocurre entre fines de julio y primeros días de agosto, siendo posible su prolongación hasta fines de este mes, según las condiciones climáticas de la temporada, es decir tardía. El carácter de la floración es homógama, a veces dicógama, en este último caso, protándrica. La época de brotación es media-tardía y su época de cosecha intermedia, iniciándose a mediados de febrero, con posibilidad de extenderse hasta mediados y fines de marzo, dependiendo de la temporada y área geográfica del sitio de plantación (Ellena, 2013). Entre sus principales polinizadores destacan: Grifoll, Mortarella, Cosford y Lunga di Spagna.



Foto 19. Árbol de avellano europeo, cv. Morell. Comuna de Freire, localidad de Radal, Región de La Araucanía (Agrichile).

Fuente: INIA Carillanca



Foto 20. Fruto de avellano europeo, cv. Morell. Comuna de Freire, localidad de Radal, Región de La Araucanía. (Agrichile).

Fuente: INIA Carillanca

En relación al fruto, su forma es de tipo ovoide, de color marrón claro brillante y uniforme, índice de redondez 0,86, involucro largo, número de frutos por grupo 3, tamaño 19,8 x 18,1 x 16,1 mm, peso 2,05 (g) y espesor de la cáscara intermedio delgada. La semilla es de tamaño medio-pequeña, 13,3 x 11,2 x 9,6, peso 0,88 (g), rendimiento al descascarado 43-45 %, pelado o blanching elevado, presencia de fibra media, remoción del perisperma media-buena.

A modo de conclusión, es un cultivar rústico de buena productividad y que ha presentado buen comportamiento agronómico bajo las condiciones agroecológicas del sur de Chile. Sin embargo, no se ha difundido

comercialmente a nivel país. En España, es la segunda variedad comercial más difundida luego de Negret. Fue introducida a Chile por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en la década del 80. No ha tenido una amplia difusión, ya que otras variedades como Barcelona ha presentado una amplia adaptabilidad y Tonda di Giffoni una gran demanda por la industria de transformación, por sus excelentes cualidades industriales (Ellena *et al.*, 2013).

8.12. Gironel

Variedad de origen español. Tiene mayor tolerancia a la asfixia radicular, adaptándose mejor a suelos más compactos y de mal drenaje, cercanos a márgenes de ríos. El árbol durante su desarrollo inicial presenta un mayor vigor que Negret, pero al finalizar su proceso es inferior a éste, a excepción de huertos establecidos en zonas más bajas donde esta variedad presenta mejor adaptación a suelos más asfixiantes (suelos saturados, con menor presencia de oxígeno), (Rovira *et al.*, 1997 y Tous, 2007).

En relación a la producción, es una variedad precoz con rápida entrada productiva. La época de recolección de los frutos se inicia en los primeros días de febrero y se puede extender hasta mediados y fines de marzo, dependiendo del área geográfica (Ellena *et al.*, 2013; Grau, 2003).



Foto 21. Árbol e involucro del cv. Gironel. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 22. Fruto del cv. Gironel. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

El fruto es de tipo esferoidal, índice de redondez: 1,0, tamaño grande (2,0-2,3 g), sub-esférico: 18,4 x 18,6 x 16,5 mm, de cáscara media. La semilla es de tamaño medio (1,1 g), con presencia de contenidos medios en fibra, remoción del perisperma para uso agroalimentario buena y un rendimiento al descascarado (cáscara/semilla) de 44,1%.

Se puede concluir que Gironel es una variedad adecuada para la industria de transformación. Este cultivar fue introducido a Chile por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en la década del 80, pero no se ha difundido comercialmente como otras variedades ya mencionadas.

8.13. Grifol

Variedad de origen español, vigorosa, de forma erecta, con alta emisión de hijuelos, buena capacidad productiva y entrada en producción tardía. Los frutos tienen forma ovalada comprimida, de tamaño mediano pero de bajo interés comercial (Ellena, 2013).



Foto 23. Árbol e involucro del cv. Grifol. Comuna de Freire, localidad de Radal, Región de La Araucanía (Agrichile).

Fuente: INIA Carillanca

Como apreciación general, es una variedad rústica, de crecimiento lento, utilizada principalmente como polinizador para la variedad Morell.

8.14. Trebizonda

Varietal de origen turco, sinónimo Karidat. El árbol presenta bajo vigor, de crecimiento abierto, productividad media y precoz (Koörsal, 2002). Su bajo vigor permite densificar el huerto. La floración masculina y femenina es intermedia, presentando dicogamia, proteandría-homógoma.

Los frutos tienen forma alargada aplanada, color café claro, índice de redondez 1,15, tamaño 18,0 x 21,8 x 19,9 mm, peso de la avellana 2,60 g, espesor de la cáscara delgado, tamaño de la semilla 12,6 x 14,4 x 12,9 mm, peso de la semilla 1,40 g, elevado blanching o pelado. Los frutos de esta variedad son destinados a la industria de transformación y mesa. Los polinizadores principales para dicho cultivar son: Tombul, Tonda Romana, Riccia di Talánico y Palaz. Esta variedad fue introducida a Chile por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en la década del 80. No se ha difundido de manera comercial debido a que Barcelona y últimamente Tonda di Giffoni han presentado una amplia adaptabilidad y buen comportamiento agronómico (Ellena 2013).



Foto 24. Árbol joven e involucro del cv. Trebizonda. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 25. Fruto del cv. Trebizonda. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

8.15. Tombul

Varietal de origen turco, con porte del árbol muy extendido y escaso vigor, precocidad productiva alta. Tanto la floración masculina como femenina es muy tardía, con dicogamia: protándria-homógama. La brotación y la cosecha es precoz. Los principales polinizadores son Cosford, Tonda Romana y Riccia di Talánico (Ellena, 2013).

En relación a las características de las avellanas, este cultivar presenta un número de 3,5 frutos por grupo o cluster, involucro muy largo, forma cónica, de color marrón oscuro, índice de redondez de 0,83, tamaño 17,0 x 15,0 x 13,2 mm, peso 1,80 g, espesor de la cáscara delgado (Köksal, 2002). Las semillas presentan un tamaño promedio de 13,4 x 10,9 x 9,8 mm, peso de 0,90 g, rendimiento al descascarado muy bueno (50%), pelado o blanching del perisperma muy elevado. Por este motivo es apreciada por la industria.

Esta variedad fue introducida al país por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en la década de los 80, siendo evaluado bajo diferentes condiciones agroecológicas de la zona centro sur y sur de Chile, con buen comportamiento productivo pero sujeta a alternancia productiva, particularmente bajo condiciones de secano y falta de renovación de madera frutal.



Foto 26. Árbol del cv. Tombul, INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 27. Fruto y semilla del cv. Tombul

Fuente: INIA Carillanca

En relación a plagas, este cultivar se ha comportado muy sensible a la sierra del manzano (*Callisphyrus sp*), coleóptero endémico cuyos síntomas son presencia de ramas secundarias o terciarias desecadas (muertas), sin hojas en pleno crecimiento vegetativo y con formación de galerías que

realiza la larva, que tiende a seguir el eje de la rama con diversas salidas laterales para evacuar el aserrín producido y además una galería circular que finalmente causa la rotura de la rama.

8.16. Willamette

Variedad norteamericana liberada en 1990 para el mercado de semilla. En relación a Barcelona, el estado de Oregon produce un 50% más de semilla comerciable. La cáscara es delgada, atractiva y las frutas con pocos defectos. La película se remueve fácilmente luego del tostado. Las semillas son de buena calidad para pastelería y usos industriales. La variedad se originó del cruzamiento de Montebello x Compton, éste último híbrido de Barcelona x Daviana (Mehlenbacher *et al.*, 1991).

Willamette tiene alelos de incompatibilidad S1 y S3, ambos alelos expresados en el estigma (flor femenina) y solo S3 en el polen (Mehlenbacher y Thompson, 1988). Entre sus polinizadores, cvs. Negret y Tonda di Giffoni son recomendados por procesadores, similar a los principales cultivares ya que adicionalmente ambas variedades presentan frutos atractivos para la agroindustria, con buen blanching y maduran casi simultáneamente. Estas variedades florecen temprano y se pueden polinizar entre sí.

El árbol es vigoroso, de tipo vertical, de tamaño y crecimiento similar a Barcelona. Los rendimientos son ligeramente más altos que Barcelona bajo las condiciones agroecológicas de Oregon, Estados Unidos. En Chile no existen antecedentes productivos de huertos comerciales de esta variedad, solo a nivel de jardines varietales. Las avellanas son más pequeñas que las del cv. Barcelona (2,9 g versus 3,8 g), cáscara delgada, con 50% de semilla, pequeña cantidad de fibra en el perisperma. La fibra no solo es poco atractiva, sino también proporciona un sabor amargo a las semillas. Gran parte de la película y fibra es removida durante el proceso del tostado. En el caso de Barcelona solo la mitad de la película es removida por este proceso industrial. El rango de remoción de la película para Willamette es similar al de su progenitor Montebello, levemente inferior a los rangos de Tombul, Tonda di Giffoni y Negret (Mehlenbacher y Smith, 2008). El aroma y textura han sido subjetivamente evaluados como muy buenos por diversos científicos, productores y procesadores. Respecto a defectos, presenta escaso porcentaje de frutos vanos y una pequeña cantidad de avellanas con mal llenado; raramente presenta el desorden fisiológico denominado Brown stain o mancha café. Sin embargo, presenta un mayor porcentaje de semillas con presencia de hongos (sobre la película), los cuales son gran parte removidos por el tostado. Las avellanas se localizan en cluster o grupos de 1 a 5. Su cosecha ocurre una semana más tarde que Barcelona.



Foto 28. Árbol e involucro del cv. Willamette. Centro Regional INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

8.17. Lewis

Varietal de origen norteamericano derivada del cruzamiento de OSU 17.028 por Willamette. Es un árbol ligeramente más pequeño que Barcelona pero con mayor eficiencia productiva. Las avellanas son similares en tamaño y forma a Willamette. Las semillas crudas tienen una pequeña cantidad de fibra en la película. El aroma y textura es muy bueno (Mehlenbacher *et al.*, 2000).

Esta variedad tiene escasa resistencia a la enfermedad denominada Eastern filbert blight (*Anisogramma anomala*) no presente en Chile y moderadamente resistente al big bud mite (*Phytoptus avellanae*). Se poliniza con la mayoría de las variedades, excepto con Barcelona, Jefferson y Clark.



Foto 29. Árbol del cv. Lewis, Estado de Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

8.18. Clark

Varietal desarrollada por la Universidad Estatal de Oregon (OSU), Estados Unidos. Derivada de una progenie de Tombul Ghiaghli y Willamette. El árbol es aproximadamente 30 % más pequeño que Barcelona y tiene un crecimiento tipo vertical, pero más ramificado que Barcelona. Presenta buena resistencia cuantitativa al Eastern filbert blight (EFB). Se cosecha 7-10 días antes que Barcelona y las avellanas caen libremente del involucro. Las avellanas tienen un elevado rendimiento en semilla (50-51%) y presentan una buena calidad como sabor, aroma, textura y buen pelado o blanching del perisperma luego del tostado similar a Willamette. Presenta rendimientos similares a Barcelona (Mehlenbacher *et al.*, 2001).

Los alelos de incompatibilidad son S3 S8. Sus flores femeninas florecen tarde. El polinizador Hall's Giant es compatible genéticamente, pero la emisión de polen es demasiado temprana para polinizar la mayoría de las flores femeninas del cv Clark. Por ello, se requiere incluir otros cultivares polinizadores genética y cronológicamente compatibles.



Foto 30. Árbol e involucro del cv. Clark, Estado de Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

8.19. Jefferson

Variedad de origen norteamericano obtenida en el programa de mejoramiento genético de la Universidad Estatal de Oregon, Corvallis, Estados Unidos. Licenciada en enero de 2009, de libre disposición en Estados Unidos, pero no en Chile. Este cultivar se caracteriza por presentar resistencia a la enfermedad Eastern filbert blight (EFB), causada por el hongo *annisogramma anomala* (Peck) E. Müller, que constituye una de las limitantes más importantes del avellano en Estados Unidos y no se encuentra presente en Chile.

La floración femenina es muy tardía. Las flores femeninas expresan incompatibilidad alélica S1 y S3, pero el polen expresa solo el alelo S3. Los cultivares polinizadores que liberan polen en diferentes tiempos recomendados en Oregon para esta variedad son Gamma, Yamhill, Eta, Theta y también son compatibles Hall´s Giant, Felix (Mehlenbacher *et al.*, 2011).

En Chile aún no existen antecedentes publicados sobre el comportamiento agronómico y compatibilidad fenotípica de estos materiales, ya que es necesario que la floración masculina se sobreponga exactamente a la floración femenina de la variedad principal (overlapping). Lo anterior es condición indispensable para lograr una adecuada polinización. Por ello, se requieren estudios previos antes de decidir plantaciones comerciales de estas variedades, bajo diferentes condiciones agroecológicas en que se cultiva el avellano en el país. Adicionalmente, en relación al aspecto biológico, los polinizadores deben producir abundante polen con buena germinación. Respecto a ello, tampoco hay información local disponible.

Cabe destacar, que existe una marcada influencia del ambiente sobre los estados fenológicos de los cultivares. En este sentido, la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca ha iniciado estudios sobre calidad del polen de dichos cultivares polinizadores, cuyos resultados se muestran en cuadro 1.

Cuadro 1. Características de frutos y semillas del cv. Jefferson, temporada 2014-2015. Comuna de Pitrufulquén, Región de La Araucanía.

| Peso Fruto (g) | Diámetro apical fruto (mm) | Diámetro ecuatorial fruto (mm) | Espesor fruto (mm) | Peso semilla (g) | Diámetro apical semilla (mm) | Diámetro ecuatorial semilla (mm) | Espesor semilla (mm) | Rdto. descascarado (%) |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------|
| 3,36 | 19,31 | 21,8 | 17,83 | 1,54 | 14,44 | 16,46 | 13,78 | 46,48 |

Este cultivar de avellano tiene un menor peso del fruto que el cv. Barcelona (3,7 g), con rendimiento al descascarado del 45% (evaluaciones realizadas en Oregon, USA). En Chile se han determinado pesos promedios de frutos de (3,36 g) y de semillas de (1,54 g) con un rendimiento al descascarado de 46%. Son de color café claro y con un buen blanching de la semilla o pepa ligeramente mayor que la variedad Barcelona.

Los árboles tienen hábito de crecimiento ligeramente vertical y moderadamente vigorosos, con una canopia expandida de manera vertical que le permite una buena penetración deluz al interior del árbol. Lo anterior favorece el desarrollo de frutos y disminuye la ocurrencia de clusters o grupos de frutos únicos, comunes en árboles con copas densamente sombreadas. En relación a la variedad Barcelona bajo las condiciones de clima y suelo de Oregon, los árboles han presentado un 30-40% de menor vigor. En pleno régimen productivo se ha determinado un 15% menos de vigor. Para las condiciones agroecológicas chilenas, aún no se cuenta con datos duros, ya que los huertos son muy jóvenes.



Foto 31. Huerto de avellano europeo (7 años de edad) e involucro, cv. Jefferson, Oregon, Estados Unidos.
Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.



Foto 32. Semillas del cv. Jefferson
Fuente: INIA Carillanca



Foto 33. Huerto joven, cv. Jefferson (4 años de edad). Comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía

Fuente: INIA Carillanca

8.20. Yamhill

Variedad norteamericana de la Universidad estatal de Oregon, completamente resistente al Eastern filbert blight (EFB). Licenciada en 2008, pública y propagada sin restricción en los Estados Unidos. El árbol es compacto, con hábito de crecimiento expandido y de menor vigor que Barcelona (variedad referencial). Estos no se entrecruzan hasta después de 10 años de establecido, con distancias de plantación de 4 metros sobre la hilera bajo las condiciones de clima y suelo de Oregon, Estados Unidos (Mehlenbacher *et al.*, 2009).

Las ramas presentan buenos ángulos de inserción, permitiendo una buena penetración de luz sin ocasionar excesivas quemaduras por sol en hojas, involucros y corteza de los árboles. Dichas características se han observado bajo las condiciones ambientales de Oregon, pues en Chile aún no se cuenta con información de huertos plantados con Yamhill en diferentes condiciones agroecológicas. Los árboles presentan un buen anclaje, sin tendencia a inclinarse, según los análisis de plantaciones adultas en el país del norte.



Foto 34. Huerto joven, cv. Yamhill (4 años de edad). Comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 35. Huerto adulto, cv. Yamhill. Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.



Foto 36. Fruto y semilla de la variedad Yamhill.

Fuente: INIA Carillanca

Las flores femeninas comienzan a emerger tarde en diciembre y permanecen rojas hasta principios de febrero (Oregon), muy similar a la variedad Barcelona. En el sur de Chile (comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía) las flores femeninas comienzan a emerger y permanecen de color rojo hasta julio. La emisión del polen es muy variable en su duración, dependiendo de las temperaturas en invierno y de la edad de los árboles. Los árboles producen gran cantidad de amentos, que comienzan a emitir polen en las primeras semanas de enero con un peak en la tercera semana de este mes (Estado de Oregon). Sin embargo, en algunas temporadas, la emisión de polen continúa durante febrero, es decir muy dependiente de dicho factor. En Chile, estudios realizados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca indican que la emisión de polen de esta variedad ocurre desde julio.

La cosecha de la fruta (Estados Unidos) se produce aproximadamente 10 días antes que en el caso de la variedad Barcelona. En la zona sur de Chile, la recolección de las avellanas es 10-12 días antes que Barcelona. Los frutos son de forma redonda, pequeños (2,3 g). Las semillas tienen un bajo contenido en fibra, peso de 0,8-1,1 g, con un buen blanching del perisperma (similar a Barcelona) y un rendimiento al descascarado de 49% bajo las condiciones de cultivo en Oregon. Adicionalmente, se ha observado una baja incidencia de mohos (Mehlenbacher *et al.*, 2009). Estudios realizados en Chile por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca, referentes a características de calidad y tecnológicas del fruto, pueden apreciarse en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características de calidad y tecnológicas de frutos y semillas del cv. Yamhill, cultivada en las comunas de Pitruquén (Región de La Araucanía) y Osorno, sector Trumao (Región de Los Lagos), sur de Chile.

| Peso fruto (g) | Diámetro apical fruto (mm) | Diámetro ecuatorial fruto (mm) | Espesor fruto (mm) | Peso semilla (g) | Diámetro apical semilla (mm) | Diámetro ecuatorial semilla (mm) | Espesor semilla (mm) | Rend. total descascarado (%) |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 2,32 | 18,55 | 17,49 | 15,88 | 1,05 | 13,94 | 13,18 | 12,18 | 45,45 |

8.21. Sacajawea

Variedad norteamericana desarrollada por el programa de mejoramiento de la Universidad Estatal de Oregon, obtenida del cruzamiento de la selección OSU 43.091 x Sant Pere, con un grupo alélico S1 S22. Este cultivar fue licenciado en febrero de 2006 (Melhenbacher, SA. *et al.*, 2008).

Comparado con la variedad Barcelona, este árbol es ligeramente más pequeño pero presenta una elevada eficiencia productiva. Las plantas tienen un hábito de crecimiento cerrado redondeado, con estructuras fáciles de mantener. Sin embargo, se requiere poda de mantenimiento con el fin de permitir una buena penetración de la luz al interior de la copa. Esta variedad no presenta resistencia completa al Eastern filbert blight (EFB).

En relación al rendimiento de los árboles, es similar a Barcelona, pero las avellanas tienen menos defectos y un mayor porcentaje de semilla o pepa que Barcelona. Respecto a la cosecha, más del 95% de las avellanas pueden cosecharse 10-15 días antes que Barcelona. En algunos años, la cosecha se ha completado antes de comenzar con Barcelona (Oregon, Estados Unidos). La floración femenina ocurre al mismo tiempo que en Barcelona, las primeras flores a mediados de diciembre y las últimas a mediados de febrero bajo las condiciones agroecológicas de Oregon. Los árboles producen una elevada cantidad de polen, que emiten temprano a mediados de estación y cuyo peak se produce en la segunda y tercera semana de enero.

Las flores femeninas de Sacajawea expresan alelos S1 S22, pero solo S1 se expresa en el polen. Para la polinización son recomendados cultivares que proveen polen para cubrir el período de floración femenino desde fines de diciembre a mediados de febrero bajo las condiciones agroecológicas de Oregon. Cultivares como Lewis (S3 S8), Gama (S2 S10) y Hall´s Giant (S5 S15) se recomiendan para esta variedad.

El polen de Lewis cubre el período de floración femenino temprano de Sacajawea, mientras que Gamma y Hall's Giant puede cubrir el período intermedio y tardío de los tres cultivares. Los cultivares cuyo polen expresan los alelos S1 o S22 no son compatibles con Sacajawea, incluyendo Barcelona (S1 S2), Delta (S1 S15), Epsilon (S1 S4) y Zeta (S1 S1).

En relación a los frutos, el tamaño es aceptable para el mercado en cáscara y descascarado. Los pesos promedios de frutos son de 2,8 g, semilla 1,4 g y un rendimiento al descascarado de 52%. Los frutos y las semillas son atractivos y tienen pocos defectos. El sabor es excelente. Presenta pocos problemas de llenado del grano, frutos vanos y el porcentaje de mohos es inferior o similar a Barcelona. El tamaño de la semilla es similar a las variedades Tonda di Giffoni y Tonda Romana. El blanching o pelado del perisperma es superior a Barcelona. En una escala de 1 a 7 (1=mejor), los rangos para Sacajawea son 2-3 (Mehlenbacher *et al.*, 2008).

Cabe indicar que para la zonas productoras de avellana en Chile, aún no existen antecedentes sobre el comportamiento productivo de esta variedad y tampoco hay estudios sobre cultivares polinizadores más adecuados para la zona centro sur y sur del país. Por ello, previo al establecimiento de huertos de superficie comercial se recomienda establecer pequeñas superficies o jardines, con el fin de estudiar su adaptabilidad y comportamiento agronómico (Ellena, 2013).



Foto 37. Árbol e involucro, cv. Sacajawea. Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

8.22. Santiam

Variedad desarrollada por la Universidad Estatal de Oregon, licenciada en 2005. Más del 90% de las avellanas maduras caen libres del involucro a fines de septiembre (Oregon). La variedad no ha presentado alternancia en la producción (Mehlenbacher *et al.*, 2007).

La floración femenina ocurre tarde o muy tarde en la temporada, requiriéndose cultivares polinizadores que emitan polen tardíamente. En Oregon, se recomiendan Epsilon y Zeta. Santiam produce mucho polen y es un potencial polinizador. Este cultivar emite polen temprano a media estación y presenta un período corto a intermedio de emisión de polen (Mehlenbacher *et al.*, 2007).

En relación a los frutos, tienen buenas características para el mercado de semilla (descascarado). Sin embargo, son demasiado pequeños para el mercado en cáscara. El peso promedio del fruto es de 2,0-2,1 g, mientras que el de las semillas es de 1,0 –1,1 g. El rendimiento al descascarado es de 48-52% con una aptitud moderada al blanching. Santiam ha presentado menos de un 5% de frutos vanos y mancha café y alrededor de un 4 % daño por hongos (Mehlenbacher *et al.*, 2007).



Foto 38.Árbol y fruta, cv. Santiam. Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

8.23. Tonda Pacífica

Variedad norteamericana para el mercado del descascarado. De acuerdo a evaluaciones de investigadores norteamericanos, es un árbol más pequeño que Barcelona, con mayor eficiencia productiva, frutos y semillas pequeñas, alto porcentaje de semilla, pocos defectos del fruto y semilla, buen blanching y maduración más temprana. Sin embargo, esta variedad por sus características, debería compararse con variedades para aptitud industrial como Tonda Gentile delle Langhe, Tonda di Giffoni, Negret, Tombul, entre otras, y no con Barcelona que destaca por tener características propias para el mercado en cáscara (Mehlenbacher *et al.*, 2011).

Las semillas del cv. Tonda Pacífica tienen una textura firme y elevado aroma a avellana. La calidad de la semilla es similar a su pariente italiano Tonda Gentile delle Langhe. El pequeño tamaño de la semilla es ideal para la confección de chocolates y productos horneados.

Tonda Pacífica, deriva del cruzamiento de Tonda Gentile delle Langhe (Clon 0-15) por OSU 23024 realizado en 1981 por M.M. Thompson. OSU 23024 deriva del cruzamiento de Barcelona por Extra Ghiaghli, importante clon del cultivar turco Tombul (Mehlenbacher y Miller, 1989; Raptopoulos y Kantartzis, 1961; Gökirmak *et al.*, 2009).

Los árboles tienen una copa globosa y sus características con menor vigor determinan que sean de fácil conducción. Se sugiere una poda de baja intensidad para favorecer la entrada de luz al interior de la canopia. Comparada con otras variedades como Lewis y Clark, Tonda Pacífica entra un año más tarde en producción. Presenta un rendimiento al descascarado de 47-48%. Los frutos se ubican en clúster de 3-4, con un 75 a 100% más largos que el involucro. Las avellanas caen libremente al suelo. La cosecha ocurre 7 a 10 días antes que Barcelona y 10 a 14 días después que Tonda Gentile delle Langhe.

En relación a la calidad de la semilla, las avellanas tienen un contenido moderado de fibra en la película o perisperma. Sin embargo, durante el proceso de tostado (100°C por 15 minutos) se remueve gran parte de ella. El tamaño de las semillas está en el rango de 11-13 mm, ideal para muchos productos a base de chocolate.



Foto 39. Árbol joven (4 años de edad) e involucro del cv. Tonda Pacifica. Comuna de Pitrufuén, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 40. Árbol e involucro del cv. Tonda Pacifica. Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

Al presentarse una alta carga de fruta en esta variedad, las semillas no llenan completamente. Presenta una baja incidencia de mohos a nivel de las semillas y escasa tendencia a la alternancia productiva. Esta variedad tiene alelos de incompatibilidad S1 S2, ambos expresados en el estigma, solo S1 es expresado en el polen por dominancia. Algunos polinizadores utilizados para este cultivar son Gamma y Segorbe y en media estación la variedad Hall´s Giant en una relación de 2:2:1 con un 11% de polinizadores. Polen de Barcelona, Montebello, Ennis y Tonda di Giffoni son incompatibles. Es compatible con Tonda Gentile delle Langhe. Variedad licenciada en 2010 (Mehlenbacher *et al.*, 2011).

Se recomienda para zonas libres de *Anisogramma anómala*, ya que es relativamente susceptible a dicha enfermedad (Mehlenbacher *et al.*, 2011). Estudios realizados en Eslovenia muestran que ha presentado buen comportamiento agronómico (Solar y Štampar, 2009). En Chile ha sido recientemente introducida, por ello aún no se tienen antecedentes suficientes sobre su comportamiento productivo. Estudios preliminares realizados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca han establecido las características del fruto y semilla de esta variedad (comparada a Tonda Gentile delle Langhe y Tonda di Giffoni), las cuales pueden apreciarse en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características del fruto y semilla del cv. Tonda Pacífica, comparada con aquellas de cvs. Tonda Gentile delle Langhe (TGL) y Tonda di Giffoni.

| Variedad | Peso fruto (g) | Peso semilla (g) | Rendimiento al descascarado (%) |
|-------------------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| Tonda Pacífica | 3,84 | 1,72 | 44,76 |
| TGL | 2,75 | 1,13 | 45,1 |
| Tonda di Giffoni | 3,57 | 1,39 | 46,0 |



Foto 42. Variedades Tonda Pacífica, Tonga Gentile delle Langhe y Tonda di Giffoni.

Fuente: INIA Carillanca

8.24. Mac Donald

Variedad norteamericana desarrollada por el programa de mejoramiento de la Universidad Estatal de Oregon, licenciada en 2014. Presenta un hábito de crecimiento similar a la variedad Jefferson, con crecimiento abierto y vertical que permite una buena entrada de luz y circulación del aire. Por las características morfológicas del árbol, esta variedad requiere podas mínimas para mantener producciones de calidad. La mayor entrada de luz permite la obtención de una mejor cuaja, mayor tamaño de frutos y semillas. En esta variedad se ha determinado un alto porcentaje de rendimiento al descascarado (52%).

Evaluaciones realizadas en el Estado de Oregon señalan un buen comportamiento agronómico, con producciones altas y buena calidad de sus semillas, escasos defectos y poca incidencia de mohos. Esta variedad es susceptible al EFB, aun cuando porta el gen de resistencia a dicha enfermedad heredado del cultivar Gasaway, observándose pequeños canchales en algunos huertos en Estados Unidos (Oregon).

Las flores femeninas florecen en media estación y el polen expresa los alelos S2 y S15 en sus flores femeninas y solo S15 en el polen. En Oregon se recomienda asociar esta variedad con los polinizadores Wepter y York (S. Mehlenbacher, comunicación personal (2014). En Chile, aún no existen huertos comerciales con esta variedad (Mehlenbacher *et al.*, 2016).



Foto 42. Árbol del cv. Mac Donald. Oregon, Estados Unidos.

Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

8.25. Estudios de evaluación de variedades

En la Comuna de Vilcún (Región de La Araucanía), entre las temporadas 2012 y 2015 se evaluó el comportamiento agronómico de las variedades Barcelona, Tonda di Giffoni, Tonda Gentile delle Langhe (TGL) y Tonda Romana en etapa de formación. Se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de fruto acumulado en el período indicado, con las variedades Barcelona y Tonda di Giffoni (3.116,9 y 1993,3 kg ha⁻¹, respectivamente), (Figura 9). En el caso de las variedades Tonda Gentile delle Langhe (TGL) y Tonda Romana, ambas para uso industrial, no se observa una tendencia que refleje un buen comportamiento productivo (569,3 y 1.381,7 kg ha⁻¹, respectivamente) en este período, bajo las condiciones experimentales del estudio. Cabe destacar que la variedad Tonda Gentile delle Langhe solamente ha presentado buenos niveles productivos en su zona de origen en la Alta Langhe, Región de Piemonte (norte de Italia), mostrando en general bajos rendimientos de fruto en otras partes del mundo

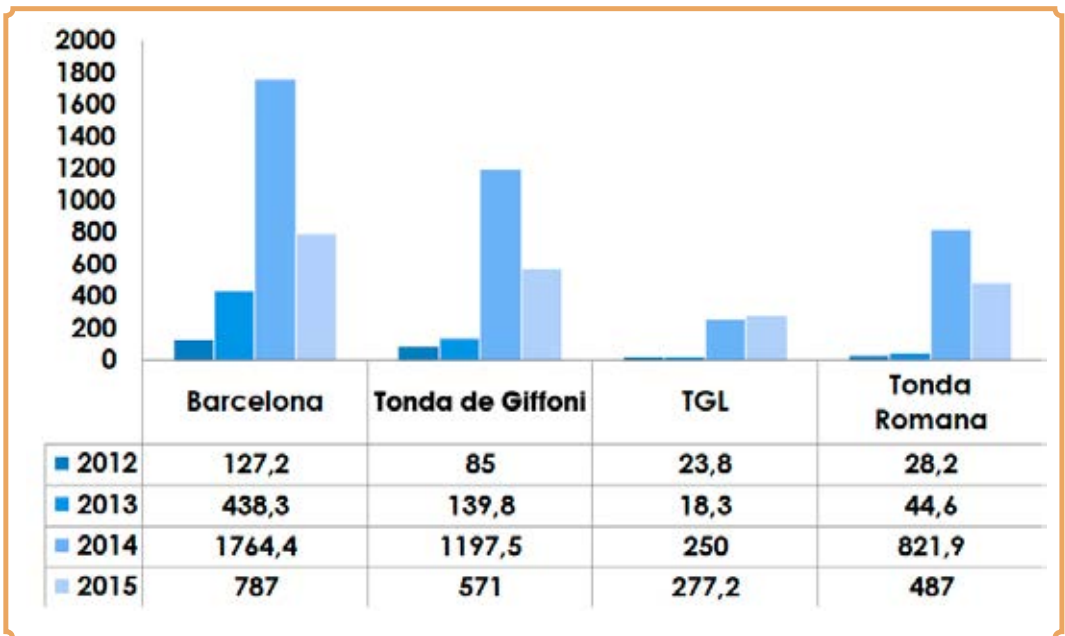


Figura 9. Rendimiento de fruto (kg ha⁻¹) de cuatro variedades de avellano europeo en etapa de formación. Temporadas 2012, 2013, 2014 y 2015. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Referencias Bibliográficas

Baldini y Marangoni. 1993. Arboriculture general (edición Thema-Gueb. Il nocchiolo. P 227-230.

Bignami, C., De Salvador, R.F., e G. Strabbioli. 1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della coricolture nel Lazio. Rivista de Frutticoltura e di Ortofrutticoltura N° 11:16-27.

Bergouhous, F., Germain, E., et J-P. Sarraquigne. 1978. Le Noisetier, production et culture. INVULFLEC, Paris. 161p.

De Salvador, F.R., 1998. Indagine preliminare sulle caratteristiche produttive e merceologiche di alcuni presunti cloni della cultivar di nocciolo "Tonda Romana". La coricoltura viterbese: risultati di un trienio di ricerche, Caprarola (VT), 19 dicembre.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. Boletín INIA N° 202. 88 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., y A. González. 2012. Il boom della coricoltura cilena. *Corylus & Co.* Anno III, número 1-2012. p. 21-28.

Ellena, M. 2013. Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIAN°274. 202 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., y G. Azócar. 2013. Boletín INIA N° 274. Variedades. p. 163-201. En: Miguel Ellena D. (ed.) Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., Jequier, J., Contreras, M., and P. Grau. 2014. Chilean hazelnut situation and perspectives. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 1052: 329-342.

Gökirmak, T., Mehlenbacher, S.A., and N.V. Bassil. 2009. Characterization of European hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars using SSR markers. Genet. Resour. Crop. Ex. 56: 147-172.

Grau, P. 2003. Avellano europeo: manual de plantación y manejo. Boletín INIA N° 108. 90 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

- Koksäl, A. 2002. Turkish Hazelnut cultivars (edision Grafic Servis) p. 136.
- Mehlenbacher, S., and M.M.Thompson. 1988. Dominance relationships among S-alleles in *Corylus avellana* L., Theor. Appl. Genet. 76: 669-672.
- Mehlenbacher, S., and A.N.Miller. 1989. Barcelona Hazelnut. Fruit Var. J. 43:90-95.
- Mehlenbacher, S.A. 1991. Chilling requirements of Hazelnut cultivars. Scientia Hort. 47: 271-282.
- Mehlenbacher, S.A., Miller, A.N., Thompson, M.M., Lagerstedt, H.B.,and D.C.Smith. 1991. "Willamette Hazelnut". HortScience 26: 1341-1342.
- Mehlenbacher, S.A., Azarenko, A.N., Smith, D.C., and R.L.McCluskey. 2000."Lewis Hazelnut". HortScience 35: 314-315.
- Mehlenbacher, S.A; Azarenko, A.N; Smith, D.C and Mc Cluskey, R.L. 2001. Clark, Hazelnut. HortScience 36(5): 995-996.
- Mehlenbacher, S.A., Azarenko, A.N., Smith, D.C., and R.L.McCluskey. 2007. "Santiam Hazelnut". HortScience 42: 715-717.
- Mehlenbacher, S.A., Smith, D.C., and R.L.McCluskey. 2008. "Sacajawea Hazelnut". HortScience 43: 255-257.
- Mehlenbacher, S.A. 2009. Genetic resources for hazelnut state of the art and future perspectives. Acta Hort. 845: 33-38.
- Mehlenbacher, S.A., Azarenko, A.N., Smith, D.C., and R.L.Mc Cluskey. 2009. "Yamhill Hazelnut". HortScience 45: 832-836.
- Mehlenbacher, S.A., Smith, D.C.,and R.L. McCluskey. 2011. "Jefferson" hazelnut. HortScience46: 662-664.
- Mehlenbacher, S.A., Smith, D.C.,McCluskey, R.L., and M.M. Thompson. 2011. "Tonda Pacifica Hazelnut". HortScience 46: 505-508.
- Raptopolous, T.D., and N.A. Kantartzis. 1961. The most important Hazelnut cultivars grown in Greece. Yrbk. Sch. Agric. For. Aristotelian Univ., Thessalonika 1961: 53-78.
- Romero, A. Tous, J. Plana, J. Díaz, L. Boatelle, J. Garcia, J. and López, A. 1997. Commercial quality characterization of spanish "Negret" cultivar. Acta Horticulturae, 445: 157-164.

Rovira, M., Romero, M., and J. Clave. 1997. Clonal selection of Gironel and Negret hazelnut cultivars. *Acta Horticulturae* 445: 145-150.

Solar, A., and F. Štampar. 2009. Performance of hazelnut cultivars from Oregon in Northeastern Slovenia. *HortTechnology*. Vol 19(3): 653-659.

Tombesi, A. 1991. *Nocciolo Frutticoltura speciale*. p. 614-631. REDA, Roma, Italia.

Tous, J., Romero, A., Plana, J., Rovira, M., and F.J. Vargas. 1997. Performance of "Negret" cultivar on several rootstocks. *Acta Hort.* 445: 433-439.

Tous, J., Romero, A., Rovira, M. and Hermoso, J.F. 2009. Performance of "Negret Hazelnut" cultivar grafted on 4 rootstocks in Catalonia (Spain). *Acta Hort.* 845: 89-93.



CAPÍTULO 9

PROPAGACIÓN

**Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo
Juan Abarzúa C., Ing. Agrónomo M.Sc.
Felipe Marchant C., Ing. Agrícola**

En Chile la propagación de especies frutales, como avellano europeo, se realiza en empresas especializadas, viveros autorizados por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), que garantizan la calidad y sanidad del material vegetal comercializado. Estas empresas disponen de mano de obra altamente calificada e infraestructura como invernaderos, camas de propagación, laboratorios de micropropagación, cámaras de frío y sistemas de riego tecnificado.

Existen numerosos sistemas de propagación del avellano. Por vía gámica (reproducción o propagación por semilla) y por vía agámica (multiplicación o propagación vegetativa) que comprende la autorradicación entre los cuales destacan sierpes, acodo simple, acodo de montículo, acodo de trinchera, estacas, micropropagación e injertación por medio de la realización de injertos sobre portainjertos francos o clonales. La auto radicación aprovecha la capacidad de diferentes órganos vegetativos (brotes, ramos) de formar y emitir raíces; el injerto por otra parte está constituido por una planta formada por dos miembros, uniendo dos individuos diversos.

A nivel de viveros comerciales, el método más utilizado en el mundo y en Chile es el acodo con sus respectivas variantes, debido a su fácil manejo y buenos resultados. De manera particular, la tasa de multiplicación y enraizamiento de los brotes obtenida por planta madre y buena calidad del material vegetal puede ser llevado a recría en vivero.

9.1. Semilla

La propagación por semilla es utilizada en silvicultura para la multiplicación de especies ornamentales. En el caso de especies frutales se emplea en programas de mejoramiento genético y multiplicación de patrones francos. Por semilla se ha propagado un gran número de plantas. Sin embargo tiene el inconveniente de una elevada variabilidad del material, siendo no apropiado como sistema de multiplicación para esta especie. La propagación a través de semillas solo tiene interés desde el punto de vista del mejoramiento genético y de la obtención de patrones o portainjertos francos, los cuales también presentan variabilidad, siendo más apropiado el uso de portainjertos clonales, como ya se ha indicado.

Adicionalmente, muchas especies frutales requieren varios años para superar la fase juvenil, improductiva, durante la cual se manifiesta esterilidad y características vegetativas diferentes a las plantas adultas (hojas más pequeñas, corteza menos densa) y por una elevada heterocigosis y por tanto, una variabilidad acentuada en aquellos caracteres de interés agronómico como: forma de frutos, forma de semilla, longitud del involucre, caída libre de los frutos del involucre, vigor, arquitectura del árbol, época de floración y maduración, entre otros. Además, las plántulas obtenidas a partir de semillas generalmente están libres de virus, debido a que gran parte de

las virosis no se transmiten a través de la reproducción (Hartman y Kester, 1981).

Las semillas derivan de óvulos fecundados, constituidas generalmente por un embrión que con el endosperma o los cotiledones está protegido por el tegumento. En general, cada semilla tiene un solo embrión. No obstante, existen semillas poliembriónicas que derivan de óvulos con dos ovocélulas fecundadas de tubos polínicos diferentes o de la diferenciación de embriones adventicios de tejidos nucelares o tegumentales. Este fenómeno conocido como poliembriónía se presenta en algunas especies frutales tales como avellano, nogal, manzano y especialmente cítricos. De cada semilla poliembriónica se generan más plantas (Baldini, 1992).

9.2. Multiplicación vegetativa

En relación a la reproducción por semilla, la multiplicación agámica presenta la ventaja de producir plantas más homogéneas que entran rápidamente en producción (luego de 3-5 años) y presentan las mismas características de las plantas madres que le dieron origen, salvo que en estas últimas no hayan ocurrido mutaciones de yemas. En tal caso, el material de propagación (yemas) tiene una constitución genética diferente que puede transmitirse a las plantas propagadas de manera vegetativa. Histológicamente las mutaciones por yema, denominadas también citoquimeras autógenas, pueden ser de cuatro tipos: totales, periclinales, sectoriales y mericlinales, en relación a la extensión y disposición de los tejidos meristemáticos normales y mutados. Las mutaciones totales y periclinales son más estables que las sectoriales y mericlinales de las cuales se originan órganos (con la propagación) y plantas con características diferentes e inestables. En fruticultura, la aparición espontánea de mutaciones ha permitido seleccionar y multiplicar vegetativamente nuevas variedades que se diferencian de aquellas que las han originado, por algunas características como color de fruto y otras vegetativas como vigor y arquitectura de la planta. Sin embargo, las mutaciones pueden ser regresivas y causar la aparición de caracteres negativos. Dichas mutaciones, al no ser eliminadas dentro del ámbito de una determinada variedad pueden conducir a la formación de biotipos con caracteres de bajo valor y diferentes, por lo que la variedad misma ya no presenta homogeneidad genética.

Por otra parte, el material de propagación recolectado de plantas madres con virosis transmite esta fisiopatía a las descendencias agámicas, excepto la micropropagación a través de meristemas. En la propagación vegetativa es necesario considerar el principio de la polaridad, es decir, los materiales empleados (estacas, púas) deben conservar la orientación que tenían en las plantas madres. Se ha determinado que invirtiendo la polaridad de dichos órganos vegetativos se disminuye la tasa de multiplicación en los diferentes métodos de propagación vegetativa (Ellena, 1998).

La multiplicación vegetativa comprende diferentes métodos de auto-enraizamiento del material vegetal (acodos, estacas, micropropagación), de los que se desarrollan plantas auto-enraizadas de variedades de interés para plantaciones comerciales, materiales para injerto y portainjertos clonales (Hartman y Kester, 1981).

9.2.1. Acodo aéreo

Este método de propagación contempla circundar un brote mediante anulación o incisión, con aplicación de un sustrato fino y húmedo envuelto en un film plástico, con el fin de estimular la emisión de raíces adventicias. Una vez emergidas las raíces, el brote se corta por debajo del punto de emergencia de éstas. Dicho sistema de propagación se utiliza preferentemente para programas de selección clonal; no es aplicable a nivel comercial por su gran laboriosidad y complejidad de ejecución.



Foto 1. Acodo aéreo en avellano europeo.

Fuente: Dr. Alesandro Roversi, Italia.

9.2.2. Acodo simple

El acodo simple se obtiene plegando en forma de arco un brote largo y flexible, para enterrar la sección media desde la cual se desarrollarán raíces adventicias. Este método se emplea ocasionalmente para la propagación comercial del avellano, por su baja tasa de multiplicación. Sin embargo, permite obtener plantas de alta calidad (Bergamini y Cristofori, 1968; Fregoni y Zioni, 1968).

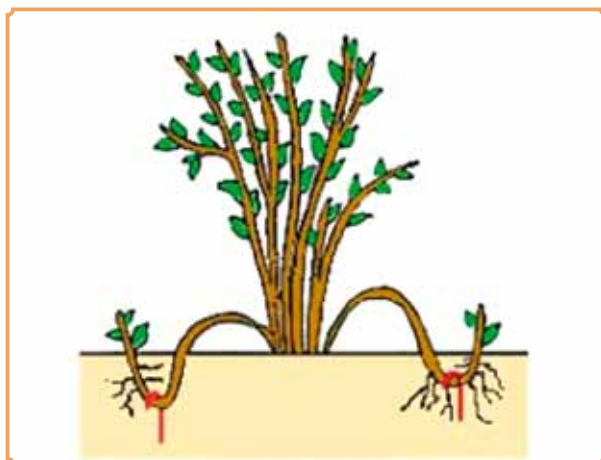


Figura 1. Acodo simple

9.2.3. Acodo de montículo

Esta técnica es utilizada por la mayoría de los viveros especializados, particularmente para la obtención de portainjertos clonales (Hartmann y Kester, 1964). Es el método más antiguo y más empleado para propagar el avellano, particularmente con el uso del anillado en la base de los hijuelos y utilización de sustratos que permiten el etiolado de los tejidos basales y con ello los rendimientos por planta madre. Con este sistema se han logrado mayores rendimientos (tasas de multiplicación) de las plantas madres que con el acodo simple. Sin embargo, las plantas obtenidas son de inferior calidad y mayor requerimiento de mano de obra que aquellas logradas con el acodo simple (Manzo *et al.*, 1974).

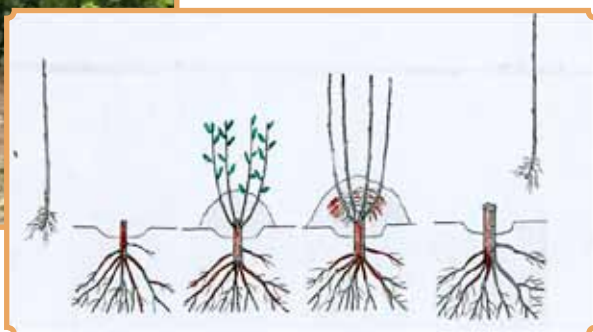


Foto 2. Acodo en montículo

En este sistema las plantas madres se ubican en el suelo, con un marco de plantación de 1,5-2 m x 3-4 m (entre y sobre hileras respectivamente), en donde crecen por uno o dos años. Posteriormente, en invierno durante el periodo de receso vegetativo la planta se rebaja a nivel de suelo. Los hijuelos o brotes desarrollados en la primavera se aporcan evitando la lignificación de los tejidos basales, con el fin de favorecer el proceso de etiolación. Como ya se indicó, se puede recurrir al estrangulamiento de brotes en la parte basal mediante anillado para estimular el proceso de rizogénesis. Los brotes débiles no se anillan y se dejan como tirasavia. En otoño-invierno, las plantas se descalzan y se obtienen brotes con raíces adventicias, que sucesivamente se establecen en vivero y se dejan crecer durante una temporada para lograr un adecuado tamaño y desarrollo radicular. Ello permite un rápido crecimiento de las plantas, luego de establecidas en huertos comerciales. A través de este método de propagación se pueden producir alrededor de 15-20 plantas año⁻¹, en plantas madres de cuatro a cinco años de edad. Es un método lento de multiplicación, especialmente para el desarrollo masivo de nuevas selecciones y variedades. Estudios en ejecución efectuados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca han determinado las tasas promedios de multiplicación por planta madre y buena calidad de plantas (altura y diámetro del tronco) durante una temporada de crecimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tasa de multiplicación y calidad de plántulas derivadas de acodo de montículo.

| Variedad | Tasa de multiplicación/planta madre |
|----------|-------------------------------------|
| RST 1 | 30 |
| RST 2 | 38 |

En cepas antiguas de los cultivares de las variedades Barcelona y Tonda di Giffoni se han logrado tasas de multiplicación promedio de 20 plántulas enraizadas para la variedad Barcelona y 15 para la variedad Tonda di Giffoni. Para el caso de portainjertos RS T1 y RS T2 (selecciones INIA), se han obtenido tasas de multiplicación de 30 y 38 plántulas enraizadas de calidad por planta madre respectivamente.

9.2.4. Acodo por trinchera

Este método se utiliza también a nivel de viveros comerciales para la propagación del avellano. El sistema se inicia con plantas establecidas inclinadas y distanciadas entre 0,7-1,0 m una de otras, en surcos poco profundos, distanciados entre ellos en alrededor de 1,50 m. Al segundo año, previo a la brotación, las plantas son inclinadas horizontalmente en los respectivos surcos recortando los brotes laterales más débiles y despuntando o apitonando aquellos más vigorosos. Luego, las plantas son totalmente cubiertas con un sustrato de tierra fina. Durante la brotación, los brotes que emergen de las yemas vegetativas de estas plantas emergen del suelo y crecen velozmente. De manera sucesiva, cuando los brotes han alcanzado mayor altura se cubren nuevamente con tierra en torno a su base, con el fin de lograr una buena etiolación. En la zona basal de los brotes se desarrollarán abundantes raíces y en el periodo de caída de hojas (latencia) se extraen los nuevos materiales, cortándolos a la base de las plantas madres (Hartman y Kester, 1981; Roversi y Mozzone, 1998). En la actualidad es un sistema de menor eficiencia, comparado con nuevos métodos de propagación para el avellano como es la micropropagación (Avanzato e Preka, 1999), que se describirá con detalle más adelante en este libro.

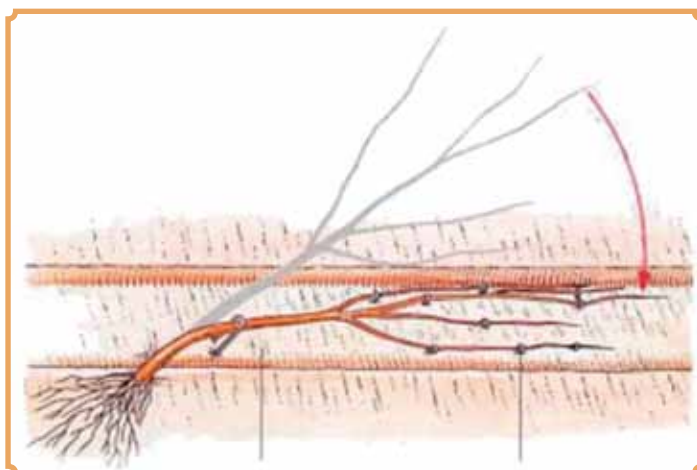


Figura 2. Acodo por trinchera

9.2.5. Hijuelos

Este sistema de propagación aprovecha la capacidad rizogénica de los hijuelos, es decir de brotes vigorosos que emergen directamente de las raíces de los árboles de avellano. El empleo de esta técnica de multiplicación es muy limitada, debido a una baja cantidad de hijuelos de calidad que se pueden obtener por planta (Alvarez Requejo, 1965; Lagerstedt, 1987; Tombesi, 1985; Bignami *et al.*, 1999).



Foto 3. Hijuelos en avellano, para propagación de plantas. Tallo libre con hijuelos.

Fuente: INIA Carillanca

9.2.6. Estacas

La estaca es una sección de un órgano vegetativo (brote, rama) que luego de haber sido recolectada de una planta madre, es establecida para la emisión de raíces y brotes con el fin de formar una nueva planta autónoma. Para el caso del avellano europeo se pueden utilizar estacas semi-leñosas cuando provienen de brotes parcialmente lignificados y leñosos, y han sido formadas de secciones de ramos o de ramas. En general, las estacas semi-leñosas han presentado una mayor capacidad de emitir raíces respecto a aquellas leñosas. Sin embargo, se ha evidenciado que las primeras tienen una mayor posibilidad de sufrir estrés cuando las raíces no se forman rápidamente. En el proceso de enraizamiento las estacas producen en su base un tejido denominado callo cicatricial, que es índice de una intensa proliferación celular pero no necesariamente de una elevada capacidad de enraizamiento. La capacidad de enraizar es una característica genética que varía de especie en especie y entre variedades, relacionada a factores exógenos tales como: estado nutricional de las plantas madres de las cuales se obtienen los materiales de propagación, época de recolección y edad de las estacas, técnicas utilizadas para el enraizamiento de las estacas y condiciones micro-ambientales durante el proceso de radicación (Cristofori *et al.*, 2009).

En general, las estacas leñosas se recolectan de las plantas madres en el período de reposo vegetativo y son conservadas estratificadas o en cámaras de frío a temperatura de 0-4°C. Estos materiales se establecen a fines de invierno. En el caso de una rápida emisión de raíces, previo a la brotación, se ha determinado que las estacas no sufren estrés y se desarrollan adecuadamente. Al contrario, se ha determinado que aquellas estacas leñosas que emiten brotes antes que raíces mueren luego de haber agotado las reservas nutricionales e hídricas. En el caso del avellano europeo, que por lo general emite raíces lentamente y en forma dificultosa, se ha evidenciado que las estacas sometidas a temperatura basal (20°C) en las camas de propagación, emiten raíces previas a la brotación de las yemas alcanzando una mayor tasa de enraizamiento y posteriormente una mejor ambientación. Por otro lado, se ha demostrado que las estacas semi-leñosas provistas de hojas están sujetas a una elevada transpiración y en consecuencia a un mayor estrés si el enraizamiento no ocurre rápidamente. Para facilitar el proceso de enraizamiento de las estacas se han utilizado técnicas como la temperatura basal (resistencia eléctrica) y nebulización (Ercisliy Read, 2001; Hartman y Kester, 1981).



Foto 4. Temperatura basal mediante resistencia eléctrica.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 5. Sistema de nebulización automática bajo invernadero y micro-túneles.

Fuente: INIA Carillanca

La técnica de la temperatura basal ha tenido buenos resultados con estacas semi leñosas de diferentes especies frutales con dificultad de enraizar. La nebulización consiste en la aspersión de gotas finas de agua sobre las estacas establecidas en un bancal de enraizamiento, con el fin de reducir la transpiración de las hojas de las estacas, evitando así el estrés hídrico y el calentamiento del material vegetal. Adicionalmente, esta técnica permite mantener la temperatura con niveles compatibles al desarrollo de diferentes procesos fisiológicos.

El sustrato de enraizamiento deber ser muy permeable para evitar un mal drenaje, que es altamente perjudicial para el proceso de rizogénesis del material vegetal. Los principales sustratos utilizados en las camas de propagación son: arena gruesa, perlita, vermiculita, turba, lana de coco, entre otros inertes.

Luego del proceso de enraizamiento las estacas enraizadas deben pasar por un período de aclimatado gradual, con reducción en los ciclos de nebulización y luego trasplante a contenedores y establecimiento en invernadero o sombreaderos, donde las condiciones ambientales son más parecidas a las naturales (cielo abierto).

Las estacas de avellano europeo con dificultad para enraizar son tratadas previamente con hormonas a su establecimiento en las camas de propagación. Los principales productos utilizados a base de sustancias promotoras del enraizamiento, son el ácido beta-indol butírico (IBA) y el ácido alfa-naftalenacético (IAA). Estos compuestos empleados en forma líquida o en polvo se aplican a nivel de la base de las estacas. La dosis de los compuestos rizógenos debe ser baja (500-1.000 ppm), (Ellena, 1998).



Foto 6. Aplicación de hormonas en polvo (izquierda) y líquida (derecha) para estimular enraizamiento en estacas de avellano europeo.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 7. Multiplicación por estacas en camas de propagación. Centro Regional INIA Carillanca, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

La función de estos compuestos es aumentar la potencialidad rizógena latente de las estacas, con el fin de asegurar un mayor porcentaje de enraizamiento.

A pesar que la propagación por estacas ha tenido resultados experimentales aceptables, estos no se han empleado a escala comercial (Tombesi, 1967; Howard, 1968; Roversi, 1969 y 1972; Lagerstedt, 1970; Germain *et al.*, 1974; Piskornik *et al.*, 1982a; Rodríguez, 1983; Howard *et al.*, 1985; Solar *et al.*, 1994, Kantarci y Ayfer, 1994). Estudios realizados en el extranjero han evidenciado un aumento en el porcentaje de enraizamiento con tratamientos en dosis altas de auxina (2.500 ppm de IBA) con estacas de 25 cm de longitud y temperatura basal entre 21-27 C°. A la vez, en estudios desarrollados con estacas semi-leñosas (sub-apicales) de la variedad Nocchione, colectadas en otoño y tratadas con dosis de 1.000 y 2.000 ppm de IBA, se han determinado porcentajes de enraizamiento entre 50 y 46,7% respectivamente (Cristofori *et al.*, 2009). En la variedad Tonda di Giffoni, en estacas de un año de edad tratadas con 2.000 ppm de IBA, se ha obtenido una tasa de enraizamiento de 46,7%, formación de callo (46,7%) y calidad de raíz (3,7 raíces por estaca). Al contrario, en la variedad Tonda Romana sometida a los mismos tratamientos se determinó un bajo porcentaje de enraizamiento (20%) (Cristofori *et al.*, 2009).

Otros experimentos realizados por los mismos autores, con estacas semi-leñosas colectadas en otoño de la variedad Tonda Gentile Romana, tratadas con 1000 ppm de IBA y 1.600 ppm de putrescina, han mostrado un porcentaje alto de enraizamiento (76,6%), (Cristofori *et al.*, 2009). Los tratamientos con putrescina también han influenciado positivamente la capacidad de enraizamiento (60%) en la variedad Nocchione, en estacas semi-leñosas de un año de edad, con tratamientos de 1.000 ppm de IBA. No se observaron efectos positivos para esta variedad cuando las estacas fueron tratadas con putrescina en dosis de 1.600 ppm (Cristofori *et al.*, 2009). A la vez, estudios recientes realizados con el cv. Tonda Gentile delle Langhe (TGL), determinaron que los tratamientos con IBA (1.000 ppm y 500 ppm) no conducen a diferencias significativas en el porcentaje de enraizamiento (76,9 y 75,6%, respectivamente). No obstante, con la dosis más baja de IBA (500 ppm) se logró una mayor retención de yemas en las estacas (64,4 %), que con la dosis más alta de IBA (48,1%), equivalente a 1.000 ppm (Contessa *et al.*, 2014). Por otra parte, en estudios realizados con inhibidores del etileno (1-MCP) y sales de plata (AgNO₃) y auxina (IBA) se obtuvo un mayor porcentaje de retención de yemas en las estacas tratadas (43,8 y 45%) respecto de los testigos sin tratamiento (31,3 y 30 %, respectivamente) (Contessa *et al.*, 2014; Ercisli y Read, 2001; Kantarci y Ayfer, 1994).

Los resultados de estos estudios indican la acción de las auxinas (IBA) sobre la abscisión de yemas luego que las estacas han sido tratadas con

esta hormona. Es conocido que las auxinas pueden afectar la producción de etileno (Ecker, 1995; Ellena, 1998). En especies leñosas ornamentales se ha observado que el etileno causa estrés y ocasiona sucesivamente caída de hojas, aborto de yemas y abscisión de yemas (Serek *et al.*, 2006).

Trabajos de la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca han evidenciado caída prematura de hojas en estacas semi-leñosas de avellano de la selección RS T1 tratadas con dosis altas de auxina (1000-2.000 ppm durante la fase de inducción radicular). Ello se debería a una elevada producción de etileno durante esta fase, con ocurrencia de un fuerte estrés con senescencia anticipada de la lámina foliar de las estacas, en concordancia con lo informado por otros investigadores (Yang y Hoffman, 1984). Además, se ha verificado que la producción de etileno aumenta súbitamente después de la ocurrencia de estrés causado por productos químicos, heridas, enfermedades, radiación ionizante, excesos térmicos, deshidratación, entre otros y en materiales vegetales tratados con dosis elevadas de auxinas. También se ha demostrado que tejidos vegetales tratados con dosis altas de auxina han presentado un aumento de la enzima ACC-sintetasa, estimulando la producción de etileno (Alpi *et al.*, 1992).

La producción de etileno, luego de ocurrencia de daños a nivel de tejidos vegetales, se atribuye a la inducción de la síntesis de la ACC-sintetasa, que es la enzima que controla la velocidad de biosíntesis del etileno. Por otra parte, se ha demostrado que el aumento de la ACC-sintetasa ocurre previamente al incremento de la curva de producción del etileno en los tejidos vegetales. Tal situación permitiría hipotetizar que la regulación de la senescencia es producto de una modificación a nivel de los mecanismos de biosíntesis del etileno (Alpi *et al.*, 1992).

Para evitar el efecto negativo del etileno sobre la radicación en estacas de especies leñosas, se ha demostrado que algunos inhibidores de este gas permiten bajar la incidencia de abscisión de yemas, defoliación prematura de hojas y aumento en las tasas de enraizamiento, como ya se mencionó. Existen diversos factores químicos y ambientales que tendrían la capacidad de inhibir la acción del etileno. Se ha determinado que estos factores impiden el ligamiento del gas a sus sitios activos y que obstaculizan además el metabolismo celular que sería esencial para la actividad biológica (Beyer y Blomstrom, 1980). Los inhibidores de la acción del etileno han sido empleados a nivel experimental como una alternativa a los inhibidores de la biosíntesis, en condiciones en que el etileno podría influenciar negativamente el crecimiento y morfogénesis de los tejidos. Por ejemplo, se ha relevado que iones de plata, bajo la forma de tiosulfato de plata (AgS_2O_3) o nitrato de plata (AgNO_3), han permitido inhibir la acción del etileno en las plantas (Beyer, 1976a, b). Estudios recientes, realizados por el equipo de la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca, demostraron una acción positiva del nitrato de plata, evitando el desyeme y caída prematura

de las hojas en selecciones de avellano europeo, respecto de la condición del testigo no tratado con este compuesto. Los mejores resultados fueron obtenidos con la selección RS T1 (INIA), con un 57,6% de las estacas sin desyeme prematuro y sobrevivencia del material, respecto de lo ocurrido con el testigo, con 100% de desyeme y muerte total de estacas.

La capacidad de enraizamiento y caída de yemas parece estar bajo control genético e influenciado también por los métodos de propagación utilizados (Lagerstedt, 1982; Cristofori *et al.*, 2010; Contessa *et al.*, 2011). Por otra parte, se ha evidenciado un efecto positivo de un sustrato de enraizamiento liviano o poroso sobre la sobrevivencia de las estacas, debido a una mayor oxigenación en la base de éstas durante el proceso de diferenciación radicular (Contessa *et al.*, 2014). Los mejores resultados se han logrado en sustratos de vermiculita y perlita (1:1) que tienen buena aireación y permiten una adecuada retención de humedad, evitando daños (podredumbres) a nivel basal de los materiales en proceso de enraizamiento (Contessa *et al.*, 2014; Ellena, 1998).

En ensayos recientes, realizados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca con diversos cultivares, empleando estacas semi-leñosas de un año y tratadas con 1.000 y 2.000 ppm de IBA y 1.600 ppm de putrescina, no se encontraron efectos positivos sobre el porcentaje de enraizamiento (promedio 17%), en contraste con trabajos realizados en el extranjero con porcentajes de enraizamiento que varían entre 43,8 y 76,9%, dependiendo de las variedades utilizadas. Sin embargo, en este experimento, las variedades utilizadas fueron diferentes a aquellas consideradas en experimentos del extranjero. Los estudios continúan, con el fin de ajustar los protocolos para los diferentes cultivares y mejorar la tasa de enraizamiento y sobrevivencia sucesiva de los materiales.

Al parecer, en función de los resultados obtenidos por el grupo de trabajo de INIA y de otros realizados en el extranjero, el porcentaje de enraizamiento es genotípicamente dependiente, de manera particular en variedades híbridas con capacidad rizogénica baja como también su posterior tasa de sobrevivencia. La capacidad rizogénica estaría asociada principalmente a equilibrios hormonales internos, diferentes sistemas enzimáticos y numerosos compuestos metabólicos (Bhattacharya, 1988; Fabbri *et al.*, 1992). En relación a la influencia de las hormonas sobre la rizogénesis adventicia existe abundante referencia bibliográfica. Sin embargo, las diversas hipótesis no han sido suficientemente verificadas. A modo de ejemplo, una disminución de la actividad IAA oxidasa promovería la multiplicación de células meristemáticas y aumentaría el transporte basípeto de compuestos antioxidantes (Mato y Vieitez, 1986), estos últimos inhibirían la oxidación del IAA y otros procesos de tipo oxidativo colegados con el metabolismo del IAA. Las hormonas que parecen desarrollar un rol

importante en la rizogénesis son: ácido indol-3-acético (IAA), las citoquininas y el etileno durante la fase de inducción radicular (Ellena, 1998; Ellena *et al.*, 2014). A nivel de enzimas las moléculas mayormente asociadas son IAA oxidasas (IAAox), peroxidasas (POD) y las polifenoloxidasas (PPO) (Hartmann *et al.*, 1981, Ellena, 1998).

9.2.7. Micropropagación

La micropropagación es una técnica *in vitro* para la cual se emplean porciones apicales de brotes o meristemas de ápices de yemas, estos últimos cuando el objetivo es la obtención de plántulas libres de virus. En relación a las técnicas de propagación tradicionales (injerto, estacas, acodo), la principal ventaja es la obtención de plantas (portainjertos, variedades auto-enraizadas), a partir de un número reducido de plantas madres, en breve tiempo y en un espacio reducido con la posibilidad de producir un elevado número de plantas. Adicionalmente, mediante la micropropagación es posible obtener material libre de patógenos como hongos y virus (De Paoli *et al.*, 1994; Ellena, 1998).

Dicha técnica permite la producción de plantas auto-radicadas de especies y variedades difícilmente multiplicables con los métodos tradicionales. Otra importante ventaja es la posibilidad de propagar material vegetativo independiente de las estaciones del año. Este tipo de multiplicación se realiza bajo condiciones ambientales totalmente controladas, que permite programar los ciclos de producción en función de la demanda del mercado. Además, con esta técnica se puede manejar gran cantidad de material en espacios reducidos y mantenerlo a bajas temperaturas, incluso por períodos prolongados hasta su utilización. A nivel comercial, la micropropagación permite la difusión de nuevos cultivares en corto tiempo. En relación a las desventajas, ocasionalmente pueden encontrarse plantas con variaciones genéticas respecto a la planta madre. Este fenómeno es causado principalmente por las elevadas tasas de proliferación que inducen también la multiplicación de posibles genotipos variantes y modificaciones epigenéticas, temporáneas con efectos colaterales negativos como el rejuvenecimiento (Swartz, 1991), no siempre evidenciable durante las diferentes fases de la micropropagación. Un segundo aspecto es la imposibilidad de emplear dicha técnica en especies recalcitrantes a la micropropagación *in vitro* (De Paoli *et al.*, 1994). El empleo de esta herramienta presenta costos iniciales altos, debido a la necesidad de contar con infraestructura y equipos de elevado valor. Adicionalmente, se requiere de personal especializado con fuerte incidencia en el costo final de la planta (George, 1993; De Paoli *et al.*, 1994; Ellena 1998).

9.2.7.1. Micropropagación del avellano

El empleo de la técnica de micropropagación en avellano presenta aún algunos problemas no resueltos (Chevre *et al.*, 1983; San José *et al.*, 1984; Vieitez *et al.*, 1984; Qiguang *et al.*, 1986; Strullu *et al.*, 1986; Mullins, 1987; Chauvin y Salesses, 1988; Ballester *et al.*, 1989; Cinelli y Pasqualetto, 1993; Ellena 1998), ya sea por dificultad en la esterilización de los explantes, o emisión de compuestos fenólicos al medio de cultivo, con la consiguiente acción tóxica en los tejidos de los explantes (Vieitez y Vieitez, 1980; Vieitez *et al.*, 1984; Piagnani y Eccher, 1986; Cinelli y Pascualetto, 1993; Yu, 1993). La eliminación del etanol para la esterilización de superficie ha permitido disminuir la formación de fenoles y por consiguiente la oxidación de los tejidos (Bassil y Rebhuhn, 1991). De manera adicional, en avellano europeo se han presentado bajas tasas de multiplicación con tendencia de alargamientos de los brotes (Zuccherelli, 1990).



Foto 8. Establecimiento de material *in vitro* de avellano europeo (izquierda) con elongación de brote (derecha). Laboratorio de Fruticultura INIA Carillanca.

9.2.7.2. Medios de cultivo

Diversos investigadores han estudiado diferentes medios de cultivo en avellano, con el fin de evaluar su influencia sobre la proliferación y elongación de los brotes, a objeto de definir un protocolo válido para la fase

de multiplicación de esta especie (Pérez *et al.*, 1983, 1987; Al Kai *et al.*, 1984; Bassil *et al.*, 1991; Yu, 1993). En avellano europeo se han utilizado preferentemente medios de cultivo con la composición salina de Murashige y Skoog (1962), Driver (1984), Cheng (1975), Yang *et al.* (1986). Buenos resultados se han logrado con el medio MS, modificado con un elevado contenido en Ca, similar a aquel empleado por Yang *et al.* (1986); los brotes cultivados sobre este medio han presentado un mejor crecimiento que aquellos cultivados sobre un medio MS (Bassil y Rebhuhn, 1991). Por otra parte, sustituyendo el Fe-EDTA con Fe-sequestrene ha sido posible mejorar el aspecto del material vegetal, particularmente el color de los brotes, con un verde más intenso (Bassil y Rebhuhn, 1991; Al Kai *et al.*, 1984).

Yu (1993) y Ellena (1998 y 2014) han reportado que mediante el empleo del medio de cultivo de Driver y Kuniyuki (1984) DKW, modificado y adicionado con BA (1,0-3 mg/L⁻¹) e IBA (0,01 mg/L⁻¹) se han obtenido las mejores tasas de multiplicación inicial y durante los sub-cultivos sucesivos para el mantenimiento del material vegetal. Adicionalmente, el uso de glucosa y fructosa en sustitución de sacarosa han permitido obtener una mejor proliferación y elongación de los brotes. El crecimiento de los brotes ha sido superior al utilizar glucosa como fuente de carbohidrato, que al considerar fructosa.

El medio de cultivo puede ser sólido o líquido y debe asegurar una buena aireación a los tejidos vegetales. Generalmente, el medio de cultivo es solidificado mediante la adición de agar, un polisacárido de origen vegetal que se disuelve en agua a temperaturas de 90-100°C y solidifica con temperatura inferior a 45°C. Las dosis empleadas (0,5-0,8%) varían en relación a la densidad y al pH del sustrato de cultivo. Se ha determinado que este agente solidificante es capaz de influir sobre la proliferación de los explantes *in vitro*, controlando la absorción de compuestos nutritivos y agua y adicionalmente al pH del medio de cultivo, que normalmente tiende a acidificar con el autoclavado (Singha, 1982). Otros productos utilizados como agentes para solidificar los medios de cultivo son la pectina, de origen vegetal obtenida de sub-productos de la elaboración de la fruta, que ha sido empleada en mezcla con agar, principalmente por menor costo a nivel comercial (De Paoli *et al.*, 1994). Como producto alternativo se puede utilizar Gelrite, que es un heteropolisacarido muy puro y activo a dosis inferiores que el agar (0,2%). Para gelificar requiere de una fusión obtenida por calentamiento de la suspensión en presencia de sales de Mg y Ca en solución. En general, los agentes gelificantes difieren entre sí en su composición mineral, por lo tanto pueden alterar la composición química del medio de cultivo y también de aquella de los explantes.

9.2.7.3. Selección del material vegetal

Para el avellano se ha determinado que el mejor material para establecer *in vitro* son brotes o inter nudos con yemas axilares individuales recolectadas al inicio de la estación vegetativa (septiembre-octubre), particularmente de material injertado y mantenido bajo condiciones controladas en invernadero. Estos han presentado un menor grado de oxidación y contaminación (Yu, 1993). Trabajos recientes iniciados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca han permitido mejorar la calidad y condición del material vegetal de avellano para establecer *in vitro*, mediante el empleo de explantes provenientes de plantas madres manejadas bajo condiciones controladas en invernaderos climatizados y con programas fitosanitarios permanentes. El objetivo es disminuir la carga de patógenos presentes en estos materiales, especialmente bacterias y hongos alojados exógena y endógenamente.



Foto 9. Planta madre de avellano (izquierda) y bajo condiciones controladas en cámara de crecimiento (derecha) para extracción de explantes.

Fuente: INIA Carillanca

9.2.7.4. Preparación y establecimiento de explantes

El material vegetal (brotes), recolectado en campo o de plantas madres bajo invernadero; se lava con soluciones esterilizantes (hipoclorito de sodio, cloruro de mercurio), con el fin de eliminar patógenos eventualmente

presentes sobre la superficie de los brotes. Luego es cortado para disponer de micro-estaquillas o ápices meristemáticos, establecidos en un medio de cultivo con agar enriquecido con macro y micro minerales, vitaminas, carbohidratos y bioreguladores. Estas labores se realizan bajo condiciones estériles en cámara de flujo laminar. Se ha determinado que la edad de la planta madre y el origen del explante ejercen una notable influencia sobre la capacidad de regeneración (Rosati y Togoni, 1979; George, 1993; De Paoli *et al.*, 1994).

La fuente de los explantes tiene un importante efecto sobre el éxito del establecimiento del cultivo. Estudios realizados con plántulas provenientes de semillas y material juvenil han determinado una mayor facilidad de establecimiento respecto a materiales de origen adulto (Thorpe y Hang, 1990). Se ha evidenciado que la contaminación y oxidación son problemas habituales en los cultivos *in vitro* del avellano, que difiere significativamente de acuerdo a la fuente de los explantes (Rodríguez *et al.*, 1989).

Para la multiplicación de esta especie se han utilizado brotes provenientes de plántulas de semilla, material juvenil y adulto. La propagación de explantes provenientes de semilla ha permitido un buen establecimiento y proliferación del material (Anderson, 1984; Al Kai *et al.*, 1984; Pérez *et al.*, 1985). En este tipo de material no se han observado problemas serios de contaminación por microorganismos como bacterias, levaduras y hongos alojados endógenamente en las semillas. La esterilización de los explantes provenientes de semillas se ha realizado con éxito utilizando etanol al 85 %, por períodos de 5 minutos e hipoclorito de sodio (1-5%) con unas gotas de Tween 20 por 20 minutos y enjuague posterior con agua destilada y estéril por 3-4 veces (Rodríguez *et al.*, 1989).

En relación a material juvenil y adulto, se ha evidenciado contaminación y efectos de toxicidad en los tejidos de los explantes por los agentes de esterilización (Rodríguez *et al.*, 1989). Cabe señalar que Messeguer y Mele (1983 y 1987), Pérez *et al.* (1987), Díaz-Sala *et al.* (1990) realizaron estudios para reducir la contaminación y oxidación de material adulto de avellano. Al respecto, Messeguer y Mele (1983) obtuvieron rangos de contaminación del 50% en brotes del año del cv. español Negret manejado bajo condiciones controladas y desinfección de los materiales (brotes de 2 cm de longitud), en una solución de quinolina (100 mg l⁻¹) por 4 horas y con enjuague repetido con agua estéril y posteriormente desinfección con hipoclorito de sodio 5% por un período de 20 minutos y enjuague con agua esterilizada por 2-3 veces. Estos autores han evidenciado que los materiales recolectados en otoño, con brotes de mayor diámetro, han logrado los mejores resultados durante la fase de establecimiento de los explantes en el medio de cultivo. Resultados similares fueron obtenidos con brotes (>4mm) de material adulto (Díaz-Sala *et al.*, 1990, Pérez *et al.*, 1987; Bassil y Rebhuhn, 1991) alcanzando un 70% de explantes estériles

libres de contaminación, durante la fase de establecimiento, con brotes vegetativos de 12 meses de plantas madres del cv. Negret, manejadas bajo condiciones controladas en invernadero. Por otra parte, diferentes autores han reportado que brotes colectados en receso vegetativo, con el comienzo del período lluvioso han presentado una mayor formación de compuestos fenólicos y oxidación de yemas, particularmente con la utilización de etanol para la esterilización superficial de los tejidos (Bassil y Rebhuhn, 1991). La omisión de etanol durante el proceso de esterilización superficial ha permitido disminuir la formación de fenoles y oxidación de tejidos (Bassil y Rebhuhn, 1991). Por otro lado, tratamientos de esterilización realizados en brotes de material adulto de campo, provenientes de crecimiento forzado en cámaras de crecimiento, han evidenciado una mejor capacidad morfogénica de los explantes y menor contaminación y oxidación de los tejidos (Díaz-Sala *et al.*, 1990).

En el Laboratorio de Fruticultura de INIA Carillanca se ha puesto a punto un protocolo para la desinfección superficial de explantes de avellano europeo, que ha permitido evitar en gran parte la oxidación de los tejidos, particularmente de yemas axilares (Ellena *et al.*, 2016 en prensa). Este protocolo incluye en la solución desinfectante (hipoclorito de sodio al 5%) la adición de compuestos antioxidantes, como ácido ascórbico o ácido cítrico (200 mg/l), logrando disminuir significativamente el grado de contaminación en materiales adultos de brotes de 6 meses de crecimiento, provenientes de plantas madres del cv. Barcelona, manejada bajo condiciones controladas en invernadero climatizado y sometidas a podas de renovación. Ello con el fin de contar con material más reactivo o menos recalcitrante al ser establecido en medios de cultivo asépticos.



Foto 10. Desinfección superficial con lavado del material en laboratorio.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 11. Establecimiento de material *in vitro* bajo cámara de flujo laminar.
Fuente: INIA Carillanca



Foto 12. Fase de establecimiento de embriones *in vitro*.
Fuente: INIA Carillanca



Foto 13. Fase de establecimiento de brotes adultos de avellano europeo cv. **Tonda di Giffoni**.
Fuente: INIA Carillanca

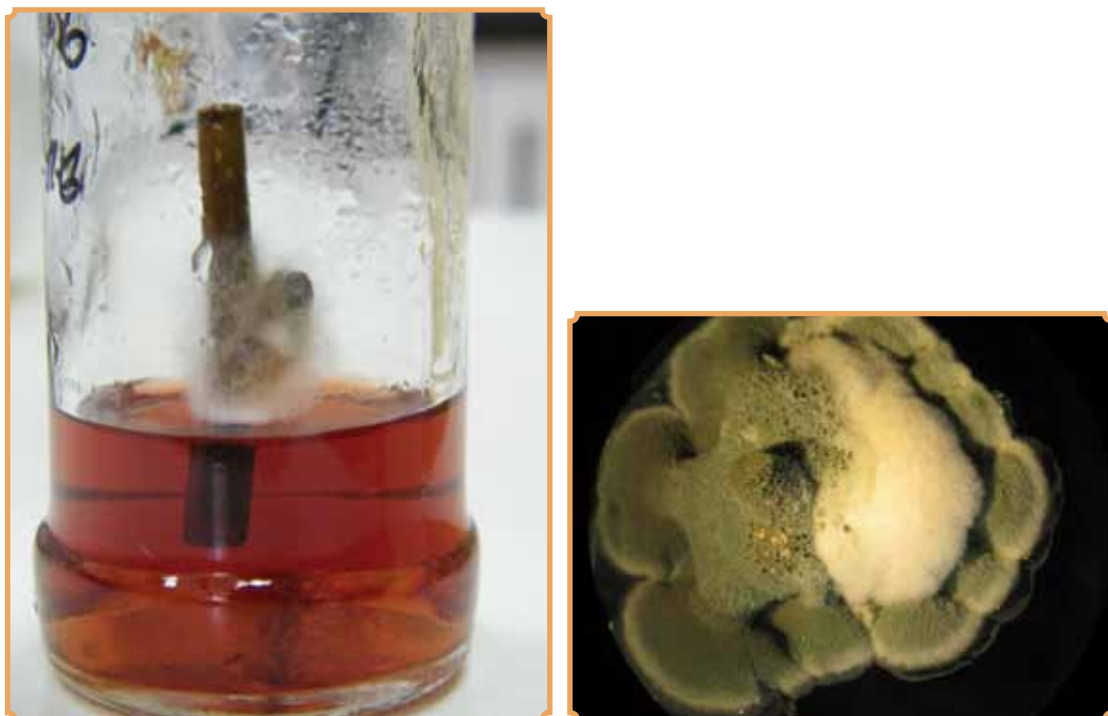


Foto 14. Contaminación por hongos durante la fase de establecimiento.

Fuente: INIA Carillanca

9.2.7.6. Multiplicación de los explantes

El material proveniente de la fase anterior (preparación de explantes) es desarrollado en cámaras de crecimiento con temperaturas entre 20 y 25°C; y con iluminación de 4.000 lux, con un fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad. El medio de cultivo de la fase de multiplicación contiene particularmente citoquinina (por lo general benzilaminopurina), esencial en la fase de proliferación de los brotes. Tal compuesto ha mostrado tener capacidad de estimular la división y la diferenciación celular, desarrollo de yemas axilares con reducción de la dominancia apical de los brotes; eventualmente estos medios contienen también bajas dosis de ácido giberélico y auxinas (ejemplo IBA) con respectivos minerales y carbohidrato. En alrededor de 20-25 días los explantes (individuales) proliferan y producen entre 2-3 brotes adventicios axilares que pueden ser separados y trasplantados en nuevos vasos con medio de cultivo fresco para sucesivos ciclos de multiplicación o proliferación. Investigaciones realizadas en avellano europeo han determinado una buena tasa de multiplicación en medios de cultivo DKW modificado (Ellena, 1998; Ellena *et al.*, 2014), con el medio NRM (Nas y Read, 2004) con altas dosis de cobre (5,1 mg/L⁻¹ de CuSO₄ * 5H₂O) de myo-inositol (800 mg/L⁻¹) con obtención de explantes de buena calidad para las sucesivas fases de proliferación y enraizamiento del material. Además, a través del medio de cultivo NCGR-COR, sustrato de

cultivo DKW modificado por sustitución de glucosa por sucrosa (30 g/L), y de la fuente de hierro (Sequestrene) 138 Fe/L por FeEDTA y 5g/L de agar por Gelrite, BA (5 mg/L), también se ha observado un efecto positivo de NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y elementos menores en las tasas de proliferación y buena calidad del material vegetal (Hand *et al.*, 2014; Hand y Reed, 2014).

En relación al calcio, se ha evidenciado un mejor comportamiento de los explantes a concentraciones bajas (Hand *et al.*, 2014). La utilización de citoquininas (BA) es esencial durante la fase de proliferación, porque tienen la capacidad de estimular la división y diferenciación celular, desarrollo de yemas axilares, estimular la formación de yemas adventicias directamente de tejidos somáticos y reducción de la dominancia apical de los explantes. Además, presentan la capacidad de bloquear el enraizamiento, particularmente en dosis elevadas (Ellena, 1998).



Foto 15. Cámara de crecimiento climatizada con material de avellano en proliferación (Laboratorio de Fruticultura INIA Carillanca).

Diferentes autores han encontrado que la tasa de multiplicación del avellano está influenciada por múltiples factores: genotipo, orientación de los explantes en el medio de cultivo y concentración de citoquininas (Bassil y Rebhuhn, 1991; Pérez *et al.*, 1985). Ha sido determinado que los explantes colocados horizontalmente en el medio de cultivo han presentado desarrollo de yemas axilares y brotes sin formación de callo en la parte basal del explante, en contraste con aquellos brotes establecidos verticalmente que

presentan formación de callo en su base. Con la utilización de material sin callo la multiplicación de éste puede ser empleada para el mantenimiento de la uniformidad genética. En el caso de formación de callo, puede aumentar la variabilidad somaclonal (Bassil y Rebhuhn, 1991). Por ello, es preferible utilizar el primer método de multiplicación (explantes horizontales). Estudios recientemente iniciados en el laboratorio de Fruticultura de INIA Carillanca indican una mejor respuesta de los materiales establecidos horizontalmente (Ellena *et al.*, 2016 en prensa).

Por otra parte, los explantes cultivados en medios líquidos mediante la técnica de la inmersión temporal (SIP), han evidenciado una mayor tasa de proliferación, longitud de brotes, mayor número de nodos y obtención de brotes no hiperhidratados, en comparación con medios sólidos de proliferación (Caboni *et al.*, 2009; Garrison *et al.*, 2013; Latawa *et al.*, 2016).

La semi automatización de los sistemas de propagación *in vitro* del avellano europeo es un factor fundamental para la reducción de costos. El cultivo en medio líquido representa una alternativa para la reducción de costos operativos en la micropropagación. Además, el empleo de la inmersión temporal en medio líquido (SIP) permite evitar efectos colaterales que ocurren en medios permanentes o estáticos. En Chile no existen antecedentes bibliográficos y experiencias en la aplicación del SIP en la multiplicación *in vitro* del avellano europeo. Recientemente, el Laboratorio de Fruticultura de la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca ha iniciado un programa de multiplicación *in vitro* en un sistema SIP para la proliferación *in vitro* de selecciones de portainjertos RS T1 y RS T2 y variedades comerciales de avellano europeo con fines de investigación.



Foto 16. Explante de avellano en fase de proliferación establecido horizontalmente (Laboratorio de Fruticultura de INIA Carillanca).



Foto 17. Multiplicación de Avellano Europeo en bioreactor bajo un sistema de inmersión temporal de los explantes.

Fuente: INIA Carillanca

9.2.7.7. Elongación de brotes

Son escasas las investigaciones relativas a la utilización de medios de cultivo específicos para estimular la elongación de los brotes, previo a traspasar los materiales a un medio de enraizamiento. Los trabajos realizados por Zuccherelli (1990) han evidenciado la formación de brotes con características apropiadas (robustos y dotados de pequeñas hojas largas y bien extendidas), utilizando un medio de cultivo similar al empleado para la fase de multiplicación con macro y microelementos, vitaminas MS, pero con la citoquinina reducida a $0,1 \text{ mg/L}^{-1}$, y (mg/L^{-1} : GA_3 0,5; NAA 0,1) por 20 días, para ser trasplantados posteriormente a un medio de cultivo para la inducción radicular.

Otros autores han demostrado el efecto positivo del uso de GA_3 ($30 \mu\text{m}$) sobre el crecimiento de yemas desarrolladas en los brotes y elongación de estos. Sin embargo, una dosis excesiva de GA_3 (150, 300 μm), ha causado diversas anomalías, como brotes débiles y disminución posterior del porcentaje de enraizamiento (Perez *et al.*, 1985). Estudios realizados en esta fase por un período de 15 días disminuyendo las dosis de BA de $1\text{-}2 \text{ mg/L}^{-1}$ a $0,2 \text{ mg/L}^{-1}$ en un medio de cultivo DKW modificado, han permitido seleccionar micro-estaquillas con brote alargado (20-25 mm) y láminas foliares extendidas, de excelente calidad para la fase sucesiva de enraizamiento (Ellena, 1998).



Foto 18. Avellano europeo en fase de elongación *in vitro*.

Fuente: INIA Carillanca

9.2.7.8. Enraizamiento de micro-estaquillas

Las micro-estaquillas destinadas para la fase de enraizamiento son transplantadas a un nuevo medio (medio de enraizamiento), en el cual la componente hormonal del sustrato de cultivo corresponde a una auxina (generalmente ácido indol-butírico) y en ausencia de citoquininas (Ellena, 1998; Ellena *et al.*, 2014).

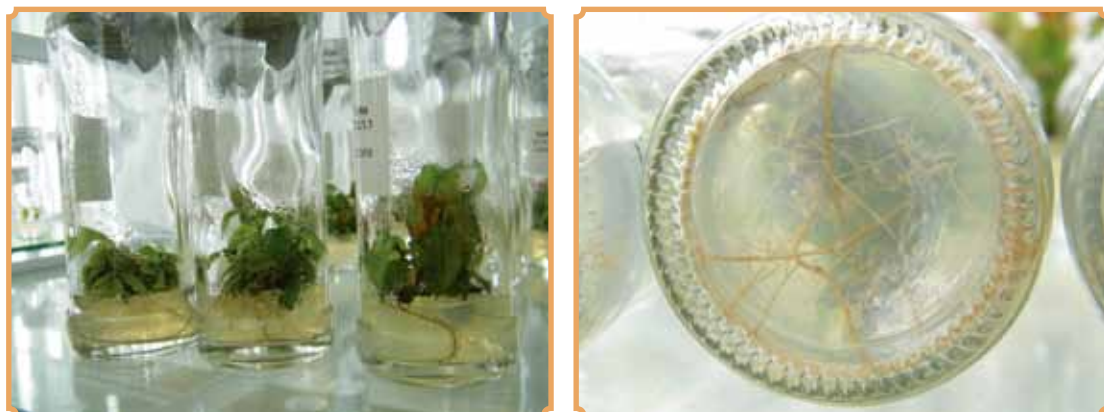


Foto 19. Micro-estaquillas de avellano en fase de enraizamiento y enraizadas *in vitro*.

Fuente: INIA Carillanca

En relación al avellano europeo, la inducción radicular se ha logrado usando principalmente IBA como principal hormona y empleando dos medios de cultivo en fase sucesiva. El primero con función inductiva y en presencia de auxina y ausencia de luz (primeros 10 días) y el segundo, libre de auxinas en presencia de luz (Ellena, 1998; Ellena *et al.*, 2014). El empleo de la oscuridad ha determinado un efecto favorable sobre el porcentaje de enraizamiento, calidad y longitud de las raíces y desarrollo posterior de las plántulas obtenidas (Ellena, 1998).

Además, se ha evidenciado que durante el proceso de enraizamiento han ocurrido dos fases. La primera inductiva, con una elevada producción de etileno y actividad enzimática (IAAox, POD, PPO) con el grado de determinar una elevada inducción radicular y, una segunda fase de tipo expresiva, caracterizada por una menor producción de etileno y baja actividad enzimática, permitiendo un mayor enraizamiento de los brotes (Ellena 1998; Ellena *et al.*, 2014). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por otros autores en diferentes especies leñosas (Gaspar y Coumans, 1987; Berthon *et al.*, 1987, 1990; Ripetti *et al.*, 1994).

Anderson (1984), reporta un porcentaje de enraizamiento *in vitro* del 65% a través del cultivo de las micro-estaquillas por cinco semanas en presencia de IBA ($0,5 \text{ mg/L}^{-1}$) en un medio de cultivo de enraizamiento de Anderson (1984), con macro y micronutrientes y compuestos orgánicos reducidos a la mitad, al cual se le adicionado sacarosa (30 g/l), inositol (100 g/l^{-1}), tiamina HCL ($0,4 \text{ mg/L}^{-1}$) y agar (6 g/l^{-1}). Al Kai *et al.* (1984) señalan que el empleo de bajas dosis de auxina (IAA, NAA, IBA, $0,1 \text{ mg/L}^{-1}$) ha permitido aumentar el enraizamiento, mientras que elevadas concentraciones de éstas (1 mg/L^{-1}) han promovido una mayor formación de callo en la base de las micro-estaquillas. No obstante, diversos investigadores han señalado que las concentraciones óptimas para el enraizamiento del avellano fluctúan entre $1\text{-}3 \text{ mg/L}^{-1}$ (Mena *et al.*, 1985; Ellena 1998). Las diferencias encontradas entre los distintos autores podrían ser atribuibles a múltiples factores tales como: cultivar, longitud de la micro-estaquilla, presencia de hojas. Se ha encontrado que el empleo de dosis altas de auxinas ha permitido efectivamente aumentar el enraizamiento, pero al mismo tiempo, se ha evidenciado un aumento de la necrosis apical de los brotes, provocando una elevada pérdida de material vegetal, que se traduce en un gran problema a nivel de viveros especializados.

La necrosis apical es un proceso degenerativo presente en muchas especies arbóreas multiplicadas *in vitro*, particularmente durante la fase de enraizamiento. Esta alteración provoca un desecamiento del ápice vegetativo del brote central y en algunos casos de aquellos laterales (De Paoli *et al.*, 1994; Ellena, 1998). Las causas principales de la necrosis apical se han atribuido a diversos factores: vitrificación de brotes, insuficiente intercambio gaseoso con el medio externo al vaso de cultivo y el consiguiente aumento en la acumulación de etileno al interior del contenedor, provocando un efecto tóxico para los brotes, existencia de brotes etiolados y por tanto, más sensibles a la luz durante su permanencia en la cámara de crecimiento,

dosis elevadas de auxinas que terminan por bloquear el desarrollo de los brotes.

Por otra parte, se ha determinado que la deficiencia de calcio a nivel de ápices ha acrecentado este proceso degenerativo. Ello se debería a una inadecuada absorción de este ion desde el medio de cultivo o por una falta de transporte de iones y metabolitos en los vasos xilemáticos, luego de una excesiva humedad al interior de los vasos de cultivo (George, 1996). En cultivos *in vitro* de manzano y camelia se ha observado un elevado porcentaje de brotes con síntomas de necrosis apical, luego de tres sub-cultivos en un medio con citoquininas y sucesivos 2-3 sub-cultivos en ausencia de citoquininas con el fin de promover el enrizamiento (Kataeva *et al.*, 1991). Por otra parte, se ha observado que la amarillez y la necrosis aumentan cuando los brotes no son repicados en forma periódica. El uso de repicados continuos y cercanos ha reducido el problema de la necrosis apical y ha mejorado la tasa de proliferación de los brotes (Ghashghaie *et al.*, 1992). La duración de los sub-cultivos debe modificarse en función de las diferentes especies y cultivares, con el fin de lograr una adecuada tasa de proliferación.

Por otro lado, se ha determinado que el uso de alcohol y de mecheros tipo bunsen, que funcionan con gas (para la esterilización), en un ambiente con poca ventilación, conducen a la acumulación de una elevada cantidad de gases como: metano, butano, etano, propano, etileno, metanol y etanol. Cuando la concentración de gases es muy elevada, bajo la cámara de flujo laminar y en los vasos de cultivo durante el proceso de transplante de material, puede producir toxicidad en los tejidos (George, 1996). La eliminación del mechero y su reemplazo por esterilizadores eléctricos han permitido bajar toxicidad en los cultivos *in vitro* (George, 1996).



Foto 20. Esterilizador eléctrico (Laboratorio Fruticultura INIA Carillanca).

Estudios realizados con el establecimiento horizontal de los explantes sobre el sustrato (DKW) del cv Tonda Romana, han permitido alcanzar un mayor porcentaje de enraizamiento (100%) mediante el empleo de brotes apicales. Adicionalmente, se ha observado que al día 12 todos los explantes han mostrado presencia de raíces en comparación con el método tradicional de establecimiento de los brotes (vertical), donde el enraizamiento se ha evidenciado después de 2 semanas. Con este método, se ha logrado un mayor número de raíces por micro-estaquilla y presencia de pequeñas raíces que han permitido una mayor supervivencia del material en la fase sucesiva de ambientación. Este sistema ha permitido modificar el transporte polar de la auxina para inducir el enraizamiento y la formación de un sistema radicular más eficiente, con evidente formación de raíces laterales, debido probablemente al transporte acrópeto de la auxina (Ellena, 1998).

9.2.7.9. Ambientación y transplante de las plántulas enraizadas

Las microestaquillas enraizadas se transfieren a vasos o contenedores en "micro túneles" y luego de un cierto período (12-15 días) de adaptación a un nuevo sustrato (inerte), son transferidas a invernadero. En estas condiciones las plantas pasan de una condición heterotrófica, propia del cultivo *in vitro*, a una autotrófica que es posible por la presencia de hojas y raicillas funcionales.

Durante la fase de ambientación las plantas desarrollan de manera adecuada, ya sea el sistema radicular cómo sus funciones estomáticas, además gradualmente alcanzan su independencia trófica. Trabajos realizados en avellano europeo cv. Tonda Romana se ha determinado una sobrevivencia del 63,3 y 70% para las micro-estaquillas tratadas con 1 y 2 mg/L⁻¹ de IBA respectivamente, durante la fase previa de enraizamiento. Además, se ha observado que el material proveniente de porciones apicales de los brotes ha presentado una menor producción de callo a la base de las plántulas y una mayor producción de raíces respecto al material de origen basal. Las plántulas obtenidas de material basal han evidenciado una sobrevivencia inferior (20y 26,6% para las dosis de IBA, 1 y 2 mg/L⁻¹ respectivamente (Ellena, 1998).



Foto 21. Plántulas micropropagadas en vía de ambientación, en contenedores plásticos ubicados en cámaras de crecimiento bajo condiciones ambientales controladas (Laboratorio Fruticultura INIA Carillanca).



Foto 22. Plántulas ambientadas y en etapa de cría en invernadero, con condiciones ambientales controladas (temperatura, humedad y luminosidad).

Fuente: INIA Carillanca

Referencias Bibliográficas

- Al Kai, H., Salesses, G., and A. Mouras. 1984. Multiplication *in vitro* du noisetier (*Corylus avellana* L.). Agronomie 4: 399-402.
- Alpi, A., Pupillo, P., e C. Riganó. 1992. Fisiologia delle piante. Seconda edizione 1992 EdiSeS. Napoli, pp. 1-610.
- Alvarez Requejo, S. 1965. El avellano. Editorial Ministerio de Agricultura. Madrid. p 190.
- Anderson, W.C. 1984. Micropropagation of filberts, *Corylus avellana* L. Comb. Proc. Int. Plant Prop. Soc. 33: 132-137.
- Avanzato, D; Preka, P. 1999. In vivo grafting by using scion and rootstocks *ex vitro*. Book of Proceedings of International Symposium of Modelling Cropping System. Lerida, June 21-23, 139-140.
- Baldini, E. 1992. Arboricultura General, ed. Mundi-Prensa. 381p.
- Ballester, A., Sánchez, M.C., and A.M. Vieitez. 1989. Etiolation as a pretreatment for *in vitro* establishment and multiplication of mature chesnut. Physiol. Plant. 77: 395-400.
- Bassil, N., Rebhuhn, D.W.S., and M.C.Mor. 1991. Micropropagazione of the hazelnut, *Corylus avellana* L. Acta. Horticulturae 300: 137-140.
- Bergamini, A. e Cristofori G. 1968. Confronto tra due tecniche di propagazione del nocciuolo: margotta di ceppaia e propaggine di trincea. Frutticoltura 30: 93-95.
- Berthon, J.Y., Boyer, N., and Th. Gaspar. 1987. Sequential rooting media and rooting capacity of *Sequoiadendron giganteum in vitro*. Peroxidase activity as a marker. Plant Cell Reports 6: 341-344.
- Berthon, J.Y., Ben Tahar, S., Gaspar, T., and N.Boyer. 1990. Rooting phases of shoots of *Sequoiadendron giganteum in vitro* and their requirements. Plant Physiol. Biochem. 28: 631-638.
- Beyer, Jr.E. 1976a. Silver ion: a potent antiethylene agent in cucumber and tomato. HortScience 11: 195-196.
- Beyer, Jr. E. 1976b. A potent inhibitor of ethylene action in plants. Plant Physiol. 58: 268-271.

Beyer, E. and Blomstrom, D.C. 1980. Ethylene metabolism and its possible physiological role in plants. pp. 208-218. In Skoog F. (eds.). 1980.

Bhattacharya, N.C. 1988. Enzyme activities during adventitious rooting. In. Adventitious root formation in cuttings. Davis T.D; Hassig B.E. and synthesis in tobaSankhla N. (eds.). Advances in plant science series. Vol. 2, Dudley T.D; General ed.

Bignami, C., De Salvador, R., e G. Stramboli.1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della coltura italiana. Frutticoltura N° 11. p. 16-27.

Caboni, E., Frattarelli, A., Giorgioni, M., Meneghini, M., and C. Damiano. 2009. Improving micropropagation of hazelnut Italian cultivars through temporary immersion system. VII International Congress on Hazelnut 845: 255-260.

Contessa, C., Valentini, N., Caviglione, M., and R.Botta. 2011. Propagation of *Corylus avellana* L. by means of semi-hardwood cutting: rooting and bud retention in four italian cultivars. E.J.H.S. 76 (5/6): 170-175.

Contessa, C., Valentini, R., Botta, R., and M. Corte. 2014. Investigation on effects of IBA treatments and ethylene inhibitors on the rooting and bud retention of semi-hardwood cuttings from "Tonda Gentile delle Langhe" hazelnut cultivar. Proc. VIIIth Int. Congress on Hazelnut, march 19-22, 2012, Temuco, Chile. p. 151-156.

Chauvin, J.E., and G.Salesses. 1988. Advances in chestnut micropropagation (*Castanea sativa* sp). Acta Hort. 227: 340-345.

Chevre, A.-M., Gill, S.S., Mouras, A., and G.Salesses. 1983. *In vitro* vegetative multiplication of chesnut. J. Hort. Sci. 58 (1): 23-29.

Cinelli, F. e Pasqualetto, P.L. 1993. Chesnut *in vitro* clonal propagation development to obtain a large scale production. International Congress on Chesnut.Spoleto. Italy October 20-23, 1993.

Crecioli, P. Leva, A.R. C; Mariotti, P.L. Nicese, F.P. and Torcia, P. 1998. Conoscenze e line di ricerca sulla moltiplicazione del Castagno. Atti Convegno Nazionale sulla Castanicoltura da frutto, Avellino 21-22 ottobre 1988. P.p. 113-118.

Cristofori, V. Carelli, P. and Rugini, E. 2009. Effects of auxine and putrescine treatments on rooting of leafy cuttings of three hazelnut cultivars. Proc. VIIth Int. Congress on Hazelnut. Acta Hort. 845: 267-272.

Cristofori, V., Roupshael, Y., and E. Rugini. 2010. Collection time, cutting age, IBA and putrescine effects on root formation in *Corylus avellana* L. cuttings. *Sci. Hortic.* 124:189-194.

De Paoli, G., Rossi, V., e A. Scozzoli. 1994. Micropropagazione delle piante ortoflorofrutticole (Eds-Edagricole, Bologna, Italia). 258 p.

Díaz-Sala, C., Rey, M., and R. Rodríguez. 1990. *In vitro* establishment of a cycloclonal chain from nodal segments and apical buds of adult hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 23 (3): 151-157.

Driver, J.A., and A.H. Kuniyuki. 1984. *In vitro* propagation of Paradox walnut rootstock. *HortScience* 19: 507-509.

Ecker, J.R. 1995. The ethylene signal transduction pathway in plants. *Science* 268: 667-674.

Ellena, M. 1998. Aspetti fisiologici e biochimici associate al processo rizogenetico del Castagno da frutto e nocciolo. Dottorato di Ricerca in Colture Arboree (X Ciclo), Università degli Studi di Bologna, Italia. 157 p.

Ellena, M., Masia, A., and G. Marino. 2014. Physiological and biochemical aspect associated with the rizogenetics of hazelnut (*Corylus avellana* L). *Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort.* 1052: 157-161.

Ercisli, S., and P.E. Read. 2001. Propagation of hazelnut by softwood and semi-hardwood cuttings under Nebrasska conditions. *Acta Hort.* 556: 275-279.

Fabbri, A. Ferrini, F. Masia, A. and Pisani, P.L. 1992. Enzyme activity during adventitious rooting of stoolbed propagated chesnut. *Proc. Int. Chesnut Conf; Morgantown, West Virginia.* p.89-92.

Fregoni, M., e E. Zioni. 1968. Prove di confront fra i metodi di propagazione del nocciolo per pollone propaggine semplice e di trincea. *Atti. Conv. Naz. Stud. Noc.* 371-378.

Garrison, W., Dale, A., and P.K. Saxena. 2013. Improved shoot multiplication and development in hybrid hazelnut nodal cultures by ethylenediamine di-2 hydroxy-phenylacetic acid (Fe-EDDHA). *Can.J. Plant Sci.* 93: 511-521.

Gaspar, T. and Coumans, M. 1987. Root formation. In *Cell and Tissue Culture in forestry.* Bonga JM, Durtzan D.J. (eds). Martinus Nijhoff, Dordrecht, Vol. 2: 202-217.

Germain, E., Leglise, P., et G. Froidefond. 1974. Le bouturage du noisetier (*Corylus avellana* L.) CTIFL-Doc 43: 1-8.

George, E.F. 1993. Plant propagation by tissue culture. Part I. The technology. 574 p. Exegetics, Ltd. Edington, England.

George, E.P. 1996. Plant propagation by tissue culture part 2. In Practice. Exegetics. Ltd. Edington, Wesbury, UK. P. 799

Ghashghaie, J., Brenckmann, F., and B. Saugier. 1992. Water relations and growth of rose plants cultured *in vitro* under various relative humidities. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 30:51-57.

Hand, C. Maki, S., and B.M. Reed. 2014. Modeling optimal mineral nutrition for hazelnut micropropagation. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 119(2): 411-425.

Hand, C. and B.M. Reed. 2014. Minor nutrients are critical for the improved growth of *Corylus avellana* L. shoot cultures. Plant Cell Tiss. Org. Cult. 119(2): 427-439.

Hartman, H. T., y D.E.Kester. 1964. Propagación de plantas. Editorial CECSA, México. 693 p.

Hartman, H.T. y D.E.Kester. 1981. Propagación de plantas: principios y prácticas. Editorial Continental, p. 814. México.

Howard, B.H. 1968. Hazel propagation by hardwood cuttings. Rep. Exp. Mallng. Stn. 93-95.

Howard, B.H., Harrison-Murray, R.S., and S.B Arjyal. 1985. Response of apple summer cuttings to severity of stock plants pruning and stem blanching. J. Hort. Sci. 60 (2): 145-152.

Kantarci, M., and M. Ayfer. 1994. Propagation of some important turkish hazelnut varieties by cuttings. Acta Hort. 351: 353-360.

Kataeva, N. V., Alexandrova, L.G., Butenko, R.G.,and E.V. Dragavtceca. 1991. Effect of applied and internal hormones on vitrification and apical necrosis of different plants cultured *in vitro*. Plant cell Tiss. Organ Cult. 27: 149-154.

Lagerstedt, H.B. 1970. Filbert propagation techniques. *In Proc. Annu. Rep. Northern Nut Grower´s Assoc. Oregon.* p. 61-67.

- Lagerstedt, H.B. 1982. Three promising hazelnut propagation techniques. Proc. Nut Growers Soc. 67:58-66.
- Lagerstedt, H.B. 1987. A review on chestnut propagation. p. 56-61 In Proc. II Pacific Northwest Chesnut Congress, 22-23 august, 1987.
- Latawa, J., Shukla, M.R., and P.K.Saxena. 2016. An efficient temporary immersion system for micropropagation of hybrid hazelnut. Botany 94(1): 1-8.
- Manzo, P. Nicostra, A., e C. Damiano. 1974. Prove di propagazione del nocciolo per proppaggine semplice o propaggine di trincea. Ann. Ist. Sper Fruit. Roma V. 1. 51-61.
- Mato, M.C. and A.M. Vieitez. 1986. Changes in auxin protector during the rooting of chestnut shoots *in vitro*. Physiol. Plant. 66:491-496.
- Mena, J., Messeguer, J., y E.Mele. 1985. Avances e investigaciones en curso sobre propagación y viverismo en avellano. In Proc 1. Congreso especial frutos secos. Ponencias y comunicaciones. p. 117-135.
- Messeguer, J. and E. Mele. 1983. Clonal propagation of *Corylus avellana* L. *in vitro*. In: Proc. Convegno Int. Nocciuolo, Avellino, It.p. 293-295.
- Messeguer, J. and E. Mele. 1987. *In vitro* propagation of adult material and seedlings of *Corylus avellana* L. Acta. Hort. 212: 499-503.
- Mullins, V.V. 1987. Micropropagation of chestnut (*Castanea sativa* Mill). Acta Horticulturae 212: 525-529.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised médium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. Physiol. Plant. 15: 473-497.
- Nas, M., and P.E. Read. 2004. Improved rooting and acclimatization of micropropagated hazelnut shoots. Hort. Science 39 (7): 1668-1690.
- Pérez, C., Rodríguez, R. and R.S.Tames. 1985. *In vitro* filbert (*Corylus avellana* L.) micropropagation from shoot and cotyledonary node segments. Plant Cell Rep. 4: 137-139.
- Pérez, C., Rodríguez, A., Revilla, A., Rodríguez, R., and R.Sánchez-Tames. 1987. Filbert plantlet formation through *in vitro* culture. Acta Horticulturae. 212: 505-510.
- Piagnani, C., and T. Eccher. 1986. La coltura del Castagno. Giornate di studio sul Castagno, Caprarola (VT) 6-7 Nov. 1986.p. 135-142.

Piskornik, Z., Piskornik, M., and F. Goc. 1982. The influence of indolbutyric acid, sample-date and juvenility on the rooting of filbert (*Corylus sp.*) cuttings. *Acta Agrobot.* 35(2): 167-174.

Qiguang, Y., Read, P., Felmann, C.D. and M.A. Hosier. 1986. Effect of Cytokinin, IBA and rooting regime on Chinese chestnut cultured *in vitro*. *Hort. Sci.* 21 (1): 133-134.

Ripetti, V., Kevers, C. and T. Gaspar. 1994. Two successive media for the rooting of walnut shoots *in vitro*. Changes in peroxidase activity and in ethylene production. *Adv. Hort. Sci.* 8: 29-32.

Rodríguez, A. 1983. Estudio de la rizogénesis y sustancias reguladoras del crecimiento en *Corylus avellana* L. Ph.D. Thesis, Fac. Biol, Univ. Oviedo.

Rodríguez, R., Rodríguez, A., González, A. and C. Pérez 1989. Biotechnology in agriculture and forestry, vol 5, Trees II (eds. By Y.P.S. Bajaj) Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg. 127-157.

Rosati, P. e F. Tognoni. 1979. Propagazione su vasta scala delle specie ortoflorofrutticole: tecnica di coltura ed organizzazione del laboratorio. *In: Incontro su "Tecniche di coltura in vitro per la propagazione su vasta scala delle specie ortoflorofrutticole"* Pistoia, 6/10/ 1979: 19-47

Roversi, A. 1969. Propagazione per talea del nocciolo con il riscaldamento basale e con la forzatura in sacchetti di polietilene. *Inf. Agr. Verona.* p. 45.

Roversi, A. 1972. Effetti dell IBA e dell NAA e del DMSO sulla rizogenesi delle tale di nocciolo. *Ann. Fac. Agr. I-III:* 365-376.

Roversi, A., e G.C. Mozzone. 1998. Tecniche di forzatura per margotte di ceppaia di nocciolo. *Informatore Agrario* 24: 71-75.

San José, M.C., Vieitez, A.M. and E. Vieitez. 1984. *In vitro* plantle regeneration from adventitious buds of chestnut. *J. Hort. Sci.* 59 (3): 359-365.

Serek, M., Woltering, E.J., Sisler, E.C., Frello, S., and S. Sriskandarajah. 2006. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnol Adv.* 24: 368-381.

Singha, S. 1982. *Amer Soc. Hort. Sci.* 107: 657-660.

Solar, A., Smole, J. and F. Stampar. 1994. Investigations of different methods of propagation of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Acta Hort.* 351: 381-386.

Strullu, D.G., Grellier, B., Marciniak, D., and R. Letouzé. 1986. Micropropagation of chestnut and conditions of mycorrhizal syntheses *in vitro*. *New Phytol.* 102: 95-101.

Swartz, H.J. 1991. Post culture behavior genetic and epigenetic effects and related problems. In. *Micropropagation*: 95-121.

Tombesi, A. 1967. Alcuni fattori che influenzano il successo della radicazione di tale semilegnose di nocciuolo con la tecnica della nebulizzazione. *Riv. Ortoflorofrutt. It.* 51: 517-526.

Thorpe, T.A. and Harry, T.S. 1990. Special problems and prospects in the propagation of woody species. P. 67-74. In: R. Rodríguez, R. Sánchez Tames, R. and D.Durzan (eds) *Plant aging: Basic and applied approaches*. Pleum, Press, New York

Tombesi, A. 1985. Il nocciuolo. REDA (Ed. Agric), *Frutticoltura Speciale*. p. 614-630.

Vieitez, A.M., and M.L.Vieitez. 1980. Plantlet formation from embryonic tissue of chestnut grown *in vitro*. *Physiol. Plant.* 50: 127-130.

Vieitez, A.M. Vieitez, M.L. and E. Vieitez. 1984. Chestnut *In*"Biotechnology in Agriculture and Forestry" I. Trees I. (Y.P.S.Bajay eds.) Springer Verlag. Berlin. p. 393-414.

Yang, S.F. and N.E. Hoffman. 1984. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 35: 155-189.

Yang, Q., Read, P.E., Felman, C.D. and M.A. Hosier. 1986. Effect of cytokinin, IBA and rooting regime on Chinese chestnut cultured *in vitro*. *Hort. Science.* 21: 133-134.

Yu, X. 1993. Micropropagation and regeneration of hazelnut (*Corylus species* L). Thesis of Doctor of Philosophy in Horticulture, Oregon, State University, Corvallis. USDA/ARS.108 p.

Yu, X. and B.M. Reed. 1995. A micropropagation system for hazelnuts (*Corylus species*). *HortScience* 30(1): 120-123.

Zuccherelli, G. 1990. Moltiplicazione *in vitro* di 5 varietà di nocciuolo e loro micorrizzazione con *Tuber melanosporum*. L' *Informatore Agrario* N° 41: 51-55.

CAPÍTULO 10



MEJORAMIENTO GENÉTICO

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo
Felipe Marchant C., Ing. Agrícola

En general ninguna variedad es completamente perfecta desde el punto de vista de las propiedades agronómicas y exigencias del mercado, siendo necesario mejorar sus características considerando los recursos genéticos presentes, particularmente en la especie *Corylus avellana* L. En el caso de caracteres especiales es factible emplear otras especies, como *Corylus colurna* (para obtención de plantas sin emisión de hijuelos) y *Corylus heterophylla* (para la resistencia al frío).

En relación a los caracteres más importantes, como adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas, características de las avellanas, emisión de hijuelos, vigor, época de maduración de la fruta, resistencia o tolerancia a enfermedades y plagas entre otras, actualmente se conocen las variedades que tienen estos caracteres y que presentan resistencia o tolerancia a ciertas plagas y enfermedades. El origen ancestral del avellano europeo y la existencia de una enorme cantidad de árboles originados por semillas ofrecen un amplio abanico de individuos, de los cuales se han seleccionado y propagado aquellos con mejor adaptación a las condiciones ambientales del área de cultivo y a las necesidades culturales y demanda comercial (Tombesi *et al.*, 2010).

Entre las principales variedades de importancia por la calidad de su fruta a nivel mundial, pueden mencionarse: Tonda Gentile delle Langhe (TGL), Tonda di Giffoni, Tonda Romana (variedades italianas), Tombul (principal variedad turca), Negret, Barcelona. Todas estas variedades presentan alguna limitante en relación a su potencial productivo, calidad de fruta y resistencia a factores bióticos y abióticos. Por ello, es necesario considerar la posibilidad de mejorar estos materiales en uno o más caracteres. Para el mejoramiento de dichos materiales puede recurrirse a la selección de individuos con aquellas características requeridas, provenientes de poblaciones en las cuales ha ocurrido una gran variación y combinación de caracteres. Se podría señalar que la evaluación varietal sería el “primer paso” para el mejoramiento genético (Tombesi *et al.*, 2010).

La elección varietal condiciona el precio del producto, puesto que la calidad de las avellanas es muy dependiente de la variedad y de su interacción con factores ambientales y culturales. Gran parte de la producción de avellanas a nivel mundial, se destina a la industria de transformación (principalmente chocolates), que demanda un producto de calidad, libre de defectos y con características morfológicas y físico-químicas bien precisas (Bignami *et al.*, 1999).

No obstante, existe un mercado creciente para avellanas en cáscara, particularmente en Asia y en especial China, país que demanda fruta con calibres grandes. Esta fruta, si bien se orienta a un nicho de mercado específico, alcanza actualmente altos precios de retorno. Por ello, también

es necesario orientar el programa de mejoramiento nacional del avellano europeo a la obtención de variedades con producción de avellanas de gran calibre.

En los diferentes países productores de avellanas se cultivan variedades seleccionadas en el pasado y adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de las áreas de cultivo. En la actualidad, particularmente la industria agroalimentaria utiliza gran parte de la producción tiene exigencias específicas del producto, las cuales son de referencia para los programas de mejoramiento genético.

A través de esta herramienta se eliminan algunos caracteres negativos de las variedades más difundidas y a la vez se introducen otros positivos relacionados con el aumento de productividad, calidad de avellanas, resistencia o tolerancia a factores bióticos y abióticos, factores negativos del clima, en particular heladas en primavera y bajas temperaturas durante el proceso de cuaja.

Para la selección de nuevas variedades se deben buscar materiales con mayor formación de flores femeninas, y en cultivares polinizadores una elevada producción y calidad del polen y sincronización con la floración de las variedades principales o comerciales, constancia en la producción, rápido desarrollo de los árboles y baja emisión de hijuelos desde la base de la planta. En relación a los frutos, forma redonda, alto rendimiento al descascarado, fácil desprendimiento del perisperma (luego del tostado de las semillas a nivel de industria), alto contenido en compuestos funcionales como antioxidantes, minerales, proteína, vitaminas y fibras, entre otros.

De los 500 cultivares citados en la literatura internacional, sólo alrededor de 15 tienen importancia comercial (Mehlenbacher, 1994, 2008) y la mayoría deriva de selecciones de poblaciones espontáneas. Además, los programas de mejoramiento en avellano europeo han sido muy escasos respecto a otros cultivos frutícolas de clima templado, como drupáceas y pomáceas. A la fecha se han licenciado alrededor de 73 variedades de avellano europeo, en comparación con 2 mil 500 de duraznos y 500 de perales.

El desarrollo de nuevas variedades de avellano europeo es la base para el mejoramiento de la competitividad del cultivo. Ello ha sido determinante en Estados Unidos para superar el grave problema del "Eastern Filbert Blight" (EFB), enfermedad causada por un hongo biotrófico *Anisogramma anomala*, que ha provocado enormes daños a la industria, particularmente en el estado de Oregon, principal zona productora de avellana del país del norte (Mehlenbacher, 2009; Sathuvalli *et al.*, 2014).



Foto 1. Planta de avellano europeo con ataque de EFB.

Fuente: INIA Carillanca

En relación a los portainjertos el avance ha sido aún más lento. Con la obtención de dos híbridos (Dundee y Newberg) de baja emisión de hijuelos (Lagerstedt, 1993) y con la selección de materiales de avellano turco (*Corylus colurna*), nativo del Cáucaso y de los Balcanes, se ha logrado eliminar el problema de emisión de hijuelos a nivel basal de las plantas (Korac *et al.*, 1997) y solucionar situaciones de sequía y frío (Ninic-Todorovic *et al.*, 2009). Adicionalmente se ha evidenciado un efecto positivo de los portainjertos de avellano turco sobre el tamaño de la semilla, mayor tolerancia a plagas, enfermedades y sequía (Blagoeva y Nikolova, 2010; Miletic *et al.*, 2009; Miletic *et al.*, 2009). El control de hijuelos también se ha obtenido mediante el empleo de la especie *Corylus chinensis* y de algunas selecciones de *Corylus avellana* L. con baja presencia de sierpes (Fideghelli y De Salvador, 2009; Tous *et al.*, 1997; Tous *et al.*, 2009).

La selección de individuos, sin emisión de hijuelos, mediante cruzamientos entre variedades de *Corylus avellana* L. ha sido muy compleja, debido a que todas las variedades cultivadas producen sierpes y el carácter de producir hijuelos es de tipo cuantitativo. Además, el cruzamiento entre una especie que no emite sierpes (*Corylus colurna*) y otra que si produce (*Corylus avellana* L.), ha permitido obtener un buen porcentaje de individuos sin sierpe, con corteza no suberosa y buena afinidad de injerto (Valentini *et al.*, 2009).

No obstante, es importante la adaptabilidad de los materiales a las condiciones agroecológicas locales, puesto que muchas variedades de *Corylus avellana* L. han presentado solamente buena adaptación a las condiciones agroecológicas de su lugar de origen (Mirotadze *et al.*, 2009; Pop *et al.*, 2010; Salimi y Hoseinova, 2012).

Desde la década de los años 60 a la fecha, existen diversas instituciones dedicadas a nivel mundial al mejoramiento genético de esta especie de fruto seco, principalmente Estados Unidos, Francia, Italia, Rumania, China,

Chile, entre otros. Algunas de ellas se han orientado a resolver problemas propios, como es el caso del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad Estatal de Oregon (Estados Unidos), orientado a obtener materiales resistentes a *Anisogramma anomala* (Eastern Filbert Blight). En el caso de Chile, la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca efectúa trabajos de mejoramiento, mediante cruzamientos controlados, orientados a obtener variedades con una época de cosecha más temprana y altos rendimientos al descascarado.

10.1. Métodos de mejoramiento genético

Los métodos más utilizados son el mejoramiento tradicional, basado en la valorización de la variabilidad genética existente, a través de selección clonal o sobre la creación de nueva variabilidad, mediante cruzamientos intervarietales, hibridaciones inter-específicas, mutagénesis y también la variación somaclonal *in vitro* que podría ser una estrategia interesante de explorar.

10.1.1. Selección clonal

El principal método de selección utilizado en muchos países productores de avellana europea es el de selección clonal de los principales cultivares, como es el caso de Italia con selección de los cultivares Tonda Gentile delle Langhe, Tonda Gentile Romana y Tonda di Giffoni; en Turquía, selecciones de las principales variedades Tombul y Palaz; y en España aquella del cultivar Negret.

En Italia los trabajos de selección de Tonda Gentile delle Langhe (80 clones), han determinado que la variabilidad encontrada es más atribuible al ambiente que a la matriz genética, concluyendo que esta variedad italiana (originaria de la Región de Piemonte, norte del país), debe considerarse como un cultivar bien definido y no como una población (Romisondo *et al.*, 1983a). Trabajos posteriores han permitido seleccionar un grupo más amplio de 200 individuos, entre estos BA8, GG5, PD6, que han permitido contar con materiales de elevada cualidad respecto al cultivar originario (Valentini *et al.*, 2001).

Por otra parte, prospecciones y selecciones realizadas de la variedad Tonda di Giffoni (Limongelli, 1980, 1983) en el ámbito de 64 clones, han permitido individualizar un primer grupo de 10 individuos con características comerciales y agronómicas superiores; otros 24 clones han sido individualizados con posterioridad en una sucesiva prospección de la Región de Campania, origen del cv. Tonda di Giffoni. El estudio comparativo de estas selecciones ha permitido seleccionar 5 individuos con características agronómicas y tecnológicas superiores (Limongelli y Consoli, 1996).

En relación a la variedad Tonda Gentile Romana, los trabajos de selección realizados han individualizado 5 clones con mejores características industriales, particularmente el rendimiento al descascarado, calibre de la semilla e índice de redondez (Preziosi y Cartechini, 1979), más otras 15 selecciones individualizadas sucesivamente con mejores características industriales. Prospecciones posteriores, realizadas por el Instituto Experimental de Fruticultura de Roma, han permitido individualizar y seleccionar otros 5 clones élite con mejores características agronómicas de los árboles, como: vigor medio, baja producción de sierpes, precocidad y contemporaneidad de maduración de las avellanas, tamaño medio-pequeño de las semillas, elevado rendimiento al descascarado, forma redonda, alta consistencia y pelado de la semilla (Monastra *et al.*, 1997; De Salvador, 1998).

En trabajos de selección clonal realizados en España se ha observado una elevada variabilidad genética en 44 árboles diferentes, estudiados en áreas interiores de Asturias (Rovira y Tous, 2005). De estos individuos se han pre-seleccionado 10 árboles por sus características agronómicas y frutos.

En Chile, durante la temporada 2010-2011 se realizó una primera prospección y selección de algunos materiales antiguos de *Corylus avellana* L. introducidos hace 120 años por los inmigrantes desde Europa. Los materiales preseleccionados se introdujeron a la colección de campo de la Plataforma Frutícola del Centro Regional de Investigación INIA Carillanca (Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, en el sur de Chile), para su preservación y caracterización agronómica y comercial.

En esta primera prospección se estudiaron 28 árboles de avellano europeo, determinándose importantes diferencias entre ellos (Ellena *et al.*, 2014). Dicho estudio permitió establecer algunas características de las avellanas y semillas del germoplasma de avellano europeo en la zona sur del país, particularmente de la comuna de Gorbea (provincia de Cautín, Región de La Araucanía, sur de Chile). Las selecciones presentaron principalmente dos tipos de forma de los frutos: alargados y redondos (este último con cáscara más delgada para uso industrial). La principal forma fue la globular o redonda como Barcelona y Tonda di Giffoni (55,5%), con forma ovoide el 22% como los cultivares españoles Negret y Morel, con la forma subcilíndrica corta un 14,8% como la variedad italiana Mortarella y un 3,7% con forma cónica. En relación al peso de las avellanas, un 39,9% presentó un peso medio de 1,8-2,5 g, 14,3% tamaño pequeño (< 1,7 g), 39,3% gran tamaño de las avellanas, 2,6 y 3,3 g y un 7,1% presentó frutos muy grandes 3,5-3,8 g.

En relación al color, un 64,3 % presentó color café, como la variedad Tonda Romana; 21,4% café oscuro como la variedad Negret y un 17,9% café claro como la variedad Ennis. Respecto a la morfología de los frutos (tamaño de

la cicatriz pistilar), gran parte de los ejemplares 55,6% presentó un tamaño medio, 40,7 % tamaño pequeño y sólo 3,7% tamaño grande.

En cuanto a la relación semilla/fruto, gran parte del material presentó un valor superior al 50%. Estos resultados indican que las avellanas mostraron una cáscara delgada y un buen llenado de la semilla. Por otro lado, el 32,1% de los frutos presentó un porcentaje de semilla \geq al 45% y sólo un 25% de las avellanas mostró un porcentaje inferior al 45%. En relación al rango del blanching o desprendimiento del perisperma luego del tostado, el 57,1% de las semillas mostró una buena aptitud para el proceso industrial, como es el caso de los cvs. Tonda Gentile delle Langhe, Tonda di Giffoni y Negret. Estos resultados preliminares indican que 9 ejemplares han mostrado buenas características de las avellanas (forma redonda, cáscara delgada, elevada relación de semilla y buen pelado o blanching), muy importantes para el proceso industrial (Ellena *et al.*, 2014).



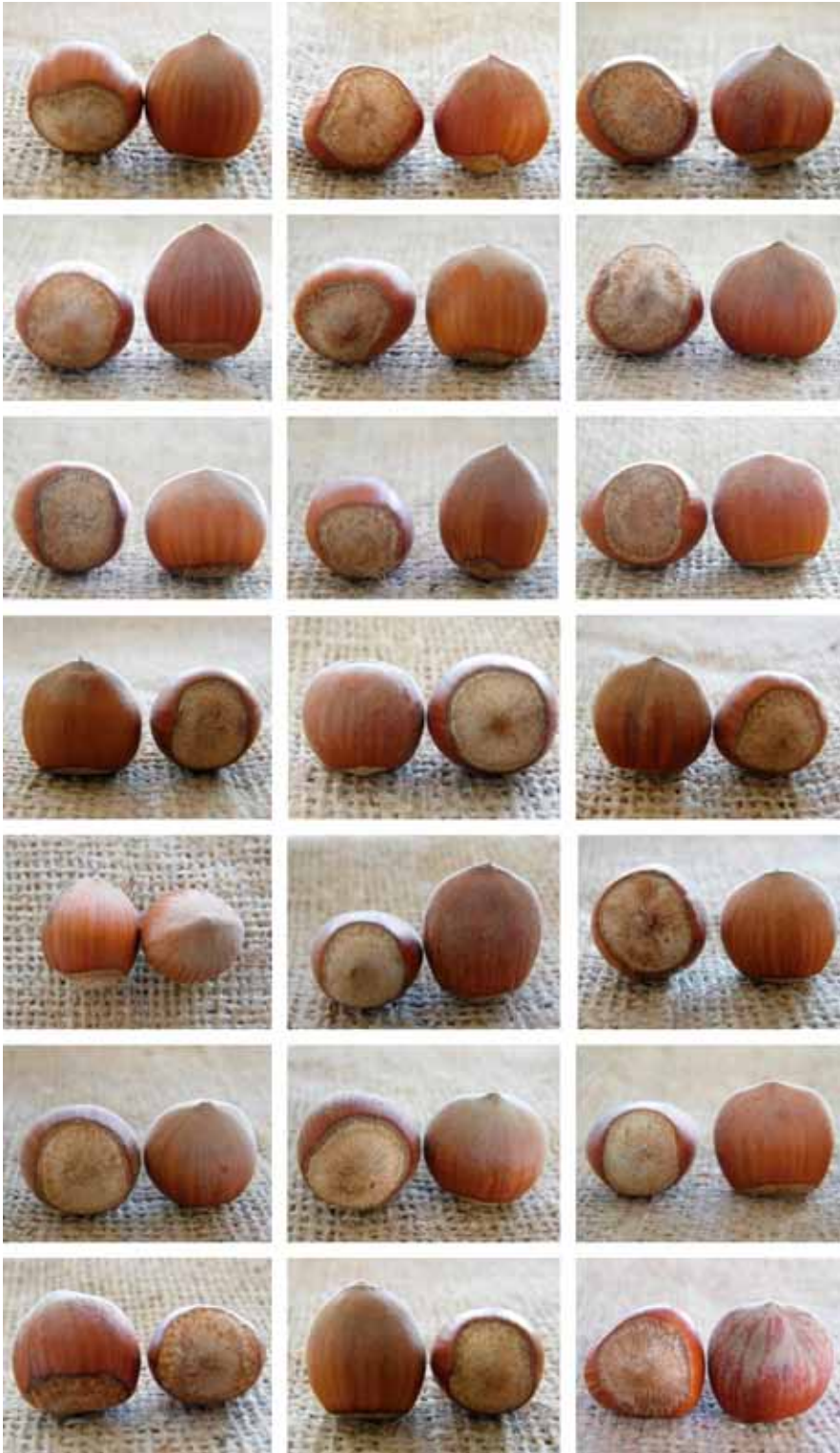
Foto 2. Ecotipo de avellano. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 3. Colección de campo en Centro de Investigación INIA Carillanca. Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Fotomontaje 1. Características de algunos frutos y semillas de 28 árboles de avellano europeo. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía, sur de Chile.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 4. Clasificación comercial de avellano europeo basado en la forma del fruto, forma redonda (izquierda) y forma alargada (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

Los estudios de selección clonal continúan con nuevas prospecciones y selecciones a nivel país, en la amplia zona productora de avellana europea, desde las regiones del Maule a Los Lagos. El objetivo es encontrar una mayor variabilidad genética para el programa de mejoramiento genético, con el fin de conservar y salvaguardar los recursos genéticos de esta especie en Chile.

En relación a los portainjertos, la selección de materiales con baja o nula emisión de hijuelos, particularmente de *Corylus colurna* ha sido probada como una alternativa y solución en los países productores de la región de los Balcanes (Fideghelli y Salvador, 2009). No obstante, en los principales países productores de avellana los trabajos de mejoramiento en portainjertos han sido muy escasos. La principal forma usada ha sido la multiplicación de las variedades por auto-radicación, a diferencia de la mayoría de las especies frutícolas que se propagan a través de los injertos. Esto, empleando portainjertos que permitan adaptación a diferentes tipos de suelos, bajar vigor y anticipar la entrada en producción de los árboles, es lo que ha permitido modernizar la fruticultura a nivel mundial.



Foto 5. Avellano turco (*Corylus colurna*) (izquierda) y cv. Tonda Romana injertada sobre *Corylus colurna* (derecha). Gentileza de Alessandro Roverssi, Serbia.

Fuente: Dr. Alesandro Roverssi.



Foto 6. Viverización de *Corylus colurna*, sin emisión de sierpes, Monferrato Italia

Fuente: Dr. Alesandro Roversi.

En Chile, INIA Carillanca ha iniciado recientemente un programa de selección clonal de portainjertos de menor vigor (intermedio), que permita aumentar la cantidad de plantas en huertos. El objetivo es modernizar a través del establecimiento de las variedades principales sobre patrones de vigor medio, con el fin de densificar los huertos y con ello aumentar los rendimientos por unidad de superficie y anticipar la entrada en producción de los huertos. Estas selecciones se han introducido a la colección de campo de INIA Carillanca, procediendo a la propagación de los materiales mediante propagación agámica por acodos, estacas semi-herbáceas, estacas-herbáceas y multiplicación *in vitro*. Los primeros ensayos se iniciaron en el invierno de 2015 con plantas del cv. Barcelona injertadas sobre portainjertos RST1, RST2 y RST3, y Tonda di Giffoni sobre RST4. Hasta la fecha, en estos materiales recientemente injertados (a nivel de cría en vivero), no se han observado diferencias importantes debido al efecto del portainjerto sobre el vigor de las plantas injertadas. Se espera que el diferente grado de vigor de cada uno de los portainjertos estudiados se exprese una vez que los materiales se establezcan en los huertos experimentales.



Foto 7. Selección de portainjertos clonales, RST 1 y RST 2. Centro Regional INIA Carillanca.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 8. Multiplicación *in vitro* de portainjertos clonales seleccionados. Laboratorio de Fruticultura INIA Carillanca.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 9. Portainjertos clonales de vigor intermedio y elevado, injertados con los cvs. Barcelona y Tonda di Giffoni. Centro Regional INIA Carillanca, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 10. Huerto experimental de portainjertos clonales de vigor intermedio y elevado, injertados con el cv.Tonda di Giffoni, establecidos en alta densidad (Año 1). INIA Carillanca, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Las investigaciones se encuentran en pleno desarrollo y adicionalmente se espera obtener portainjertos híbridos de menor vigor, con escasa o nula emisión de hijuelos provenientes de programas de cruzamiento controlado, variabilidad somaclonal y mutagénesis *in vitro*, con el objetivo de obtener materiales adaptados a diferentes condiciones de suelo y clima de las zonas productoras de avellana en Chile. El desarrollo de variedades de portainjertos permitirá dar un gran salto tecnológico en esta especie frutal, permitiendo la modernización del cultivo y una mayor competitividad de la industria.

10.2. Cruzamientos controlados

Los programas de mejoramiento genético por cruzamiento tienen el objetivo de constituir nuevos cultivares aptos para la industria de transformación y para el consumo directo o mercado en cáscara, con mejores características respecto de aquellos actualmente presentes en el mercado. En estos programas, es importante considerar las demandas de los productores que buscan mayor productividad de los árboles y de la industria alimentaria quienes requieren una mejor calidad de semilla y calibre de las avellanas para el mercado en cáscara (> 20 mm). Por ello, es importante considerar los factores que tienden a aumentar la producción junto a un aumento total de frutos por unidad de superficie, con un mayor rendimiento al descascarado y un menor porcentaje de frutos vanos y de semillas con defectos. La calidad de la semilla, desde el punto de vista industrial, es un factor importante que debe considerar la forma esferoidal del fruto, uniformidad de los calibres (idealmente semillas con calibres de 13 mm), con fácil desprendimiento del perisperma luego del proceso del tostado, buen sabor y con porcentajes reducidos de ácido linoleico y linolénico, ambos responsables del enranciado de la semilla luego el tostado (Garrone y Vacchetti, 1994).

El mejoramiento genético tradicional, por cruzamiento y selección, utiliza los métodos clásicos de polinización cruzada con aislamiento de las flores femeninas. Para los cruzamientos se puede utilizar polen fresco de la temporada o conservado en frío entre -18 a -80°C con un contenido de humedad de 5-7% para su correcta conservación.

En los últimos años, han sido licenciadas diferentes nuevas variedades principalmente por el programa de mejoramiento genético del avellano llevado a cabo por la Universidad Estatal de Oregon, Estados Unidos, para el mejoramiento de la principal variedad (Barcelona) cultivada en dicho país y principalmente para la obtención de material resistente a la enfermedad Eastern Filbert Blight. Entre las variedades se pueden mencionar las siguientes: Willamette, Lewis, Clark, Sacajawea, Santiam, Yamhill, Jefferson, Tonda Pacifica, Mac Donald. En otros países, como Italia, destaca el trabajo de mejoramiento realizado por la Universidad de Torino con la obtención de

la variedad Daria, lograda mediante el cruzamiento de Tonda Gentile delle Langhe x Cosford, de vigor medio, alta productividad, floración femenina tardía y frutos de tamaño pequeño, con elevado rendimiento al descascarado pero con cáscara demasiado delgada, siendo susceptible a insectos que perforan el fruto (Valentini *et al.*, 2009). En Francia se han licenciado dos variedades Corabel y Ferial, la primera de escasa productividad respecto a una serie de variedades evaluadas (Solar y Štampar, 2010) y en Rumania las variedades Valcea, Arutela, Cozia y Romavel.

En relación a los portainjertos, los trabajos de cruzamientos han sido muy escasos a nivel mundial. Actualmente existen disponibles dos portainjertos híbridos (Dundee y Newberg) sin emisión de sierpes, obtenidos de cruzamientos entre *Corylus colurna* x *Corylus avellana* L. los cuales no se han difundido masivamente. En hibridaciones interespecíficas, se ha observado que es más fácil transferir el hábito de crecimiento sin emisión de sierpes desde *Corylus chinensis* que desde *Corylus colurna* (Erdogan y Mehlenbacher, 2000). Estudios realizados en España con la variedad Negret (N9) sobre el portainjerto Dundee han mostrado un aumento de los rendimientos y baja emisión de hijuelos respecto a plantas auto-enraizadas y otros portainjertos (Rovira *et al.*, 2007).

A nivel nacional, en el Centro de Investigación INIA Carillanca, Región de La Araucanía, se ha iniciado un trabajo de cruzamientos dirigidos con el objetivo de desarrollar nuevas variedades de avellano europeo adaptadas a diferentes condiciones agroecológicas del territorio nacional.

Estas variedades estarán orientadas al mercado en cáscara con frutos de gran calibre y cultivares destinados a la industria de transformación con cáscara delgada, frutos de tamaño pequeño-medio, alto rendimiento al descascarado (>47%), buen desprendimiento del perisperma después del tostado, bajo contenido en ácidos grasos que favorecen una mayor oxidación. Además, variedades con arquitectura de la estructura productiva menos extendida y con mayor capacidad para capturar la energía lumínica y de menor vigor respecto a las variedades actuales cultivadas en el país.

Adicionalmente, se espera obtener también variedades de cosecha más temprana para evitar cosechas tardías en otoño, con posibilidad de ocurrencia de lluvias, que dificultan la cosecha mecánica en algunas temporadas. En la actualidad, se cuenta con una cantidad importante de seedlings en crecimiento que luego serán sometidos a evaluaciones.



Foto 11. Cruzamientos controlados. Centro Regional de Investigación INIA Carillanca, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 12. Seedlings provenientes de cruzamientos controlados. Centro Regional INIA Carillanca

Fuente: INIA Carillanca



Foto 13. Seedlings en su primera (izquierda) y segunda etapa de evaluación en campo (derecha). Centro Regional INIA Carillanca, comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Existe también interés por parte de empresarios locales de comenzar programas de mejoramiento genético de la especie en Chile, con el fin de desarrollar nuevas variedades adaptadas a diferentes condiciones agroecológicas, de mayor rendimiento y tolerantes a enfermedades y plagas. En el caso de estas últimas, principalmente de aquellas endémicas.

Referencias Bibliográficas

Blagoeva, E., and M. Nikolova. 2010. Growth dynamics of hazelnut (*Corylus spp.*) grafted by different techniques. *Bul. UASVM Hort.* 67(1):96-100.

De Salvador, F.R. 1998. Indagine preliminare sulle caratteristiche produttive e merceologiche di alcuni presunti cloni della cultivar di nocciolo "Tonda Romana". *La coricoltura viterbese: risultati di un trienio di ricerche, Caprarola (VT), 19 dicembre.*

Ellena, M; Masia, A and Marino G. 2014. Physiological and biochemical aspect associated with the rizogenetics of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort.* 1052: 157-161.

Erdogan, V; y Mehlenbacher S.A. 2000. Interspecific Hybridation in Hazelnut (*Corylus*). *J. Amer. Soc. Hort.Sci.* 125(4):489-497.

Fideghelli and De Salvador, F.R. 2009. World Hazelnut Situation and Perspectives. *Acta Hort.* 845: 39-51.

Korac, M; Ninic- Todorovic, J; Cerovic, S and Golosin, B. 1997. Results of hazelnut grafting on Turkish filbert (*Corylus colurna*). *Acta Hort.* 445: 419-422.

Garrone, W. e Vachetti, M. 1994. La qualità delle nocciole in rapporto alle esigenze dell'industria dolciaria utilizzatrice. *Acta Hort.* 351: 641-656.

Lagerstedt, H.B. 1993. Newberg and Dundee, two new filbert rootstocks. *Proc. Nut Growers Society of Oregon, Washington and British Columbia.* p.94-101.

Limongelli, F. 1980. Selezione clonale delle cultivar de nocciolo "Tonda di Giffoni", VI Convegno Pomolo Incontro frutticolo su frutta secca" pomologica caseta: 337-342.

Limongelli, F. 1983. Selezione clonale delle cultivar di cocchiolo "Tonda di Giffoni". *Convegno Internazionalale sul Nocciolo. Avellino 22-24. Settember.* P: 253-258.

Limongelli F., Consoli D., (1996) - Il miglioramento genetico della "Tonda di Giffoni" mediante selezione clonale. *Atti del Convegno "Il nocciolo". Avellino, 27 Aprile, 95- 101.*

Mehlenbacher SA, 1994. Genetic envelopment of the hazelnuts. *Acta Horticultural*, 351. pp 23-38.

Mehlenbacher, S.A; Smith, D.C and Mc Cluskey, R.L. 2008. Sacajawea hazelnut. HortScience 43: 255-257.

Mehlenbacher, S.A; Smith, D.C; and Ma Cluskey, R.L. 2009. "Yamhill" hazelnut. HortScience 44: 845-847.

Miletic, R., Mitrovic, M., and M. Rakicevic. 2009. Contrasting fruit properties of hazelnut cultivars grown on different rootstocks. Acta Hort. 845: 283-286.

Mirotadze, N., Gogitidze, V., Mikadze, N., Goginava, L., and M. Mirotadze. 2009. Agro-ecological zones of hazelnut in Georgia. Acta Hort. 845: 291-294.

Monastra, F. Raparelli, E e Fanigliulo, R. 1997. Clonal Selective of Tonda Gentile Romana" Acta Horticultural. P 445:39-43.

Ninic-Todorovic, J; S. Cerovic, V. Ognjanov, B, Golosin, S. Bijelic, G. Jacimovic, y A. Kurjakov. 2009. Rootstocks of *Corylus colurna* for nursery production. Acta Hort. 845: 273-278.

Pop, I. F., Pamfil, D., Raica, P.A., Petricele, I.V., Botu, M., Vicol, A.C., Harta, M., and C.R. Sisea. 2010. Evaluation of the genetic diversity of several *Corylus avellana* L. accessions from the Romanian national hazelnut collection. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca J. 38(2): 61-67.

Preziosi, P. and Cartechini, A. 1979. Indagine preliminare su alcune caratteristiche merceologiche di alcuni cloni della cultivar di nocciolo Tonda Romana. Atti del Convegno "Il miglioramento della coltura del Mandorlo e del nocciolo": 67-81. Messina 29-30 novembre.

Romisondo, P, Me G, Radicati L. 1983a. Ulteriori indagini sulla selezione clonale del nocchilo cultivar Tonda Gentile delle Langhe. Convegno Internazionale sul Nocchilo Avellino 22-24 settembre, p 243-251.

Rovira, M; Cristofori, V; Sivestri, C; Celli, T; Hermoso, J.F; Tous, J; y Romero, A. 2007. Acta Horticulturae 1052: VIII International Congress on Hazelnut.

Rovira M, Tous J. 2005. Producción y viabilidad del polen. In: Rallo L, editor. Variedades de olivo en España. Madrid-Barcelona-México: Junta de Andalucía, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa; p. 295-299.

Sathuvalli, V.R. and S.A. Mehlenbacher. 2014. High resolution genetic and physical mapping of the Eastern Filbert Blight resistance region in Jefferson hazelnut (*Corylus avellana* L.). Leído en: https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr240/psw_gtr240_174.pdf

Salimi, S., and S. Hoseinova. 2012. Selecting hazelnut (*Corylus avellana* L.) rootstocks for different climatic conditions of Iran. *Crop Breeding Journal* 2(2): 139-144.

Tous, J; Romero, A; Plana, J; Rovira, M and Vargas, J.F. 1997. Performance of Negret hazelnut cultivar on several rootstocks. *Acta Horticulturae* 445: 433-439.

Tous, J., Romero, A., Plana, J., Rovira, M., and F.J. Vargas. 2009. Performance of Negret hazelnut cultivar on several rootstocks. *Acta Hort.* 845: 89-94.

Solar, A and Stampar, F. 2010. Characterisation of selected hazelnut cultivars: Phenology, growing and yielding capacity, market quality and nutraceutical value. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91(7): 1205-12.

Tombesi, A., Farinelli, D., e S. Tombesi. 2010. Le varietà per il progresso della coltura del nocciolo. *Corylus & Co.* 1: 7-16.

Valentini, N; Me, G; Vallania, R; and Zeppa, G. 2001. New hazelnut selections for direct consumption. *Acta Hort.* 686: 485-489.

Valentini, N; M. Caviglione, G. Gaiotti, M. D'Oria y G.Me (2009). Hazelnut research at the University of Torino in the frame of the Italian "CORIBIO", project. *Acta Horticulturae* vol. 845.

CAPÍTULO 11



PROTECCIÓN DEL CULTIVO

PLAGAS, ENFERMEDADES Y DESÓRDENES FISIOLÓGICOS

Alfonso Aguilera P., Ing. Agrónomo Entomólogo

Rafael Galdames G., Ing. Agrónomo Dr.

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.

Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.

Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo

El avellano europeo (*Corylus avellana* L.) es un cultivo de gran importancia. En los próximos años, los productores se enfrentarán a mayores exigencias de los mercados de destino, principalmente por la calidad global del producto. Actualmente los agricultores han satisfecho con éxito dichas exigencias, adecuando los procesos de producción de esta especie frutal de nuez. No obstante, se espera un aumento en dicha tendencia de los compradores, ante lo cual será primordial impulsar a nivel nacional el desarrollo y puesta en marcha de nuevas tácticas y estrategias de manejo sustentable de plagas, enfermedades y desórdenes fisiológicos.

El desarrollo de nuevas alternativas de prevención y control de plagas, enfermedades y desórdenes fisiológicos, plantea la importancia de identificar correctamente los insectos, patógenos y alteraciones fisiológicas, acorde con los requerimientos internacionales para aplicar los programas fitosanitarios que permitan a los productores nacionales, mantenerse en el mercado internacional de la avellana y a la vez, aumentar el valor agregado por concepto de su mejor calidad.

11.1. Plagas

El aumento de la superficie plantada con este frutal exótico también causa un desequilibrio en el agro ecosistema, favoreciendo la colonización en los huertos de organismos fitófagos, como los insectos. Ellos buscan nuevas fuentes de alimento para reemplazar su alimentación nativa, constituyéndose en una plaga clave o primaria en avellano europeo como es el caso de los cabritos del género *Aegorhinus*, donde destacan por su agresividad dos especies: el cabrito del maitén (*Aegorhinus superciliosus*) y el cabrito del coigüe (*Aegorhinus nodipennis*). La gravedad del daño ocasionado por estas especies, en avellano europeo se incrementa porque sus hábitos alimentarios deterioran al follaje y sistema radical. Las larvas de hábito subterráneo comprometen seriamente la producción y longevidad de un huerto, al horadar y anillar las raíces principales y el cuello de los árboles (Ellena *et al.*, 2012).

En relación a plagas aéreas, cabe destacar la chicharra común (*Tettigades chilensis*), insecto de importancia secundaria y ocasional; sierra del manzano (*Callisphyrus sp.*), observada con baja frecuencia causando daño en avellano; pulgón del avellano europeo, específico de este frutal en Chile (*Myzocallis corylii*) y chinches como la chinche verde (*Nezara viridula*) y chinche parda de los frutales (*Leptoglossus chilensis*) (Aguilera, *et al.*, 2011).

11.1.1. Plagas subterráneas

11.1.1.1. Cabrito del maitén

Distribución, apariencia y hábitos.

Este insecto se distribuye desde las regiones del Maule a Los Lagos. Presente también en Argentina con registro de Neuquén (Arias, 2000; Aguilera, 1995; Aguilera, 1996a; Aguilera, 1996b; Artigas, 1994). En relación a su diagnóstico, los adultos del Cabrito del maitén son grandes, de 1,50 cm de longitud, alargados, robustos, oscuros, rugosos, fuertemente esclerosados, algunos ejemplares totalmente negros. Cabeza redonda, ojos globosos separados, finamente facetados, brillantes; antenas acodadas de diez segmentos; rostro prolongado. Tórax con escamas blancas esparcidas en su superficie. Pronoto más ancho que largo, con puntuaciones gruesas e irregulares. Élitros con el área humeral desarrollada, estrías con puntuaciones gruesas e irregulares, con siete bandas o filamentos blancos, grises o celestes en el dorso, transversales a su largo. Patas negras, largas, fuertes, con tarsos bien desarrollados, el último alargado y provisto de dos uñas terminales (Aguilera *et al.*, 2012).



Foto 1. Adulto del cabrito del maitén.

Fuente: INIA Carillanca

El huevo es blanco cremoso, amarillento o café claro, algo oval, mide 0,13 cm de diámetro. Larva ápoda, blanca cremosa. Cabeza expuesta, café, con sus piezas bucales muy esclerosadas, duras, resistentes. Recién emergida mide 0,15 cm y plenamente desarrollada alrededor de 2,0 cm. Pupa exarata de 1,5 cm de largo por 0,80 cm de ancho máximo, blanca cremosa, con setas cafés, cortas como espinas y destacadas en el dorso.



Foto 2. Larva y pupa del cabrito del maitén.

Fuente: INIA Carillanca

La hembra adulta del cabrito del maitén ovipone en el suelo muy cerca del cuello del árbol, prácticamente en la superficie, cubriendo los huevos con una sustancia mucilaginosa y con sus propias excretas. También puede depositarlos en el cuello del hospedero. Por la condición de la postura, los huevos son difíciles de ubicar a simple vista. Después de la postura los huevos tardan 28 a 35 días en eclosionar. Las larvitas recién nacidas o neonatas se entierran un tanto y se alimentan de raicillas. Durante el desarrollo larvario ocurren varias mudas, siendo esta fase del insecto la más prolongada y variable en tiempo, entre 289 y 428 días, representando el 86% del ciclo vital del cabrito del maitén. Durante este período, subterráneamente consume raíces y se introduce a la raíz principal, donde se aloja para pupar en un habitáculo que construye con parte del material vegetal que devora (Aguilera *et al.*, 2011; Aguilera *et al.*, 2012).

El período de pupación demora entre 15 a 49 días y luego se reanuda el ciclo, con la emergencia del adulto después de un año o más desde su primera postura. En la Figura 1, se muestra el ciclo estacional del cabrito del maitén, con sus estados de desarrollo (Aguilera y Rebolledo, 2001).

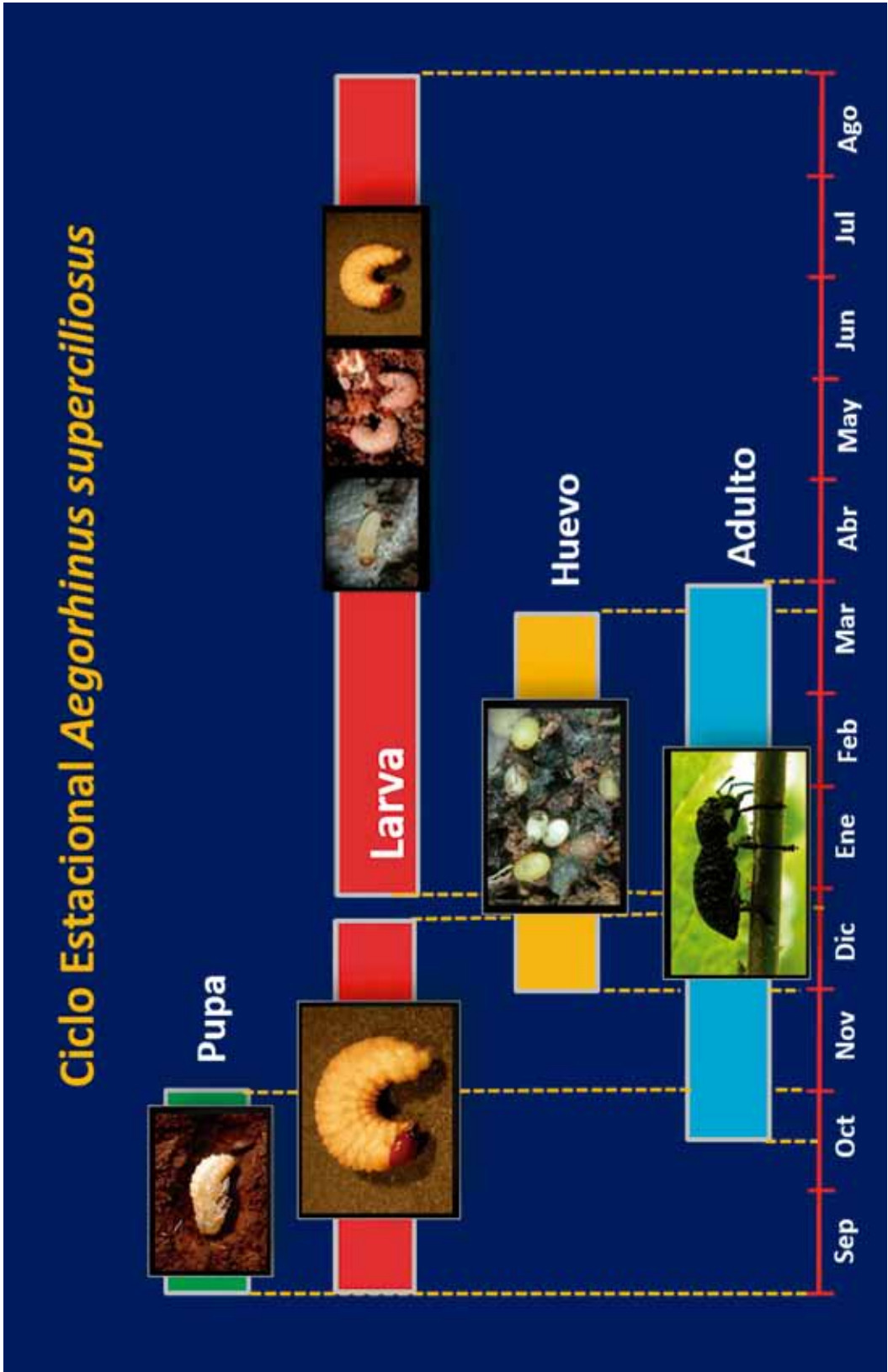


Figura 1. Ciclo estacional del cabrito del maitén (Aguillera et al., 2012).

Hospederos y daños.

En el Cuadro 1 se presenta un listado de los hospederos nativos y exóticos registrados en el sur de Chile.

Cuadro 1. Hospederos del cabrito del maitén en el sur de Chile.

| Hospederos Nativos | Hospederos Exóticos |
|---|--|
| Avellano chileno, (<i>Gevuina avellana</i>) | Abedul, (<i>Betula pendula</i>) |
| Canelo (<i>Drymis winteri</i>) | Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i>) |
| Coigüe (<i>Nothofagus dombeyi</i>) | Arándano ojo de conejo (<i>Vaccinium asheyi</i>) |
| Chilca (<i>Baccharis racemosa</i>) | Astilbe (<i>Astilbe arendsii</i>) |
| Maitén (<i>Maytenus boaria</i>) | Avellano Europeo (<i>Corylus avellana</i> L.) |
| Zarzaparrilla (<i>Ribes sp.</i>) | Ciruelo (<i>Prunus salicina</i>) |
| | Frambueso (<i>Rubus idaeus</i>) |
| | Frutilla (<i>Fragaria chiloensis x ananassa</i>) |
| | Grosello (<i>Ribes grosularia</i>) |
| | Listris (<i>Liatris spicata</i>) |
| | Lirio (<i>Iris reticulata</i>) |
| | Manzano (<i>Malus domestica</i>) |
| | Membrillo (<i>Cydonia oblonga</i>) |
| | Mora (<i>Rubus constrictus</i>) |
| | Peonia (<i>Paeonia lactiflora</i>) |
| | Romaza (<i>Rumex crispus</i>) |
| | Sauce (<i>Salix viminalis</i>) |
| | Zarzaparrilla negra (<i>Ribes nigrum</i>) |
| | Zarzaparrilla roja (<i>Ribes rubrum</i>) |

Fuente: Adaptado de Ellena *et al.*, (2012).

Es conocido el daño que estos insectos causan al estado adulto y de larva en especies frutales del sur de Chile como arándano, zarzaparrilla, frambueso, frutilla, mora; también se menciona atacando ciruelos, durazneros, manzanos, perales, árboles del bosque nativo y especies ornamentales. Se estima que el cabrito del maitén es uno de los insectos más nocivos en el cultivo de frutales arbustivos. En frambueso se considera que dos adultos por planta, en promedio causan daños severos al cultivo.

En avellano europeo los adultos consumen follaje, principalmente los brotes tiernos y las nervaduras de las hojas, provocando defoliaciones y retraso en el desarrollo de las ramillas.



Foto 3. Avellano europeo joven (izquierda) con síntoma de ataque por larvas del "cabrito" Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía, y huerto adulto (derecha) con ataque grave del "burrito" comuna de Osorno, sector Trumao, Región de Los Lagos.

Fuente: INIA Carillanca

Las larvas inicialmente pequeñas consumen raicillas y a medida que crecen se alimentan de la raíz. En sus estadios avanzados se introducen en ellas haciendo galerías, alojándose en la raíz principal cerca del cuello para terminar su desarrollo, pasando por estado de pupa para alcanzar el estado adulto. El imago abandona la cámara pupal desde el interior de la raíz principal y emerge a la superficie para comenzar a alimentarse del follaje.

Se ha demostrado que una larva compromete el desarrollo normal del árbol, el cual se resiente en la temporada siguiente (Aguilera *et al.*, 2012). Por otra parte, se ha determinado que un par de larvas que se desarrollen en la raíz principal del avellano europeo durante la temporada es suficiente para dar muerte al árbol. La mayor cantidad de larvas contabilizadas en un árbol de cinco años que se secó fue de cinco larvas del cabrito del maitén, ubicadas entre el cuello de la planta y la raíz principal.

Control químico del cabrito del maitén

A través de estudios realizados por el Centro Regional INIA Carillanca bajo condiciones de campo, se determinó que el insecticida phosmet (en formulación 70 WP) es una alternativa para el control del insecto (estado adulto) en plantaciones de avellano europeo, en una dosis de 105-140 g de ingrediente activo por 100 litros de agua después de 48 horas de la aplicación (Aguilera *et al.*, 2012).

En opinión de algunos productores (sin datos publicados), insecticidas como bifentrin y la mezcla comercial de thiometaxam + lambdacihalotrina constituyen también otra posibilidad para controlar este insecto.

11.1.1.2. Cabrito del coigüe

Distribución, apariencia y hábitos

En Chile su distribución se registra desde las regiones del Maule a la de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo (Klein y Waterhouse, 2000). También su presencia se menciona para las provincias de Neuquén y Chubut en la República Argentina. Respecto a la diagnosis, los adultos tienen el cuerpo alargado de 1,3 a 1,8 cm de largo y 0,3 a 0,6 cm de ancho máximo en el medio del cuerpo. Estos son negros, no brillantes con escasa pubescencia. Cabeza con proyecciones laterales cortas entre los ojos globosos, separados, finamente facetados; rostro rectangular y tan largo como el ancho de la cabeza; antenas de diez segmentos, acodadas del mismo color del cuerpo con escamas blancas en la parte posterior, insertas en la mitad del rostro, con el pedicelo globoso hacia el ápice y de la mitad del largo del resto de la antera. Tórax negro mate, rectangular, más largo que ancho, algo globoso, puntuado, con escamas blancas en los costados a la altura del primer par de patas, élitros notoriamente más puntuados que el protórax, con filas longitudinales paralelas y de dos proyecciones corniformes destacables en el tercio posterior descendente y bajo ellos máculas escamosas y blancas. Patas largas del tipo caminadoras, con manchas escamosas blancas o azul violeta en la parte apical de los fémures, también en los tarsos, que además tienen las almohadillas con el sector inverso amarillento, terminando con uñas fuertes. Ventralmente negro, cerdoso, algo brillante, con manchas blancas escamosas entre las coxas. También en los costados entre las patas y el centro del primer al cuarto segmento abdominal y en el sector lateral de los mismos (Aguilera *et al.*, 2012).



Foto 4. Adulto del cabrito del coigüe.

Fuente: INIA Carillanca

En relación al huevo, es de color amarillento, algo ovalado de 0,14 cm de largo y 0,1 cm de ancho. La larva de este insecto es blanca, pilosa, de 0,25 a 0,28 cm de largo recién emergida, plenamente desarrollada mide 2 cm de largo, con la cabeza café con un ancho de 0,06 cm, expuesta. Pupa exarata, similar a la del cabrito del maitén (Aguilera *et al.*, 2012).

El cabrito del coigüe es un insecto univoltino, con un ciclo vital similar al cabrito del maitén. Sin embargo, no se conocen detalles de su desarrollo. En condiciones de laboratorio se ha observado que durante su periodo de postura, la hembra no cubre los huevos con exudaciones y excretas. Probablemente en condiciones de campo tiene un hábito diferente, por ello es necesario estudiar en detalle los aspectos biológicos de esta especie de cabrito, aún desconocido, como ocurre con la mayoría de las especies nativas y endémicas del país. La larva inicialmente come raicillas y a medida que crece se alimenta de raíces y horada la raíz principal haciendo galerías, alojándose cerca del cuello del árbol para pupar, donde forma una cámara rodeada de aserrín.

El adulto emerge del suelo en primavera y sube al follaje para alimentarse de la vegetación, especialmente de los brotes tiernos. La cópula se efectúa en el follaje y la postura de huevos la hembra la realiza cercana al cuello del árbol. Tanto adultos como larvas del cabrito del maitén y del coigüe suelen encontrarse al mismo tiempo en el mismo hospedero. Por lo tanto, deben ser consideradas especies simpátridas y sincrónicas (Aguilera *et al.*, 2012).



Foto 5. Huevos del cabrito del maitén (*Aegorhinus nodipennis*).

Fuente: Entomólogo Ernesto Cisterna, INIA La Cruz

Hospederos y daños

Entre los principales hospederos destacan: avellano chileno, canelo, coigüe, maitén, ulmo. En abedul (*Betulaceae*), especie exótica, es particularmente agresiva. En frutales se ha observado asociado al arándano, duraznero, ciruelo, manzano, membrillo, palto y nogal (Ellena *et al.*, 2012; Carrillo, 1993; Casals, 1993).

En avellano europeo el daño a las raíces se manifiesta durante el verano, con el amarillamiento de las hojas y su posterior caída, de preferencia aquellas que se encuentran en los extremos de las ramillas y ramas, afectando notoriamente el crecimiento del árbol.



Foto 6. Árbol adulto (izquierda) de avellano europeo con síntomas de ataque por cabrito del coigüe, Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía. Y árbol adulto de avellano europeo muerto por ataque de cabrito del coigüe (derecha), Comuna de Osorno, sector Trumao, Región de Los Lagos.

Fuente: INIA Carillanca

Los adultos se alimentan eligiendo las ramillas del año, consumiendo la corteza aún verde, con un efecto similar a un anillado, secando la ramilla o rama, produciéndose posteriormente el quiebre de las mismas. Con la llegada del otoño algunos adultos suelen alimentarse de los amentos de avellano europeo. Al igual que el cabrito del maitén, el ataque del cabrito del coigüe en su estado adulto puede provocar la muerte del árbol.

Control

No hay registros de enemigos naturales entomófagos asociados al cabrito del coigüe. Se ha determinado la presencia de hongos entomopatógenos asociados a larvas del cabrito del coigüe (Ellena *et al.*, 2012; Prado, 1991).

La prevención y control de estos insectos debe realizarse a través de un manejo integrado, ya que el control químico siendo eficiente en un principio, produce resistencia y baja eficiencia para la prevención y control de plagas.

La necesidad de encontrar mecanismos que eleven la productividad de los huertos ha impulsado la búsqueda de estrategias de control de plagas agrícolas que sean alternativas y complementos eficientes al control químico, que impliquen además un bajo riesgo ambiental. De esta necesidad surge un nuevo enfoque denominado Manejo Integrado de Plagas (MIP) que retoma prácticas agrícolas antiguas y, al mismo tiempo, incorpora nuevas tecnologías ambientalmente seguras. Entonces, la mejor alternativa para el control de plagas, se encuentra en el MIP, el cual no había sido viable debido a la eficiencia mostrada por los insecticidas químicos.

El concepto de manejo integrado supone la combinación de métodos, con el objetivo de lograr mejores resultados con un mínimo de impacto ambiental, lo cual justifica la necesidad de un plan de integración de métodos.

Prácticas culturales

Estas modifican el agro-sistema de tal forma que resulte menos propicio para el desarrollo de la plaga. En caso del avellano se pueden sembrar abonos verdes con propiedades biocidas y repelencia (crucífera y leguminosa lupino amargo) y realizar control de malezas. La época ideal de siembra para lograr una mayor producción de biomasa y de compuestos biocidas es en otoño (Ellena, 2010).

Control físico y mecánico

Este tipo de control se refiere a la utilización de barreras físicas o acciones mecánicas que se pueden aplicar a los huertos de avellano.



Foto 7. Barreras físicas, 3ra. Faja, comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Control biológico

Consiste en la introducción de organismos (en los agro-ecosistemas) que son enemigos naturales de las plagas. Este enfoque no pretende erradicar al organismo problema, sino mantener su población hasta un nivel que no interfiera con la producción de los árboles de avellano. Para dicha especie, se están empleando entomopatógenos (hongos y nemátodos) que parasitan al estado larvario del cabrito.



Foto 8. Agente entomopatógeno parasitando adulto de cabrito.

Fuente: Entomólogo, Sr. Alfonso Aguilera

Aplicación del manejo integrado de plagas en *Aegorhinus*

Para desarrollar un manejo integrado de plagas en avellano europeo es necesario considerar las diversas tecnologías de control mencionadas anteriormente. Estimar adecuadamente el riesgo de la plaga, de acuerdo con los estados de desarrollo del huerto y del período crítico de daño. En este sentido, se debe realizar un muestreo para hacer un seguimiento a la población de la plaga, y así determinar si se debe actuar o no, cuándo y cómo.

Las técnicas de manejo integrado de plagas que consideran control químico, biológico, físico y mecánico tienen por finalidad lograr un efecto sinérgico entre ellas y por lo tanto, una prevención y control más eficaz de las plagas. En la actualidad los productores están usando principalmente control químico con alto costo y baja eficiencia, de manera especial para el control de estados larvarios, ya que los productos utilizados no logran llegar eficazmente al sitio donde se encuentran alojadas las larvas (cuello de los árboles). Lo anterior, se debe al desconocimiento de técnicas de aplicación adecuadas, productos eficaces, dosis de producto, momento de aplicación y número de aplicaciones.

Para el control químico de estados larvarios y adultos se recomienda emplear conjuntamente el control biológico (a fin de parasitar estados larvarios), control físico y mecánico para evitar la llegada de adultos a ovopositar los árboles. Lo anterior, impide el aumento de las poblaciones de la plaga en huertos y el desequilibrio entre las distintas poblaciones de insectos en las especies de *Aegorhinus*.

11.1.2. Plagas aéreas

Existe una serie de plagas aéreas en avellano europeo que tienen importancia solo secundaria, ocasional y potencial. En el caso de las plagas secundarias, a pesar de estar presentes en el huerto, en determinadas ocasiones suelen sobrepasar el nivel de daño económico, siendo necesario su control durante una oportunidad en la temporada (Aguilera *et al.*, 2011). Las plagas ocasionales se definen como aquellas que no siempre están presentes en el huerto y cuando aparecen, de acuerdo al nivel poblacional, se requerirá efectuar algún tipo de control. Las plagas potenciales son aquellas presentes en los árboles de avellano con un nivel poblacional bajo el umbral de daño económico, por lo que no es necesario efectuar tratamientos para su control (Aguilera *et al.*, 2012).

11.1.2.1. Pulgón del avellano europeo

Distribución, apariencia y hábitos

Uno de los insectos (plaga) más importantes del follaje asociados con *Corylus avellana* L., es el pulgón del avellano, *Myzocallis coryli* (Goeze) (Hemiptera: Homoptera: Aphididae), considerado específico y único en huertos de avellano para esta especie en Chile (Aguilera *et al.*, 2011), por lo tanto se comporta como holocíclico monoico (Aguilera *et al.*, 2012).

El pulgón del avellano europeo ha sido nominado en diferentes países como uno de los principales insectos plaga del follaje y en otros arbustos y árboles del género *Corylus*, debido a que bajo condiciones ambientales favorables incrementa velozmente su población y eventualmente alcanzaría hasta 8 generaciones de hembras partenogénicas (Aguilera, 2006). Los estudios realizados en el país han determinado que solo está presente en *Corylus avellana* L., siendo considerado específico y además la única especie de áfido registrada a la fecha en avellano europeo (Aguilera, 2006). *Myzocallis coryli* puede considerarse una plaga potencial para el avellano europeo. En algunas áreas de cultivo puede aparecer en grandes cantidades, justificando el uso de algún método de control.

Este áfido es de color amarillo claro, cuerpo suave, blando con algún grado de pilosidad; vive formando colonias en el envés de las hojas se inverna como huevo. El insecto presenta ejemplares alados a través de todo el ciclo vegetativo del árbol. Entre los pulgones existentes, esta especie es considerada de tamaño pequeño (1,3-2,2 mm de largo), (Aguilera, 2006).



Foto 9. Ejemplar alado de pulgón del avellano.

Fuente: Entomólogo, Sr. Alfonso Aguilera

Los huevos son de tipo ovalado y redondeados en sus extremos. a la postura presentan un color amarillo pálido y en la medida que el embrión se desarrolla, previo a la eclosión, durante el período primaveral, los huevos adquieren un color oscuro casi negrozco brillante. Al dejar el huevo su desarrollo comprende 4 mudas, produciendo adultos tipo alados con reproducción no sexuada. En la primavera, precozmente los pulgones se encuentran a nivel de las yemas de los brotes y enseguida se movilizan a las hojas nuevas.

Se ha determinado que las poblaciones del pulgón del avellano decaen fuertemente con elevadas temperaturas y baja humedad ambiental durante el verano. En la medida que la temperatura disminuye o aumenta la humedad ambiental, se ha observado que las poblaciones han aumentado paulatinamente (Aguilera, 2006). Estudios realizados en la zona sur de Chile han evidenciado que en una temporada se pueden producir hasta 8 generaciones o más de hembras partenogénicas del pulgón del avellano. Cabe destacar, que al momento de caída de hojas se ha observado la aparición de formas sexuadas. Respecto a la deposición de los huevos, se ha determinado que las hembras colocan los huevos invernales en los ángulos internos de la unión de ramillas o en la base de las yemas. En estas estructuras vegetativas los huevos permanecen hasta la primavera siguiente, a fin de reanudar el ciclo.

Esta especie de áfido es holocíclica monoica, es decir desarrollan su ciclo vital completo en una sola especie vegetal (Aguilera, 2006; Aguilera *et al.*, 2011).

Daño ocasionado por el pulgón del avellano

El daño que provoca es el debilitamiento general del árbol y en consecuencia, reducción del rendimiento y calidad de las avellanas por la savia que extraen del árbol. En las variedades polinizadoras, un ataque fuerte de pulgones produce un debilitamiento de los árboles (afectando su desarrollo), con menor producción de inflorescencias masculinas y por tanto, menor producción y disponibilidad de polen para una buena polinización de la variedad principal. Lo anterior afecta la producción y calidad de las avellanas (Ellena, 2010). Además, este insecto como parte de su función nutritiva secreta abundante mielecilla que deposita en las láminas foliares, involucros y frutos, deteriorando fuertemente la calidad de las avellanas, particularmente en el aumento de frutos vanos. Por otra parte, la mielecilla dificulta la labor de recolección de las avellanas y ensucia los equipos y elementos empleados para dicha labor, en especial cuando sobre el líquido viscoso se desarrolla un hongo saprófito *Aschersonia*, conocido normalmente como fumagina, abundante a mediados de verano y comienzo de otoño.

Respecto a la transmisión de virosis, científicamente no se ha evidenciado que este áfido sea vector de virus.



Foto 10. Fumagina en fruto de avellano.

Fuente: Entomólogo, Sr. Alfonso Aguilera

Niveles poblacionales

Estudios realizados en Estados Unidos (Oregon), principal área productora del avellano en dicho país, han demostrado que huertos manejados intensivamente y con frecuentes tratamientos de insecticidas han aumentado con fuerza los niveles poblacionales de este áfido, con fluctuaciones de 200-300 pulgones por hoja, en comparación con huertos no tratados con insecticidas en los cuales se han observado poblaciones que no superan los 10 pulgones por planta (Aguilera, 2006).

Investigaciones realizadas en la Región de La Araucanía han mostrado niveles poblacionales que fluctúan entre 0,04-9,44 pulgones cm^{-2} de hoja, variación debida principalmente a la influencia de la temperatura y de la humedad relativa. En períodos con temperaturas superiores a 21°C y ambiente relativamente seco, se ha determinado que las poblaciones del pulgón han decrecido a niveles (promedio) de 0,26 pulgones cm^{-2} . Además, se ha observado que cuando la temperatura ha oscilado entre 15 y 18°C aumentans ignificativamente los niveles de pulgones (5,54 pulgones cm^{-2}) (Aguilera, 2006).

INIA ha introducido enemigos naturales, como es el caso de un microhimenóptero (*Tryoxis pallidus*) que ha efectuado un buen control de la plaga a nivel de huerto. Mantener e incrementar la fauna auxiliar mediante la utilización de cubiertas vegetales y setos en los contornos, junto con una nutrición racional del huerto, son las claves que determinan

los niveles poblacionales de áfidos. No obstante, debido a su crecimiento exponencial es necesario monitorear la aparición de las primeras colonias para efectuar un adecuado control si el nivel poblacional lo amerita y sobre todo, si han ocurrido daños en temporadas anteriores. Es factible utilizar el jabón potásico que tiene cierto efecto insecticida y también actúa contra la fumagina al causar el secado de la mielecilla y también el empleo de extracto de Neem y piretrinas de origen natural. Por otra parte, como medida preventiva y solamente en el caso de fuertes ataques en la temporada anterior, contra los huevos de invierno podrían emplearse productos a base de aceites parafínicos y evitar su desarrollo.

11.1.2.2. Sierra

Distribución, apariencia y hábitos

La sierra (*Callisphyrus macropus*) es un coleóptero presente en Chile y observado con baja frecuencia, produciendo daño en avellano europeo. La presencia de este insecto puede ser determinada al observar ramas secundarias o terciarias muertas, sin hojas durante el período de crecimiento del árbol.



Foto 11. Adulto de sierra y larva.

Fuente: INIA Carillanca

Daño

La larva de este insecto penetra al interior del tronco y rama al salir del huevo, produciendo una galería con un orificio en el eje central de estas estructuras y construcción de galerías laterales del avellano. La galería que produce la larva, de 8 a 9 mm de diámetro, tiende a continuar el eje de laterales con el fin de eliminar el aserrín y una galería de tipo circular que finalmente ocasiona el quiebre de la rama. Como ya se indicó, la frecuencia de daño es bastante baja a nivel de huertos comerciales, observándose un mayor nivel de daño en árboles adultos abandonados y sin manejo agronómico. También se ha visto que en huertos nuevos, el ataque se ubica preferentemente a nivel del eje central, secando parte de la planta o el secado total de ella en su parte aérea.



Foto 12. Galería en tronco de avellano europeo causado por sierra.

Fuente: Entomólogo, Sr. Alfonso Aguilera

Control

En relación a los enemigos naturales, no existen registros de estos entomopatógenos de la sierra (Aguilera *et al.*, 2011).

Los tratamientos químicos preventivos no se justifican en el adulto, ya que el período de vuelo es prolongado y además en huertos comerciales la plaga es ocasional. Sólo se visualiza a mediados de verano, cuando se produce la salida de aserrín desde el orificio externo de la galería. Sin embargo, se ha observado que este fenómeno es más evidente a inicios de otoño. Con el objetivo de frenar el desarrollo de la larva y evitar un deterioro mayor del árbol, se recomienda ubicar y limpiar el orificio y luego proceder a inyectar un insecticida, preferentemente de tipo sistémico durante el verano y con cierta acción fumigante en otoño. Luego sellar el orificio con pasta de sellar o cera (Aguilera *et al.*, 2011).

11.1.2.3. Chicharra grande común

Distribución, apariencia y hábitos

Este insecto tiene importancia secundaria y ocasional en avellano europeo. No obstante, adquiere mayor importancia en temporadas en que los niveles poblacionales son altos, produciéndose severos daños a nivel de ramillas nuevas. Se ha detectado la plaga ocasionando daños en plantas nuevas de avellano entre las regiones del Maule y Los Lagos. En la zona sur es más frecuente su ataque, particularmente en algunas localidades de la Provincia de Malleco (Región de La Araucanía), en huertos de avellano vecinos a plantaciones de especies exóticas como eucaliptus.

Las chicharras adultas son insectos que miden entre 2 a 3 cm de largo y con las alas extendidas alcanzan una envergadura de 6 a 7 cm. Son insectos de tamaño medio a grande, cuerpo vigoroso, robusto, triangular, dorso oscuro y ventralmente gris piloso. Cabeza grande tan ancha como el tórax; negra con ojos muy notorios, ubicados lateralmente en el borde de la cabeza, ampliamente separados y finamente facetados; manchas rojizas detrás de los ojos; ocelos presentes; antenas cortas, delgadas, setiformes, insertas en la parte anterior de la cabeza; aparato bucal picador chupador, opistognato. El tórax es ancho, de color negro con manchas rojas en los bordes, cuatro alas anteriores más largas que las posteriores, las cuales en reposo sobrepasan el abdomen; patas bien desarrolladas, siendo las anteriores más largas que las meso y metatorácicas. El abdomen es de color negro, con los últimos segmentos muy ahusados. Los machos poseen al costado del primer segmento abdominal un sistema estridulador que lo hacen vibrar con el fin de atraer a las hembras en el período de apareamiento; la hembra ventralmente posee un aparato reproductor notorio, particularmente el sector que emplea para colocar sus huevos (Aguilera, 2006).

La hembra, dependiendo de la temperatura, coloca los huevos en ramillas que no tienen más de 2,5 cm de diámetro en el sector expuesto al norte. Esta actividad ocurre durante el verano (diciembre-enero), período que coincide con el canto de la chicharra durante los días de mayor calor. Los huevos en número de 10 a 15 son introducidos en la ramilla con la ayuda del ovipositor, produciendo una notoria lesión en el leño aún no lignificado. En una misma ramilla la hembra puede colocar hasta 200 huevos en varias posturas, produciendo un daño que suele ocasionar la muerte de la ramilla o el quiebre de éstas por las profundas heridas ocasionadas por su oviscapto. Los machos mueren después de la cópula y las hembras después de la postura (Aguilera, 2006).

Las ninfas rojizas emergen de los huevos a los 30 o 45 días, salen de las heridas y se dejan caer al suelo y se entierran buscando las raicillas con el fin de alimentarse. Allí permanecen durante dos a cuatro años, emergen y se transforman en adulto para reiniciar su ciclo.

En huertos jóvenes, con presencia de bosque nativo y especies exóticas como eucaliptus, el daño por ovipostura en el tronco y ramillas puede ser extraordinariamente severo.



Foto 13. Adulto y galería en tronco de avellano europeo causado por chicharra.

Fuente: Entomólogo, Sr. Alfonso Aguilera

Control

A este insecto no se le conocen enemigos naturales entomófagos y su control químico con insecticidas convencionales no ha sido del todo exitoso (Aguilera, 2006). Estudios realizados por INIA Carillanca en el secano interior de la Provincia de Malleco, Región de La Araucanía, han mostrado que tratamientos con pintado de cal en los sectores de ramillas expuestas al norte antes de la postura, evita la postura de las hembras (Aguilera, 2006).

11.1.2.4. Chinche verde

Distribución, apariencia y hábitos

Este insecto es considerado una especie cosmopolita y se encuentra distribuido en el país desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Magallanes, y también con presencia en Isla de Pascua (Aguilera *et al.*, 2011).

Daños

El chinche verde (*Nezara viridula*) pasa el invierno en estado de adulto. En general, se ubica en la cara inferior de la lámina foliar del avellano europeo (alimentándose). Sin embargo, el daño mayor se produce en los frutos, sobre los que comienzan los ataques desde las primeras etapas del desarrollo. Por la picadura que causa el insecto emerge un líquido oscuro que forma pequeñas manchas de tipo irregular y de un colorido negruzco, muy visibles desde el exterior del fruto.

En el caso que el ataque tenga lugar cuando las avellanas alcanzan entre 7 a 8 mm, los tejidos involucrados alrededor de la zona afectada se necrosan, adquiriendo un color parduzco y otorgando al fruto un sabor extremadamente amargo. Un fruto atacado por chinche verde no tiene valor comercial por lo indicado anteriormente. En general, las picaduras se presentan en el ápice y durante el proceso de partidura de la fruta se visualizan las manchas blanquecinas, parduzcas y tipo porosas. Estos insectos podrían ocasionar elevadas pérdidas en la calidad de las avellanas, particularmente en el peso y sabor.

Hospederos

Este insecto se considera una especie polífaga, registrada en diferentes especies frutales arbóreas, especies hortícolas, cultivos industriales y pratenses como en alfalfa y tréboles (Aguilera *et al.*, 2012).

Control

Este insecto presenta como enemigo natural entomófago a un taquinido (Diptera) *Ectophasiopsis arcunata* Bigot (Aguilera *et al.*, 2011).

En relación a los tratamientos químicos, se sugieren insecticidas de acción de ingestión y contacto de síntesis orgánica como un carbamato, fosforado o piretroides (Aguilera *et al.*, 2011). Es considerada como una plaga secundaria u ocasional en huertos de avellano europeo, particularmente en la zona sur de Chile.

11.1.2.5. Chinche parda

Daño

En avellano europeo su picadura produce una depresión a nivel de órganos afectados por este insecto. En la zona sur se han observado bajas poblaciones que causan daño económico al cultivo. Por esta razón se considera una plaga potencial para avellano europeo. No obstante, por ser un insecto endémico es una plaga cuarentenaria para la exportación (Aguilera, *et al.*, 2011).

Hospederos

Este insecto se ha detectado en diferentes especies como hortalizas (espárragos, alcachofas); plantas frutales arbóreas (manzano, duraznero, ciruelo, damasco, cerezo, pistacho); en plantas leñosas tipo enredaderas (vid); frutales menores (arándanos, frambuesa, zarzaparrilla); especies arbóreas nativas (peumo, litre, quillay, boldo) y cultivos anuales (maíz, lupino).



Foto 14. Adulto de chinche parda de los frutales o “patas de hoja”.

Fuente: Entomólogo, Sr. Alfonso Aguilera

Control

Para este insecto se ha detectado como enemigo natural entomófago a la mosca *Hyalomyia chilensis* Macq. (Diptera: Tachinidae) y una avispa del género *Hadronotus* sp. (Hymenoptera: Scelionidae), (Aguilera *et al.*, 2011).

En relación al control químico es necesario de acuerdo al nivel poblacional, aplicar productos organofosforados al observar movimiento de la plaga. En la zona sur del país, este insecto es considerado como plaga potencial, por ello no se requieren tratamientos con productos insecticidas (Aguilera *et al.*, 2011).

11.2. Enfermedades del Avellano Europeo

Introducción

A nivel mundial se han descrito alrededor de 50 enfermedades afectando al avellano europeo, producidos por hongos, bacterias, nemátodos, virus, fitoplasmas, así como también desórdenes fisiológicas y de origen incierto (Teviotdale *et al.*, 2002). En Chile, el número de enfermedades reconocidas a la fecha es incipiente, con información básicamente descriptiva de los patógenos asociados y la sintomatología que ocasionan principalmente en plantas (pre cosecha) y frutos (post cosecha), y con limitados antecedentes del impacto o pérdidas que pudiesen estar ocasionando. Varios aspectos epidemiológicos de las enfermedades aquí descritas y sus medidas específicas de control requieren de investigación.

El tizón bacteriano, causado por *Xanthomonas campestris* pv. *Corylina*, enfermedad ampliamente distribuida en el mundo, representa para Chile y particularmente para la Región de La Araucanía la enfermedad de mayor relevancia (Lamichhane *et al.*, 2012 a). Tal vez, en la medida en que se incrementa el número de huertos en régimen productivo, podrían adquirir importancia otras patologías en el país.

Como la expresión de cualquier enfermedad y su impacto en la productividad y/o calidad del fruto está fuertemente influenciada por factores ambientales, la diversidad de condiciones agroecológicas propias de la amplia zona productora donde esta especie se cultiva en el mundo, determina variaciones importantes en la prevalencia de las diferentes enfermedades que la afectan. El denominado tizón del avellano Eastern Filbert Blight, causado por el hongo *Anisogramma anómala*, que afecta varias zonas productoras del norte de Estados Unidos y parte de Canadá, es considerado una de las enfermedades más importantes (Mehlenbacher *et al.*, 1994) y en consecuencia de alto riesgo para países donde ella no está presente.

Por otra parte, el virus del mosaico del manzano (ApMV) se ha descrito de gran importancia en España (Rovira y Aramburu, 2001) y las enfermedades bacterianas (cáncer y tizón bacteriano, causadas por *P. avellanae* y *X. arboricola* pv. *corylina*, respectivamente) en Italia (Scortichini, 2001; Lamichhane *et al.*, 2012 a). Hasta el momento nuestro país está libre del tizón del avellano una de las enfermedades potencialmente más dañinas, lo cual representa una ventaja comparativa para fines productivos y de exportación. Por lo tanto, es muy importante mantener las medidas cuarentenarias que reducen el riesgo que sea introducida al internar material de propagación vegetativa.

A continuación se describen las enfermedades detectadas y descritas más relevantes en Chile, de tal manera que estos antecedentes orienten un adecuado diagnóstico. Dado que las medidas de control más efectivas son de carácter preventivo, también se hace énfasis en aspectos epidemiológicos de las diferentes enfermedades, así como de manejo, para reducir el riesgo que éstas se desarrollen.

Cuadro 2. Enfermedades asociadas al cultivo del avellano (*Corylus avellana* L.) en Chile.

| Causadas por bacterias | Nombre y/o lesiones que ocasiona | Agente causal |
|--------------------------------------|--|--|
| | Tizón bacteriano | <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>corylina</i> (= <i>X. campestris</i> pv. <i>corylina</i>) |
| | Cancro bacterial, tizón bacterial | <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i> |
| | Agalla de la corona | <i>Agrobacterium tumefaciens</i> |
| Causadas por hongos o pseudohongos | Pudrición de raíces | <i>Armillaria mellea</i> |
| | Pudrición de corona y raíces | <i>Phytophthora</i> sp. |
| | Pudrición de raíces/Pudrición carbonosa de raíces | <i>Cylindrocarpon</i> sp., <i>Sclerotinia minor</i> <i>Macrophomina phaseolina</i> |
| | Cancros en ramas y ramillas, cancro y muerte regresiva | <i>Diaporthe australafricana</i> <i>Diaporthe/Phomopsis</i> |
| | Atizonamiento y cancro de tallos y ramillas | <i>Diplodia coryli</i> |
| | Moho de postcosecha en fruto | <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium</i> sp., <i>Aspergillus niger</i> , <i>Penicillium</i> spp., <i>Rhizopus stolonifer</i> , <i>Tichothecium roseum</i> |
| De origen desconocido o fisiológicas | Avellanas vacías o con grano arrugado Mancha café Avellanas vacías o con grano arrugado Mancha café Amentos y glomérulos en grupos Amentos deformes | Desconocido |

11.2.1. Enfermedades causadas por bacterias

11.2.1.1 Tizón bacteriano (*Xanthomonas arboricola* pv. *corylina* (= *X. campestris* pv. *corylina*))

El tizón bacteriano fue descrito por primera vez asociado a *Corylus máxima*. Hoy está presente en países productores de avellano europeo de todos los continentes, lo que representa una seria amenaza para la producción. En Chile se detectó por primera vez en el año 1985, afectando árboles jóvenes de un jardín experimental de plantas provenientes de Oregon (Guerrero y Lobos, 1987), ocasionando lesiones en hojas, yemas, ramas y tronco. Particularmente en la Región de La Araucanía, se considera la principal enfermedad cuya incidencia ha sido estimada entre un 60-90% en viveros y plantaciones en campo (Lamichhane *et al.*, 2012b). Con frecuencia esta enfermedad ocasiona un mayor daño en plantas jóvenes (1-4 años). Las plantas adultas pueden afectarse, pero rara vez ocasiona su muerte, aunque su rendimiento puede ser reducido.

El principal síntoma ocasionado por esta bacteriosis en huertos corresponde a la muerte regresiva en brotes y ramillas laterales, junto al atizonamiento de yemas y ramillas, y formación de canchros en ramillas. En las hojas se producen manchas angulares o redondeadas, acuosas, inicialmente verde-amarillentas, y luego café rojizas. De manera ocasional afecta frutos, donde puede producir manchas café oscuro a negro rodeadas de una zona de aspecto acuoso. Se pueden distinguir variaciones en los síntomas si se trata de plantas en viveros. En este último caso produce necrosis y muerte regresiva en las puntas de los brotes de ramillas de más de un año. Posteriormente los brotes se pueden secar por completo. Si las lesiones no llegan a circundar la ramilla, se forman canchros de 10-25 cm de largo. Las hojas muestran lesiones angulares las cuales colapsan (OEPP/EPPO, 2004).

La bacteria llega al huerto o vivero a través del material de propagación contaminado. En las plantas infectadas se multiplica y dispersa de planta a planta a través de las herramientas de poda y por el golpeteo producido por las gotas de lluvia. En la superficie de las hojas la bacteria se multiplica a través de las estaciones de crecimiento. La bacteria penetra al tejido de la planta (brotes, ramillas, otros), a través de estomas o heridas. Puede sobrevivir por algunos meses en las hojas caídas pero no sobrevive en el suelo. Los canchros formados tardíamente durante el verano permiten que la bacteria sobreviva durante el invierno. Cancros formados en ramas y tronco han sido encontrados como la principal fuente de inóculo primario en el campo (Miller *et al.*, 1949; OEPP/EPPO, 1986; Lamichhane y Varvaro, 2014). En general, la infección es más severa durante el crecimiento vegetativo activo, que es favorecida con alta humedad y/o agua libre en la superficie del tejido.

La medida más efectiva de control es de naturaleza preventiva y se basa esencialmente en el empleo de material de propagación sano o libre de infección. No existen opciones efectivas de control curativo mediante el empleo de bactericidas. Los tratamientos estándares incluyen productos a base de cobre, que reducen la población bacteriana epífita, pero con limitada eficacia cuando el patógeno ha penetrado o está alojado en el interior del tejido. También se han explorado otras opciones de control (biológico y/o resistencia genética), pero con resultados inciertos. Cuando la enfermedad está establecida en el huerto, reducir la carga de inóculo es la única manera de contener el daño. Podar y eliminar ramas y ramillas infectadas, sellar las heridas de poda y aplicar tratamientos a base de cobre son las medidas disponibles (Lamichhane y Varvaro, 2014).



Foto 15. Síntomas de tizón bacteriano causado por *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina*.

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.1.2 Tizón bacterial / Cancro bacterial (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*)

En Chile afectando avellano europeo se menciona por primera vez a *P. syringae* pv. *syringae* como el responsable de tizón bacterial (Vega, 2005, 2006; citado por Acuña, 2010) y *P. syringae* como el responsable de cancro bacterial (Aguilera *et al*, 2011). Sin embargo, en Norteamérica y Europa, se reconoce actualmente como el agente causal del cancro del avellano *P. avellanae*, previamente llamado *P. syringae* pv. *avellanae* (Scortichini, 2002). Varios aspectos taxonómicos de este patógeno aún plantean desafíos, en consideración a que *P. syringae* se reconoce como un complejo de especies genéticamente muy relacionadas, dentro de la cual se han descrito varios patovares o variantes patogénicas responsables de causar diversas enfermedades en frutales.

La descripción sintomatológica de la enfermedad en avellano en Chile, indica que afecta principalmente hojas y ramillas. En hojas, se producen manchas difusas o necróticas extensas y húmedas. Los canchros en las ramas son superficiales, pero en ataques severos llega a producir muerte parcial de ramas y síntomas secundarios que incluyen marchitamiento, clorosis y desecamiento del follaje durante el verano (Aguilera *et al.*, 2011).

La bacteria es parte de la flora epífita (habita en la superficie) de la planta, llegando a ser patogénica bajo determinadas condiciones ambientales. Las poblaciones epífitas de la bacteria constituyen el inóculo que dará origen al desarrollo de la enfermedad. La infección se inicia en las heridas resultantes de la caída de hojas en el otoño, las que no están completamente suberizadas y en consecuencia, pueden infectarse como resultado de la diseminación de la bacteria a través de salpicado producido por gotas de lluvia y viento. Puede ingresar por heridas, lenticelas y estomas. Una vez que coloniza internamente el tejido puede sobrevivir bajo la corteza. Durante la primera, la bacteria se mueve sistémicamente desde el interior de las ramillas a otras ramas. Heridas resultantes de daños por frío o congelamiento del tejido también ayudan a que la bacteria colonice (Scortichini, 2002; Teviot dale *et al.*, 2002).

Las principales medidas para el control de esta enfermedad son de naturaleza preventiva y se basan fundamentalmente en el empleo de plantas sanas al establecimiento del huerto; por ello deben excluirse aquellas donde se observen yemas muertas y canchros en formación. Es recomendable podar y eliminar ramas con canchros y sellar las heridas. Debe evitarse podar en períodos de mayor humedad ambiental. Nuevamente, los tratamientos a base de cobre permiten reducir la carga de inóculo de superficie, pero con limitada eficacia cuando el patógeno ha penetrado o está alojado en el interior del tejido.

11.2.1.3 Agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*)

Las agallas de la corona o del cuello es una enfermedad que afecta a plantas cultivadas pertenecientes a 93 diferentes familias (Teviot dale, 2002). Afectando frutales en Chile, es común encontrarla en carozos, nogales y pomáceas. En frutales de nuez y particularmente afectando avellano europeo ha sido detectada de manera ocasional (Aguilera *et al.*, 2011).

Una de las características típicas de la enfermedad es que las plantas afectadas desarrollan tumores o agallas en el cuello y raíces de tamaño variable, que normalmente se forman bajo la línea del suelo. Ocasionalmente se pueden desarrollar agallas aéreas en ramas o ramillas. Al inicio las agallas son de color blanco y de consistencia blanda, y en la medida que se desarrollan o envejecen adquieren una coloración oscura de consistencia dura. Cuando las agallas son pequeñas, los síntomas pueden ser confundidos con callos

o agallas inducidas por el ataque de nematodos o insectos. Las plantas jóvenes son más susceptibles de ser afectadas, especialmente cuando las agallas comprometen la raíz principal e impiden el flujo vascular (Teviot dale *et al.*, 2002).

La bacteria es un habitante común del suelo, que puede encontrarse asociada a raíces de plantas hospederas y no hospederas. La presencia de heridas es un requisito para que la bacteria penetre e infecte la planta. Las heridas en las raíces, ocasionadas por herramientas de labranza, insectos y nematodos representan normalmente la forma más común que conlleva al desarrollo de la enfermedad. El patógeno se disemina de manera muy efectiva al comercializarse plantas enfermas o contaminadas.

El establecimiento del huerto a partir de plantas sanas es el paso más importante para prevenir la enfermedad. La plantación en suelos bien drenados, con bajas poblaciones de insectos y nematodos, y todas aquellas labores que minimicen heridas en raíces y corona, reducen el riesgo de desarrollo de ésta.



Foto 16. Sintoma de agallas de la corona causado por *A. tumefaciens*.

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.2. Enfermedades causadas por hongos

11.2.2.1 Podredumbre blanca de raíces (*Armillaria mellea*)

Armillaria mellea posee numerosos hospederos, mucho de ellos corresponden a especies leñosas (forestales y frutales). En Chile se ha detectado de manera ocasional afectando avellano europeo y en plantas aisladas (Aguilera *et al.*, 2011). Se considera que la enfermedad es más frecuente en huertos establecidos en suelos que resultan después de talar bosques de árboles de hoja caduca (Teviot dale *et al.*, 2002).

Como resultado de las lesiones en las raíces, los primeros síntomas se observan en la parte aérea, caracterizados por pérdida de vigor, menor crecimiento de brotes, amarillamiento progresivo de hojas, desfoliación y muerte regresiva de ramas. Al remover el tejido del cuello de la planta y de las raíces laterales principales se puede confirmar la presencia del hongo, debido a la existencia de placas de micelio de color blanco que se desarrollan entre la corteza y la madera del tejido afectado. Una de las características de *A. mellea* respecto a otros hongos asociados a pudrición blanca, es que produce agregados de micelio o rizomorfos de color café a negro, de 1-2 mm de grosor sobre la superficie del tejido dañado y tejido sano, cerca del suelo (Teviot dale *et al.*, 2002)

El hongo puede sobrevivir por muchos años en residuos leñosos en el suelo. La infección en el huerto se inicia cuando las raíces de una planta entran en contacto con raíces infectadas de un cultivo previo o vegetación nativa; posteriormente el contacto raíz-raíz o raíz-rizomorfos de plantas sanas con enfermas contribuye a la dispersión de la enfermedad en el huerto. Se considera que las esporas producidas por el hongo (basidiosporas) juegan un rol secundario en la dispersión de la enfermedad (Teviot dale *et al.*, 2002).

La pudrición blanca puede ocurrir en diferentes tipos de suelos, pero es más común en aquellos de textura arenosa y de buen drenaje. En frutales de nuez no se ha demostrado que la incidencia de la enfermedad se incremente con excesiva irrigación. La condición de estrés por sequía aumenta la susceptibilidad de la planta a la enfermedad, sin embargo, plantas saludables también pueden ser afectadas si la presión de infección es alta (Teviot dale *et al.*, 2002).

No existe control para esta enfermedad una vez establecida en el huerto. Los árboles afectados deben ser eliminados, junto a los restos de raíces y material leñoso. En el caso de establecer nuevas plantaciones en sitios que previamente alojaron especies arbóreas y en los cuales aún permanecen restos de tocones y raíces, es recomendable proceder a la eliminación de estos materiales. Tratamientos esterilizantes de suelo pueden contribuir pero con resultados inciertos. Otras opciones, como el empleo de portainjertos resistentes, han sido considerados pero sin resultados concluyentes.

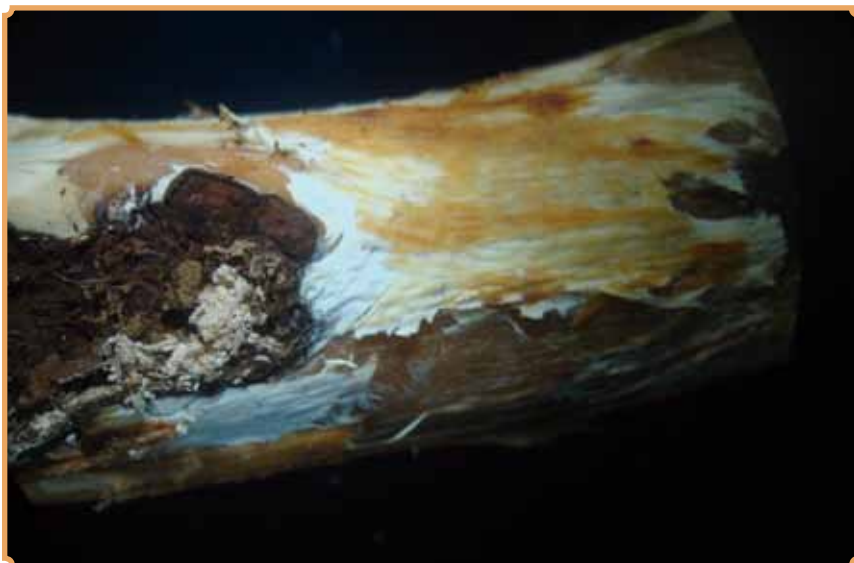


Foto 17. Síntomas de podredumbre blanca de raíces causado por *A. mellea*.

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.2.2 Pudrición del cuello y raíces (*Phytophthora* sp.)

Existe información muy parcial respecto a esta enfermedad afectando avellano europeo en Chile (Grau, 2003; Aguilera *et al.*, 2011, Guerrero *et al.*, 2012). A nivel mundial en otros frutales de nuez, almendro, pistachio y nogal, varias especies de *Phytophthora* han sido descritas (Teviotdale *et al.*, 2002). *Phytophthora ramorum* ha sido identificada en avellano californiano (*Corylus cornuta* var. *californica*), donde causa atizonamiento foliar en infecciones de campo (DiLeo *et al.*, 2008).

En Chile, *Phytophthora* sp., se ha detectado afectando plantas aisladas en sectores bajos y suelos mal drenados (Aguilera *et al.*, 2011). Una de las características comunes que tiene esta patología, independiente de la especie vegetal dañada, es que está asociada generalmente a suelos con exceso de agua, afectando plantas jóvenes y adultas.

En otros frutales de nuez la enfermedad se ha descrito causando pudriciones de raíces y cuello, además de canchales en el tronco y ramas, y muerte regresiva de ramas y ramillas. Como resultado de esto las plantas exhiben menor vigor y amarillez foliar. En ataques severos la planta puede morir, especialmente cuando las lesiones llegan a circundar el tronco o raíz principal. A pesar que el patógeno puede penetrar directamente el tejido intacto, las heridas ocasionadas por labores mecánicas, nematodos y insectos favorecen su infección. El inóculo de *Phytophthora* se disemina dentro del huerto por movimiento de suelo contaminado, a través de labores culturales y escurrimiento de agua de riego y lluvias (Teviotdale *et al.*, 2002).

Diversas medidas culturales permiten reducir el riesgo de desarrollo de la enfermedad, todas ellas basadas en evitar los factores que favorecen el ataque del patógeno. Como por ejemplo, impedir la saturación del suelo minimizando la frecuencia y duración del riego; evitar que el agua de riego llegue a la zona de la corona y cuello de las plantas. Idealmente la plantación debe ser establecida en suelos con buen drenaje o evitando aquellos suelos pesados o con una elevada capacidad de retención de humedad. El control curativo podría ser posible cuando se trata de infecciones leves, pero en avellano no se dispone de información.



Foto 18. Síntomas de pudrición del cuello causado por *Phytophthora* sp.

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.2.3 Pudrición de raíces (*Cylindrocarpon* sp., *Sclerotinia minor*, *Macrophomina phaseolina*)

En raíces que presentan síntomas de pudriciones, se han identificado diversos hongos entre los cuales se incluyen *Cylindrocarpon* sp., *Sclerotinia minor* y *Macrophomina phaseolina*. Sin embargo, la importancia y el nivel de daño que pudiesen estar causando aún no ha sido determinado (Acuña, 2010; Guerrero *et al.*, 2015).

Las especies de *Cylindrocarpon* se caracterizan por su gran habilidad para colonizar raíces en un amplio rango de plantas hospederas, tanto herbáceas como leñosas. En el suelo se comporta como saprófito o patógeno débil, con capacidad de crecer a baja tensión de oxígeno, siendo posible encontrarlo colonizando raíces a gran profundidad en el perfil de suelo. Los suelos con buen drenaje previenen el desarrollo de la enfermedad. También es importante evitar condiciones de estrés para las plantas, como déficit

hídrico y deficiencias nutricionales. En Chile, *C. destructans*, es un patógeno primario que ha sido descrito causando pudriciones en vides (Latorre, 2004), palto (Besoain y Piontelli, 1999) y plantas de pino (Andrade, 1996).

Sclerotinia minor, posee un rango de hospederos que incluye angiospermas y dentro de éstas afecta mayoritariamente adicotiledóneas (Saharan y Mehta, 2008). No existen reportes de dicho patógeno afectando avellano europeo en otros países (Teviot dale *et al.*, 2002), por lo que su detección podría ser muy circunstancial. Es común detectarla en Chile causando pudriciones a nivel de cuello y partes aéreas, en algunas especies hortícolas y cultivos anuales (Latorre, 2004).

Macrophomina phaseolina, es un hongo del suelo de amplia distribución mundial reconocido como responsable de causar pudrición carbonosa en raíces de muchas plantas (alrededor de 500). Además de pudriciones en las raíces es frecuente observarla causando lesiones en la base del tallo. Plantas estresadas y en ambientes secos y calurosos predisponen para su desarrollo. No ha sido descrito afectando avellano europeo en otros países (Teviot dale *et al.*, 2002). En nuestro país, algunos de los principales hospederos corresponden a kiwi, papa, maravilla y poroto (Latorre, 2004).

11.2.2.4 Muerte regresiva y cancro (*Diaporthe australafricana*, *Diaporthe/Phomopsis*)

Especies de *Diaporthe* y de su estado asexual *Phomopsis* se caracterizan por poseer numerosos hospederos y encontrarse ampliamente distribuidas, existiendo especies fitopatógenas, endófitas y saprófitas (Gomes *et al.*, 2013). Las fitopatógenas se caracterizan por causar pudriciones de frutos y raíces, muerte regresiva, canchros, manchas foliares, decaimiento y marchitez.

En avellano europeo en Chile, *Diaporthe australafricana* ha sido identificado como responsable de causar canchros en tallos y muerte regresiva en ramillas. La incidencia de la enfermedad ha sido variable en los huertos estudiados, estimándose en un 15% (Guerrero *et al.*, 2012). Las plantas jóvenes (1-3 años) desarrollan un cancro basal, especialmente cuando hay condiciones de alta humedad y alta cobertura de malezas, causando eventualmente la muerte de la planta (Guerrero *et al.*, 2012). La detección de estructuras reproductivas sexuales (apotecios) y asexuales (picnidios) en las lesiones, indica la presencia de *Diaporthe* y su anamorfo *Phomopsis* de manera simultánea.

Cancro de tallo y muerte regresiva causada por *D. australafricana*, junto a un complejo de otras tres especies de *Diaporthe*, han sido descritas en Chile como patógenos primarios en arándano (*Vaccinium* spp.). Esta enfermedad es un factor que limita la longevidad y reduce el rendimiento de este frutal (Latorre y Torres, 2011; Latorre *et al.*, 2012; Elfar *et al.*, 2013). Ello podría

indicar que, en avellano europeo, eventualmente más de una especie de *Diaporthe* y otros hongos podrían estar asociados a dicha enfermedad.

Varios aspectos de la biología de esta enfermedad son parcialmente conocidos. Las conidias o esporas producidas por los picnidios son transportadas por efecto del lavado y salpicado ocasionado por la lluvia. Probablemente los peritecios formados en el tejido enfermo cumplen un rol importante en la sobrevivencia del patógeno. No existen estudios específicos de control para esta enfermedad en avellano europeo. Sin embargo, para patologías similares se sugieren varias medidas como: seleccionar plantas sanas al momento del establecimiento del huerto, podar y eliminar ramillas enfermas y sellar cortes de poda con pastas fungicidas.

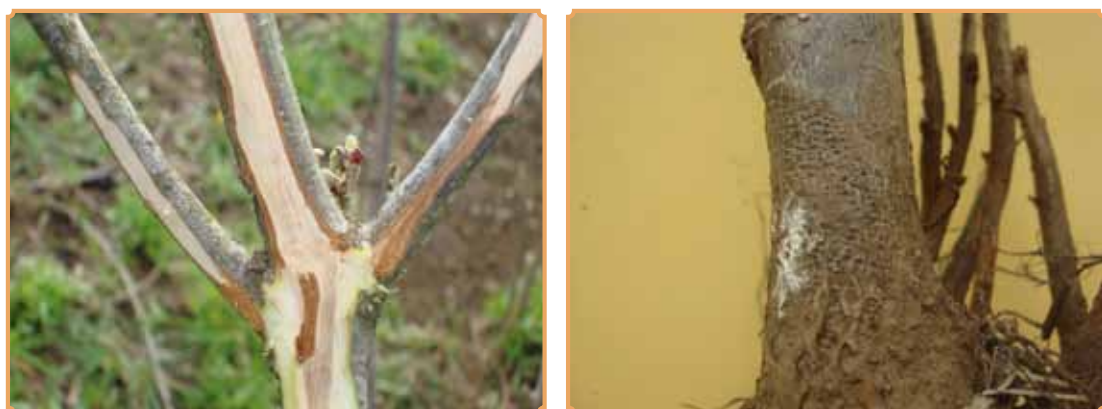


Foto 19. Síntomas de muerte regresiva y cancro causado por *Diaporthe/Phomopsis*)

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.2.5 Atizonamiento y cancro de tallos y ramillas (*Diplodia coryli*)

Los hongos del género *Diplodia* son reconocidos como patógenos de muchas plantas leñosas, dentro de los cuales se incluyen varios frutales. En Chile, las lesiones de plantas de avellano (5 años de edad), caracterizadas por atizonamiento de brotes, canchros en ramas y ramillas, con decoloración grisácea y muerte regresiva, se atribuyen a la acción de *Diplodia coryli* (Guerrero y Pérez, 2013a, b)

Diplodia sapinea, *D. seriata* junto a otros hongos han sido descritos también como responsables de causar canchros en ramas de avellano europeo en Italia. Derivado de estos estudios se ha establecido que la diversidad de hongos asociados a dicha sintomatología es mayor que lo supuesto (Linaldeddu *et al.*, 2016). Varios aspectos taxonómicos de dichas especies aún no están consensuados. De hecho, basado en estudios filogenéticos *Diplodia coryli* como patógeno del avellano en Chile, correspondería a la *Dothiorella vidmadera* (Linaldeddu *et al.*, 2016), un patógeno recientemente descrito afectando vides en Australia (Pitt *et al.*, 2013).

Posiblemente, las conidias o esporas producidas por los picnidios y que son transportadas por efecto del lavado y salpicado ocasionado por la lluvia, cumplen un rol importante en la diseminación de la enfermedad. Al igual que para otros hongos de la madera, se sugiere como control la selección de plantas sanas al momento del establecimiento del huerto, podar y eliminar ramillas enfermas, y sellar cortes de poda con pastas fungicidas.



Foto 20. Sintomas de atizonamiento y cancro de tallos y ramillas causado por *D. coryli*.

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.2.6 Mohos/Hongos de postcosecha (*Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, *Fusarium* sp., *Aspergillus niger*, *Penicillium* spp., *Rhizopus stolonifer*, *Tichothecium roseum*)

Diversos hongos han sido descritos colonizando o creciendo en el interior y exterior de la nuez del avellano. Sin embargo, se debe reconocer que la información disponible hasta el momento es muy limitada, no existiendo antecedentes de la incidencia ni efecto en la calidad y deterioro del fruto durante el almacenaje.

En Chile la flora fungosa asociada a la fruta es diversa. Los hongos frecuentemente encontrados en la nuez y semilla de avellano corresponden a *Aspergillus* sp. y *Tichothecium roseum*. Por otra parte, en avellanas vanas y semillas deformadas se ha detectado *Alternaria alternata*, *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Penicillium* spp., *Rhizopus stolonifer*. En frutos cuajados y en involucros se detecta frecuentemente *Botrytis cinerea* (Guerrero *et al.*, 2015).

Durante la madurez del fruto y una vez que la semilla cae al suelo, mientras más tiempo se prolonga la cosecha se incrementa el porcentaje de frutos con mohos, especialmente bajo condiciones de alta humedad o lluvias. Adicionalmente, el retraso de la cosecha deja expuesto a los frutos a daños de insectos y roedores que a su vez incrementan aún más la incidencia de hongos. Observaciones preliminares indican que las variedades de cáscara delgada son más susceptibles de ser colonizadas por hongos. Es muy importante reducir el contenido de humedad de la fruta (5-6%) inmediatamente después de su cosecha mediante secado, para asegurar un almacenaje prolongado.



Foto 21. Mohos en frutos, *Fusarium* sp (izq) y *Penicillium* sp (der).

Fuente: Dr. Jaime Guerrero, Fitopatólogo Universidad de La Frontera

11.2.3. Desórdenes fisiológicos

11.2.3.1 Avellanas vacías o con grano arrugado

Es una alteración importante en el desarrollo de la fruta resultante de un proceso de polinización, que estimula el desarrollo de la cáscara pero falla en el desarrollo de la semilla. Resulta de una fertilización defectuosa o una fertilización incompleta (Teviot dale *et al.*, 2002). Esta alteración produce caída prematura de las avellanas durante el verano entre los meses de enero y febrero, con frutos vanos o el grano arrugado. En ciertas oportunidades la cáscara del fruto cesa su crecimiento y se torna parda con tamaño aún reducido de la avellana, mientras que en otras ocasiones continúa su desarrollo hasta lograr el tamaño normal en la madurez.

Una alta frecuencia de avellanas vacías o con grano arrugado está asociada a la variedad Barcelona y ciertos polinizadores. No se conocen métodos de control para este problema.



Foto 22. Avellana vacía o vana.

Fuente: INIA Carillanca

11.2.3.2 Mancha café

Se ha descrito como un problema de origen fisiológico, considerando que no se han encontrado hongos e insectos asociados a la lesión. La incidencia del problema varía de año a año. La mancha café se caracteriza por la aparición de un exudado acuoso de color café en la parte terminal de la avellana. Las manchas se hacen visibles cuando la avellana alcanza aproximadamente la mitad de su desarrollo. Luego se oscurecen afectando el tejido más interno llegando a comprometer la película que envuelve el grano o semilla, logrando finalmente descomponer la fruta. También pueden resultar frutos deformes a causa de esta enfermedad (Teviot dale *et al.*, 2002). Se desconocen medidas de control. En el sur de Chile se ha observado con mayor frecuencia en la variedad Barcelona, situación similar ocurre en huertos de esta variedad en el estado de Oregón, USA (Ellena, 2013).



Foto 23. Mancha café en frutos de avellano europeo, cv. Barcelona

Fuente: INIA Carillanca

11.2.3.3 Amentos y glomérulos en grupos

En Chile se ha observado con cierta frecuencia la aparición de agrupaciones de amentos masculinos que se visualizan desde el inicio de su formación (octubre-noviembre), dependiendo del área de cultivo. Estos órganos se caracterizan por seguir desarrollándose durante un cierto período de tiempo. Sin embargo, no logran elongarse y producir polen con necrosis total de sus tejidos, previo al período de antesis. Los amentos pueden continuar adheridos a las ramas de los árboles, incluso luego de la época normal de emisión de polen o también caer al suelo. Dicha anomalía ha sido evidenciada en mayor grado en la variedad italiana Tonda Gentile delle Langhe (TGL), (Ellena, 2013). Es probable que la causa de este desorden sea un estrés de tipo abiótico, particularmente exceso de temperatura al momento de la inducción floral. Esta enfermedad también ha sido observada en las flores femeninas o glomérulos. No se conocen medidas de control.



Foto 24. Amentos de avellano agrupados en racimos, comuna de Gorbea, Región de La Araucanía, 2014).

Fuente: INIA Carillanca

11.2.3.4 Amentos deformes

En algunas temporadas se ha observado la formación de amentos con crecimiento anormal, de mayor tamaño, cuyas brácteas se abren de manera anticipada. Estos órganos reproductivos no tienen la capacidad de producir polen y terminan por necrosarse y finalmente desprenderse de las ramas y caer al suelo. Dicho desorden fisiológico estaría probablemente asociado a estrés de tipo ambiental, como temperatura alta en el período de inducción floral. Se ha observado en mayor grado en la variedad Barcelona (Ellena, 2013). No se conocen medidas de control.



Foto 25. Amentos deformes en cv. Barcelona

Fuente: INIA Carillanca

11.2.4. Daño causado por viento

Los vientos son movimientos de aire que varían en forma continua de dirección, velocidad, fuerza y regularidad. Su acción sobre el medio ambiente y los árboles tiene diferentes efectos sobre la producción. El viento en interacción con otros elementos del medio ambiente, tales como temperatura, aumenta la pérdida de humedad del suelo favoreciendo de esta manera la erosión de éste (erosión eólica), la deshidratación de los tejidos, malformación de la estructura de los árboles, caída de hojas, amentos, frutos, que en conjunto inciden fuertemente sobre el crecimiento y el proceso productivo del huerto.

El viento es un factor que puede ser limitante para lograr un buen desarrollo de los árboles de avellano. Esto es particularmente importante en áreas más ventosas. Es fundamental el uso de cortinas cortavientos en el establecimiento de huertos de avellanos que tienen grandes hojas, fácilmente afectadas por laceraciones y también por caída de frutos. Los principales problemas observados en zonas ventosas son: crecimientos inadecuados, pérdida de la verticalidad del eje central de la planta por inclinación de los árboles. Ello, ha afectado la estructura de la planta con roturas en brotes, escaso crecimiento de brotes anuales, menor producción de flores femeninas y masculinas. En el caso de estas últimas, menor producción de polen de los cultivares polinizadores y dificultad para llevar a cabo los tratamientos fitosanitarios en los momentos oportunos (Ellena, 2010).



Foto 26. Daño por viento con pérdida de la verticalidad, en huerto joven de avellano europeo, cv. Barcelona. Comuna de Nueva Imperial, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

12.4.1. Viento y estado hídrico de los árboles

La pérdida de vapor de agua hacia la atmósfera o transpiración que sufre el árbol sucede principalmente en las hojas, a través de estomas. Estos orificios permanecen abiertos con la transpiración permitiendo de este modo el ingreso de dióxido de carbono, que luego es incorporado al proceso de la fotosíntesis. Esto se traduce en un gradiente de energía y causa el movimiento del agua al interior del árbol, incidiendo para que en los momentos de mayor radiación solar mantenga una temperatura adecuada.

El déficit de humedad en los tejidos de los árboles, por exposición a la acción del viento provoca una reducción de la turgencia de las células, es decir, pérdida de la presión que tiene el sistema celular contra la pared de la célula cuando está embebido en agua. Luego que finaliza el movimiento del aire, la turgencia de las células y el contenido de humedad de los tejidos se restablecen inmediatamente a su estado normal. Sin embargo, si éste se encuentra en constante movimiento por tiempo prolongado, ocurren cambios de tipo permanente en los tejidos y el árbol adopta una forma de crecimiento diverso. Cabe destacar que el déficit hídrico causa la formación de una capa de abscisión y la caída de hojas, afectando el crecimiento de brotes y frutos, particularmente en las horas en que la transpiración es mayor. La turgencia también es importante respecto a la apertura y cierre de los estomas, y con ello en la actividad fotosintética, respiración, expansión de hojas y órganos reproductivos y de los diferentes movimientos del árbol. Se ha determinado que la reducción de la fotosíntesis, disminución de transporte de carbohidratos, reguladores del crecimiento (hormonas) y el trastorno del metabolismo nitrogenado contribuyen en los efectos de menor turgencia y menor crecimiento del árbol (Kramer, 1974).

12.4.2. Cambios en los hábitos de crecimiento

El hábito de crecimiento de los árboles está influenciado por la acción del viento. Un aspecto característico es el menor vigor (enanismo) y el crecimiento retardado de las plantas. Con ello se hacen evidentes nuevos rasgos morfológicos y anatómicos; por ejemplo áreas foliares más pequeñas, reducción de espacios intercelulares, floema y xilema más robustos, mayor cantidad de tejido fibroso (Kramer, 1974).

12.2.6. Daños mecánicos

El aire en movimiento puede causar daños mecánicos considerables en brotes y hojas por agitación o doblamiento continuo hasta quebrarlas, constreñir los tejidos vasculares de los conductos principales, pecíolos y brotes. Esto incide en una fuerte reducción del transporte del agua y en la pérdida de verticalidad del eje central en árboles de avellano formados en monoeje, como ya fue señalado.

Medidas de control

Las plantaciones de avellano europeo pueden protegerse de la acción destructiva de vientos fuertes, a través de la desviación de su dirección y disminución de su velocidad, mediante el empleo de las denominadas "cortinas cortavientos o rompe-vientos". Éstas se pueden establecer con setos de especies arbóreas y arbustivas (cortinas vivas), que a modo de pantalla se establecen en sentido perpendicular a los vientos dominantes. Al chocar el viento contra ellas se logra una disminución de su velocidad y se desvía su trayectoria hacia arriba, permitiendo que continúe su movimiento hacia estratos más altos, sin dañar los árboles. En zonas ventosas, como valores indicativos se puede considerar que las cortinas cortaviento disponen de una acción efectiva en una proporción de 1/10, es decir 10 m de longitud en el terreno por cada metro de altura de la barrera. Entre los beneficios del empleo de barreras cortaviento se pueden mencionar las siguientes: aumento de la humedad relativa, reducción de la transpiración, mayor eficiencia en la utilización del agua, mayor crecimiento y producción de los árboles.



Foto 27. Cortina cortaviento natural a través de especies forestales (eucaliptus), Osorno o sintéticas (malla cortaviento) en avellano europeo en INIA Carillanca, Comuna de Vilcún.

Fuente: INIA Carillanca

Los principales factores que inciden en la reducción de la velocidad del viento son la porosidad de la cortina cortaviento, distancia desde la cortina, en general expresada como múltiplos de la altura total de las especies arbóreas de la cortina, orientación y longitud de ésta. La porosidad es importante, ya que define la extensión y grado en que dicha estructura obstruye el flujo de aire o reduce la energía cinética de viento (Peri, 1998).

Referencias Bibliográficas

- Acuña, R. 2010. Compendio de bacterias y hongos de frutales y vides en Chile. 150 p.
- Aguilera, A. 1995. Plagas subterráneas. Centro Regional de Investigación INIA Carillanca, Temuco-Chile. Seminario de Producción Vegetal N° 45: 85-140.
- Aguilera, A. 1996a. Plaga del avellano europeo. Revista Tattersall (Santiago-Chile) N° 129: 4-5.
- Aguilera, A. 1996b. Controles para el cabrito del frambueso. Revista Tattersall (Santiago-Chile) N° 133: 4-5.
- Aguilera, A y Rebolledo, R. 2001. Estadío larvario de *Aegorhinus superciliosus* (Guerin, 1830) (Coleoptera: Curculionidae). Rev. Chilena Ent. 28: 5-8.
- Aguilera, A. 2006. Pulgón del avellano europeo en La Araucanía. Tierra Adentro, julio-agosto 2006. p. 32-35.
- Aguilera, A., Guerrero, J., y R.Rebolledo. 2011. Plagas y enfermedades del avellano europeo en La Araucanía. 126 p. Ediciones Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.
- Aguilera, A., Ellena, M., González, A., Jequier, J., Sandoval, P., Escobar, S., y M. Contreras. 2012. Effectiveness of the insecticide phosmet (IMIDAN) over the adult state of the "Cabrito del Maitén" (*Aegorhinus superciliosus*) (Guerin-Menéville), (Coleoptera: Curculionidae) on hazelnut (*Corylus avellana* L.). Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 1052: 297-308.
- Andrade, O. 1996. Identificación de *Cylindrocarpon destructans* (Zinss.) Scholten asociado a plantas de 1-2 años de *Pinus radiata* D. son afectadas por pudrición de raíces y tallos. Fitopatología (resumen) 31: 18.
- Arias, E. 2000. Coleópteros de Chile. 209 p. Foteknika, Santiago, Chile.
- Artigas, J. 1994. Entomología Económica: insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario (nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). 1126 p. Universidad de Concepción (eds.), Concepción, Chile.
- Barss, H.P. 1913. A new filbert disease in Oregon. Oregon Agricultural Experiment Station Biennial Crop Pest and Horticulture. Rep 14: 213-223.
- Besoain, X., y E. Piontelli. 1999. Pudrición negra en raicillas de palto (*Persea americana*) por *Cylindrocarpon destructans*: patogenicidad y aspectos epidemiológicos. Boletín Micológico 14(1-2): 41-47.

Carrillo, R. 1993. Plagas insectiles en arbustos frutales menores. *In* Barriga, P. & M. Neira (eds.). Cultivos no tradicionales. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. p. 73-86.

Casals, P. 1993. Frambuesos y arándanos. Insectos y ácaros. Boletín de Extensión N° 2. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile. 33p.

División Protección Agrícola y Forestal, Sub Departamento Vigilancia y Control Oficial Agrícola Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Santiago, Chile.

DiLeo, M.V., Bienapfl, J.C., and D.M. Rizzo. 2008. *Phytophthora ramorum* infects hazelnut, vine maple, blue blossom, and manzanita species in California. Online. Plant Health Progress doi:10.1094/PHP-2008-0118-02-BR.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. Boletín INIA N° 202.88 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., González, A., y A. Aguilera. 2012. Manejo integrado de plagas subterráneas en Avellano Europeo. Boletín INIA N° 237. 110 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Elfar, K., Torres, R., Díaz, G., and B. Latorre. 2013. Characterization of *Diaporthe australafricana* and *Diaporthe spp.* associated with stem canker of blueberry in Chile. Plant Disease 97(8): 1042-1050.

Gomes, R.R., Glienke, C., Videira, S. I. R., Lombard, L., Groenewald, J. Z., and P.W. Crous. 2013. *Diaporthe*: a genus of endophytic, saprobic and plant pathogenic fungi. Persoonia 31: 1-41.

Grau, P. 2003. Avellano Europeo: Manual de plantación y manejo. Boletín INIA N° 108.90 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Quilamapu, Chillán, Chile.

Guerrero, C.J., and A. W. Lobos. 1987. *Xanthomonas campestris* pv. *corylina*, causal agent of bacterial blight of hazel in region IX, Chile. Agricultura Técnica (Santiago, Chile) 47: 422-426.

Guerrero, C.J., and F.S. Pérez. 2013a. First report of *Diaporthe australafricana*-caused stem canker and dyeback in european hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Chile. Plant Disease 97(12) 1657.

Guerrero, C.J. and F.S. Pérez. 2013b. First report of shoot blight and canker caused by *Diplodia coryli* Fuckel in hazelnut trees (*Corylus avellana* L.) in Chile. Plant Disease 97(1): 144.

Guerrero, C.J., Pérez, F.S., Ferrada, Q.E., Cona, Q.L., y T.E. Bensch. 2012. Phytopathogens of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Southern Chile. VIII Congreso Internacional de Avellano Europeo (19-21 abril 2012), Temuco, Chile.

Guerrero, J., Meriño-Gergichevich, C., Ogass, K., Alvarado, C., y V. Sobarzo. 2015. Características de calidad y condición de frutos de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) cv. Barcelona en la zona centro-sur de Chile. Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo [online] 47(2): 1-14.

Klein, C., and D.F. Waterhouse. 2000. The distribution and importance of arthropods associated with agriculture and forestry in Chile. ACIAR (Canberra, Australia) Monograph. 234 p.

Kramer, P. 1974. Relaciones hídricas de suelos y plantas: una síntesis moderna. 536 p. Edutex S.A., D.F., México.

Lamichhane, J.R., Fabi, A., and L. Varvaro. 2012a. Severe outbreak of bacterial blight caused by *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina* on hazelnut cv. Tonda di Giffoni in central Italy. Plant Disease 96(10): 1577.

Lamichhane, J.R., Grau, P., and L. Varvaro. 2012b. Emerging hazelnut cultivation and the severe threat of bacterial blight in Chile. Journal of Phytopathology, 160(11-12): 752–754.

Lamichhane, J.R., and L. Varvaro. 2014. *Xanthomonas arboricola* disease of hazelnut: current status and future perspectives for its management. Plant Pathology 63(2): 243–254.

Latorre, B. 2004. Enfermedades de las plantas cultivadas. 638 p. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Latorre, B.A., and R. Torres. 2011. *Diaporthe/Phomopsis* complex associated with stem cankers of blueberry in Chile. (Abstr.) Phytopathology 101: S99

Latorre, B.A., Elfar, K., Espinoza, J.G., Torres, R., and G.A. Díaz. 2012. First report of *Diaporthe austr alaficana* associated with stem canker on blueberry in Chile. Plant Disease 96: 768.

Linaldeddu, B.T., Deidda, A., Scanu, B., Franceschini, A., Alves, A., Abdollahzadeh, J., and A.J.L. Phillips. 2016. Phylogeny, morphology and pathogenicity of *Botryosphaeriaceae*, *Diatrypaceae* and *Gnomoniaceae* associated with branch diseases of hazelnut in Sardinia (Italy). European Journal of Plant Pathology. DOI 10.1007/s10658-016-0912-z.

Mehlenbacher, S. A., Pinkerton, J.N., Johnson, K.B., and J.W. Pscheidt. 1994. Eastern Filbert Blight in Oregon. Acta Hort. 351: 551- 557.

Miller, P.W., Bollen, W.B., and J.E. Simmons. 1949. Filbert bacteriosis and its control. Oregon Agricultural Experimental Station Tech. Bull. 16. 70 p.

OEPP/EPPO. 2004. Diagnosis protocols for regulated pests *Xanthomonas arboricola* pv. *corylina*. OEPP/EPPO Bull. 179: 179-181.

OEPP/EPPO. 1986. Data sheet on quarantine organisms, 134: *Xanthomonas campestris* pv. *Corylina* (Miller *et al.*, 1940) dye 1978. OEPP/EPPO Bull. 16: 13-16.

Peri, P.L. 1998. Eficiencias de cortinas protectoras: efectos de parámetros estructurales en la reducción del viento, provincia de Santa Cruz, Argentina. Quebracho 6: 19-26.

Prado, E. 1991. Artrópodos y sus enemigos naturales asociados a plantas cultivadas en Chile. Boletín Técnico N° 169. 203 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.

Pitt, W.M., Úrbez-Torres, J.R., and F.P. Trouillas. 2013. *Dothiorella vid madera*, a novel species from grapevines in Australia and notes on *Spencermartinsia*. Fungal Diversity 61: 209–219.

Rovira, M., and J.Aramburu. 2001. Incidence of apple mosaic ilarvirus (ApMV) in Catalonia (Spain) and its effect on "Negret" hazelnut. Acta Hort. 556: 509-512.

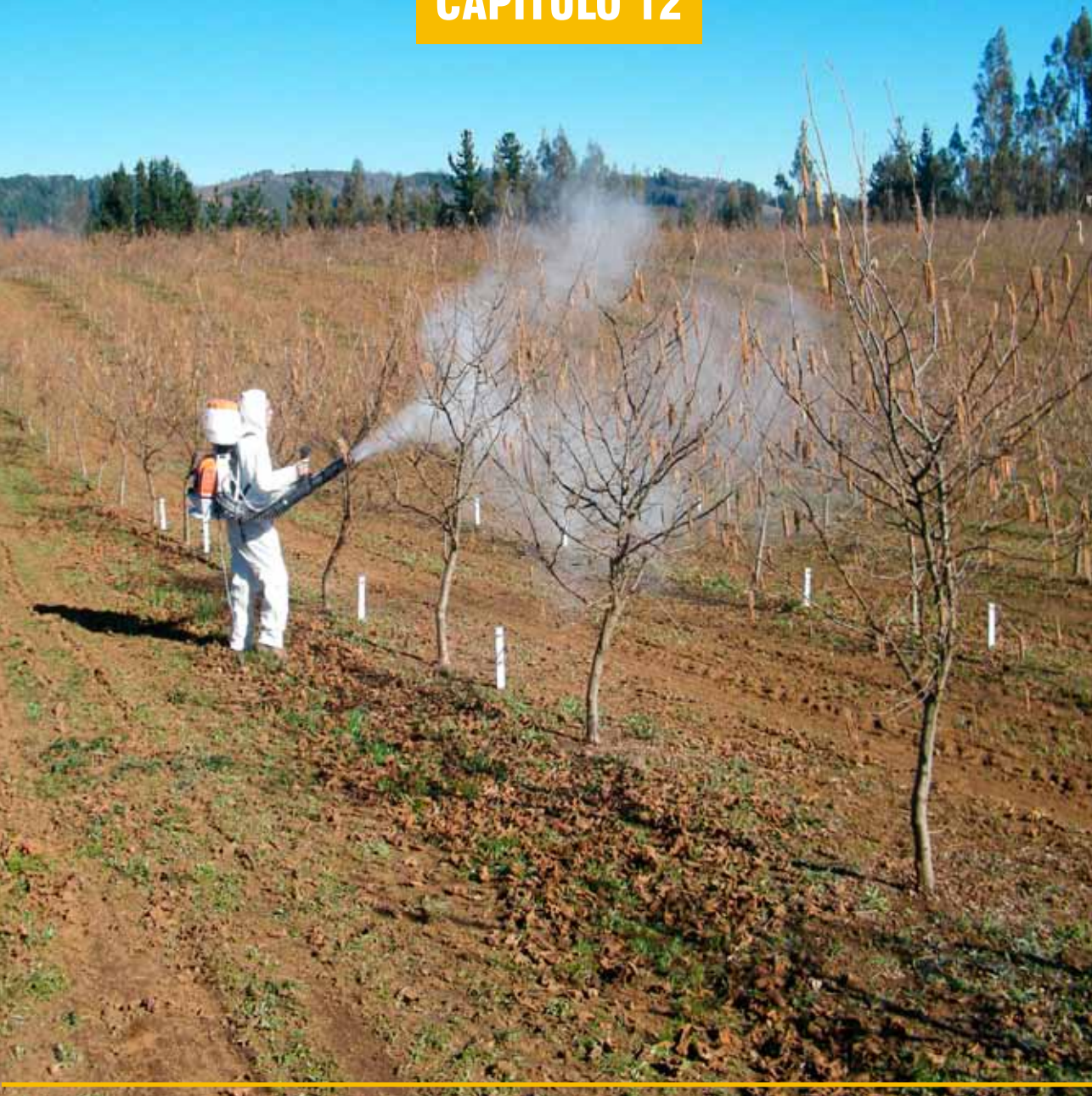
Saharan, G.S., and N.Mehta. 2008. *Sclerotinia* diseases of crop plants: biology, ecology and disease management. 486 p. Springer, Netherlands.

Scortichini, M. 2001. The problem caused by *Pseudomonas avellanae* in Italy. Acta Hort. 556: 503-508.

Scortichini, M. 2002. Bacterial canker and decline of european hazelnut. Plant Disease 86: 704-709.

Teviot dale, B. L., Michailides, T.J., and J.W. Pscheidt. 2002. Compendium of nut crop diseases in temperate zones. 89 p. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA.

CAPÍTULO 12



POLINIZACIÓN

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Abel González G., Ing. Agrónomo M.Sc.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo
Sergio Escobar S., Técnico Universitario Agrícola

La polinización es el proceso de transporte del polen desde las anteras de las flores masculinas a los estigmas de las flores femeninas al momento de la antesis (plena floración). El polen del avellano se caracteriza por ser de tamaño pequeño y muy liviano, facilitando su transporte a grandes distancias a través del viento (polinización anemófila). Este tipo de polinización requiere que el polen sea pequeño o con una relación superficie/volumen muy grande. Esto reduce su velocidad de sedimentación y facilita que alcance mayores distancias cuando es arrastrado por el viento (Ellena, 2010; Ellena y Sandoval, 2013; Ellena *et al.*, 2014).

La producción de gran cantidad de polen en avellano se logra a través del aumento en el número de flores masculinas, llegando a producir entre 1 a 2,5 millones de granos de polen por cada estambre dependiendo de la variedad.

12.1. Polen

La función del polen es actuar como microgametofito a nivel de reproducción de las especies vegetales (Gaten, 2000). Es el componente fundamental de la reproducción sexual y encargado de transmitir el material genético masculino. Es responsable de heredar y transmitir la mayor parte de los genes de resistencia a condiciones de estrés bióticos y abióticos (Seiler y Olson, 1999).

El grano de polen está protegido por una especie de cubierta o capa resistente denominada esporodermis, que a su vez se encuentra conformada por dos paredes formadas de manera centripeta, la exina y la intina. El componente principal de la exina es la esporopolenina, un biopolímero de carotenoides y ésteres de carotenoides, que forma un involucro resistente e impermeable (Heslop-Harrison, 1975). Sobre su superficie presenta surcos, cavidades y poros germinativos, cuya estructura está genéticamente determinada y es útil para fines taxonómicos (Marcucci *et al.*, 1984). En las cavidades exínicas, sobre todo en los poros germinativos, existe una acumulación de proteínas esporofíticas producidas por las células del tapeto, que presentan un rol determinante al permitir la emisión del tubo polínico, las que intervienen en el fenómeno de la incompatibilidad esporofítica.

La intina, es a su vez estratificada, con un estrato externo delgado de naturaleza pectínica, un estrato intermedio, donde se ubican las proteínas gametofíticas y finalmente un estrato pecto-celulósico más interno, precursor de la pared del tubo polínico.

El grano polínico maduro, portador de los gametos masculinos y de su célula progenitora (Knox, 1984), juega un rol fundamental en el proceso fecundativo, siendo su función esencial conducir los gametos en el embrioso, debido al desarrollo regular de los eventos de la germinación y crecimiento del tubo polínico dentro de los tejidos del gametofito femenino.

12.1.1. Hidrodinámica de la germinación

12.1.1.2. Fase de deshidratación

Con anterioridad a la antesis, en la fase final de maduración del gránulo polínico, los tejidos de la antera y los gránulos experimentan una rápida deshidratación con una reducción en volumen (15%).

La polinización de esta especie frutal de nuez ocurre en pleno invierno, durante un período en que las condiciones ambientales no son favorables para el desarrollo biológico del proceso. Sin embargo, el avellano europeo está muy adaptado para efectuarlo (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2014).

Los estilos y estigmas son de gran tamaño, con el objeto de facilitar la captura del polen que es transportado en el aire (Ellena y Sandoval, 2013; Ellena *et al.*, 2014; Strasburger, 1994). El tiempo de receptividad es de aproximadamente un mes y la cantidad de granos de polen permite que ocurra la polinización. Determinadas condiciones ambientales: vientos frecuentes en época de antesis, inexistencia de nieblas, lluvias, tiempo seco, días serenos y temperaturas adecuadas después de la polinización, favorecen este proceso (Ellena *et al.*, 2014).

12.1. Elección de los cultivares polinizadores y distribución espacial de los árboles

La importancia de los cultivares polinizadores se debe a la autoincompatibilidad de la especie, que a pesar de portar contemporáneamente flores femeninas y masculinas (especie monoica), requiere el polen de otra variedad para poder fructificar (Ellena, 2010). El avellano europeo es una especie monoica autoincompatible, es decir las flores masculinas de un árbol no poliniza a las flores femeninas del mismo árbol (Thompson, 1979a). Por ello, en una plantación de avellano se deben establecer cultivares polinizadores genéticamente compatibles con la variedad principal, haciendo coincidir sus estados fenológicos (floración masculina del polinizante con la floración femenina de la variedad principal). Además, ser buena productora de polen e idealmente producir frutos de calidad y comercialmente válidos para la industria de transformación o para uso directo (Ellena, 2010; Roversi, 2007).

En plantaciones comerciales de avellano europeo, para una variedad principal es necesario establecer entre 10 a 15% de cultivares polinizadores. Se recomienda utilizar como mínimo dos variedades polinizadoras, idealmente tres, a modo de cubrir por completo el período de receptividad del estigma de la variedad principal o base. Estos pueden distribuirse en zig-zag o en hileras completas cada 8-9 hileras de la variedad principal. Se recomienda

esta última modalidad para facilitar la separación de las avellanas a la cosecha (Ellena, 2010; Roversi, 2007).

La distribución de los cultivares polinizadores debe realizarse correctamente para alcanzar buenos rendimientos y calidad de fruta. De acuerdo al tamaño del huerto, es necesario preveer al menos un 10% de polinizadores como ya se ha indicado. A modo de ejemplo: para una superficie de 1 ha y un marco de plantación de 5 x 4 m se requiere establecer 500 plantas de avellano subdivididas en 450 de la variedad principal y 50 árboles polinizadores. La distribución en zig-zag es más eficiente desde el punto de vista de la dispersión del polen. No obstante, considerando que presentan exigencias agronómicas (tratamientos fitosanitarios y época de cosecha) diferentes a la variedad principal (ejemplo Barcelona o Tonda di Giffoni), es aconsejable establecerlas en una sola hilera de plantación (Ellena, 2010).

Otra alternativa es el sistema Oregon, donde cada 3 hileras de la cultivar principal se establece una hilera con las variedades polinizadoras. Estas últimas son plantadas en la fila en forma alternada, cada 3 plantas polinizadoras van 2 árboles de la variedad principal y así sucesivamente. De acuerdo a estudios realizados en Italia y en la Región de La Araucanía, las variedades principales y los cultivares polinizadores no deberían establecerse a distancias mayores de 15 a 20 m (Ellena, 2010; Roversi, 2007).

La orientación de las hileras de los cultivares polinizadores debe considerar el sentido de los vientos dominantes, durante el período de floración masculina (liberación del polen por parte de los amentos) y receptividad de las flores femeninas (estigmas), para asegurar una buena distribución del polen. Cabe señalar que la floración de esta especie ocurre en pleno período invernal y una adecuada diseminación del polen ocurre cuando hay menor humedad ambiental, generalmente a medio día, con ausencia de lluvias y brisas suaves con viento a favor. En la zona sur el viento predominante bajo estas condiciones es el noroeste, que permite generar libre flujo de polen para una buena polinización anemófila (a través del viento). Considerando que el transporte del polen ocurre por vía anemófila, es importante revisar que las filas de los polinizadores se ubiquen a sopravento como se indica en la siguiente figura.

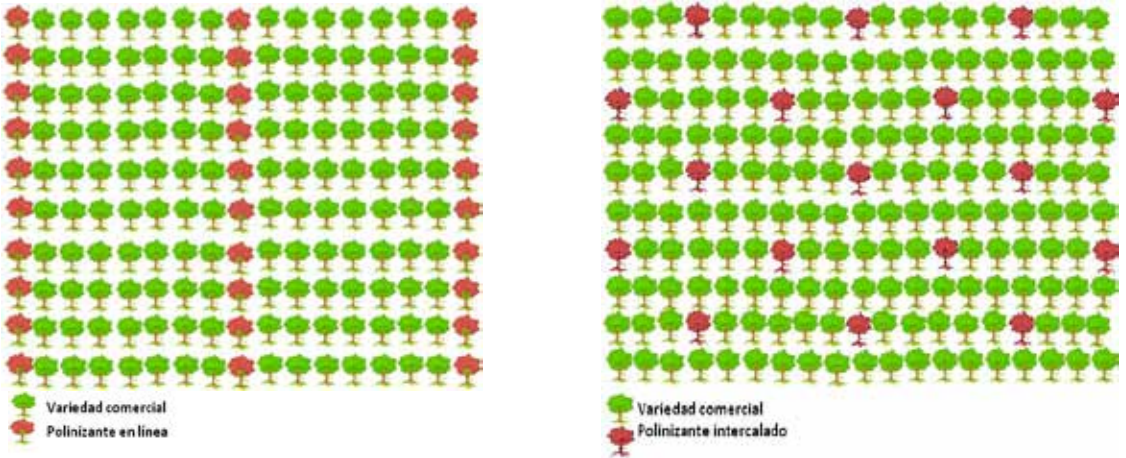


Figura 1. Ejemplo de ubicación de los cultivares polinizadores en el huerto.



Foto 1. Cultivares polinizantes dispuestos en hilera completa (7 julio de 2012) para el cv. Barcelona. Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

12.1.1. Autoincompatibilidad

La autoincompatibilidad es la incapacidad de una planta para producir semillas mediante auto-polinización, aun cuando estén presentes los gametos. Se trata de una estrategia reproductiva cuyo objetivo es estimular la fecundación entre individuos que no están relacionados y por tanto, es un mecanismo creador de nueva variabilidad genética (Frankel y Galun, 1997).

12.1.2. Autoincompatibilidad esporofítica

En la autoincompatibilidad de tipo esporofítica es el genoma del esporofito (2n) genitor del polen que determina el resultado de rechazo-aceptación,

la inhibición se presenta tempranamente a nivel del estigma, que no es causada ni por muerte celular programada ni por necrosis del polen. Al contrario, se ha observado que los gránulos de polen permanecen vitales y mueren luego por vejez sobre el estigma incompatible y sin la posibilidad de germinar por la incapacidad de rehidratarse.

La mayoría de las variedades de avellano europeo presentan autoincompatibilidad, es decir, el polen de una variedad no puede fecundar a las flores femeninas de la misma variedad, salvo algunas variedades como Tombul y Nocchione, parcialmente autocompatibles (Germain y Sarraquigne, 2004; Vicol *et al.*, 2009). Se ha determinado que la causa de éste fenómeno es de origen genético, controlado por una serie de alelos de un gen denominado S de esterilidad (Mehlenbacher, 1997; Thompson, 1979a; Thompson, 1979b; Thompson *et al.*, 1996). Un gen único, localizado en una porción específica del cromosoma controla este tipo de incompatibilidad. Existen alrededor de 30 alelos conocidos de este gen, cada uno identificado por un número.

La autoincompatibilidad se produce cuando los granos de polen y los tejidos del estilo de una variedad son portadores de los mismos alelos de incompatibilidad. Por ello, es importante conocer la incompatibilidad entre el cultivar principal y los polinizadores (Thompson, 1979; Mehlenbacher, 1997). Se recomienda la presencia de más de un cultivar polinizador genética y cronológicamente compatible que permita cubrir el período de floración femenina de la variedad principal (Heslop-Harrison, 1975).

La superficie estigmática es el sitio de la reacción de incompatibilidad y el crecimiento del tubo polínico se detiene en ésta (Mehlenbacher y Thompson., 1998; Hampson *et al.*, 1993). En un sistema de incompatibilidad esporofítica, la exina del polen porta dos alelos S determinados por las plantas que producen el polen (Me *et al.*, 2000). En otras palabras, el rechazo del polen en un sistema esporofítico está controlado por la interacción de la incompatibilidad genotípica del pistilo con el genotipo (parental) que aporta el polen, y no con el genotipo haploide del polen. Así, cada gránulo de polen en plantas con incompatibilidad esporofítica presenta los productos de dos alelos S y el rechazo ocurre cuando uno de los alelos coincide con alguno de los alelos S expresados en el pistilo (Matton *et al.*, 1994).

Este sistema genético se ha observado también en otras especies (Hughes y Babcock, 1950) y se debe a ciertos compuestos químicos que son parte de las paredes de los gránulos de polen, que se expresan cuando el tubo polínico entra en contacto con el estilo. Esto explica el reconocimiento entre el estigma y el grano polínico como efecto de una proteína S que es secretada por el tejido esporofítico diploide desde el tapetum interno de las anteras y fijada sobre la parte externa del grano polínico durante su maduración. Todos los alelos son codominantes en el pistilo, pero pueden

mostrar codominancia o dominancia en el polen (Mehlenbacher y Thompson, 1998). Como ya se ha indicado, el sitio de la reacción de incompatibilidad es la superficie estigmática del pistilo. Estudios de incompatibilidad alélica de avellano se pueden realizar mediante microscopía fluorescente, con el fin de elegir los polinizadores apropiados para un huerto de avellano. Se han realizado estudios moleculares en especies con incompatibilidad esporofítica, particularmente en brassicas, determinando que la incompatibilidad esporofítica ocurre a nivel celular en las papilas estigmáticas que portan en su superficie proteínas (S) con el gen receptor S kinasa (SRK), (Stein *et al.*, 1991). En la membrana plasmática y en la pared celular se encuentra la glicoproteína (SLG), (Nasrallah *et al.*, 1985). Ambos genes son altamente polimórficos y parte de la SLG presenta un alto grado de secuencia idéntica con el dominio extracelular SRK (Takassaki *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2001), concluyendo que SRK es determinante en la auto-incompatibilidad en el pistilo y que la SLG actúa promoviendo la manifestación completa de la auto-incompatibilidad a través de un mecanismo desconocido (Tatsayana e Isogai, 2003).

La fisiología de las reacciones de auto-incompatibilidad de todas las especies auto-incompatibles son similares. La superficie estigmática es tipo seca y el polen trinucleado. La auto-polinización es generalmente inhibida temprano, antes o al momento de la germinación del polen (Franklin *et al.*, 1995). Sin embargo otros autores encontraron polen bi-nucleado en avellano (Me and Radicati., 1983; Heslop-Harrison *et al.*, 1986).

12.2. Factores que inciden en la polinización

12.2.1. Cantidad de flores masculinas y femeninas.

La cantidad de flores está relacionada con los siguientes factores: longitud de los brotes de un año de más de 15 cm de longitud, buena penetración de luz al interior de la copa del árbol, máxima superficie foliar, mínimo daño en hojas por plagas y enfermedades y buen estado nutricional de las plantas (Ellena, 2010).



Foto 2. Árbol de avellano con adecuada longitud de brotes y alta presencia de flores femeninas.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 3. Árboles de avellano europeo con copa despejada y buena penetración de luz, cv. Tonda di Giffoni (izquierda) y cv. Barcelona (derecha). Comuna de Vilcún, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

12. 3. Variedades polinizadoras

Una buena variedad polinizadora debe tener las siguientes características:

(1) Compatibilidad fenotípica: o sea la floración masculina debe sobreponerse exactamente a la floración femenina de la variedad principal ("overlapping"). Cabe señalar que no todas las variedades polinizadoras presentan un buen overlapping con la variedad principal que requiere ser polinizada.

(2) Compatibilidad genotípica: los factores de incompatibilidad no deben ser los mismos para el estigma y el polen como se indicó anteriormente. La combinación de la variedad principal con su polinizante puede ser compatible solo cuando los factores de esterilidad del polen y del estigma son diferentes, como se indica en tabla de compatibilidad para diferentes variedades de avellano europeo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tabla de compatibilidad de variedades de avellano europeo.

| | <i>Polen Parenteral</i> | Barcelona | Ennis | Montebello | TGDL | T. Giffoni | T. Romana | Negret | Casina | Butler | Daviana | Hall's Giant | Willamette | Lewis | Clark |
|-------------------|--------------------------|-----------|-------|------------|------|------------|-----------|--------|--------|--------|---------|--------------|------------|-------|-------|
| Parental Femenino | <i>Alelo Expresado *</i> | 1 | 1 | 1 | 7 | 2 | 10-20 | 10 | 10-21 | 3 | 3 | 5-15 | 3 | 3-8 | 3-8 |
| Barcelona | 1 - 2 | - | - | - | + | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Ennis | 1 - 11 | - | - | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Montebello | 1 - 2 | - | - | - | + | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| TGDI | 2 - 7 | + | + | + | - | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| T. Giffoni | 2 - 7 | + | + | + | + | - | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| T. Romana | 2 - 23 | + | ++ | + | + | + | - | - | - | + | + | + | + | + | + |
| Negret | 10 - 20 | + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | + | + | + | + |
| Casina | 10 - 21 | + | + | + | + | + | - | - | - | + | + | + | + | + | + |
| Butler | 2 - 3 | + | + | + | + | - | + | + | + | - | - | + | - | - | - |
| Daviana | 3 - 11 | + | + | + | + | + | ++ | + | + | - | - | + | - | - | - |
| Hall's Giant | 5 - 15 | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - | + | + | + |
| Lewis | 3 - 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | - | - | + | - | - | - |
| Willamette | 1 - 3 | - | - | - | + | + | + | + | + | - | - | + | - | - | - |

(+) Compatible (-) Incompatible

(3) Compatibilidad de cosecha: la fecha de cosecha de la variedad polinizadora no debe ser muy precoz o tardía respecto a la variedad principal. Ello, para evitar dos cosechas separadas (variedad principal y cultivar polinizador).

(4) Compatibilidad tecnológica: especialmente para la industria procesadora en el mismo lote, se prefiere o exige avellanas con tamaño, forma y características comerciales muy similares entre ellas. Por ejemplo, en un lote de la variedad Barcelona o Tonda di Giffoni no pueden encontrarse avellanas de otras variedades diferentes como por ejemplo Daviana, Rojo, Café, Azul, entre otras.

12.5. Nuevas tecnologías de polinización

12.5.1. Polinización asistida o suplementaria

En avellano europeo se ha observado un marcado efecto de las condiciones térmicas sobre el tiempo de floración y grado de dicogamia, afectando significativamente la producción de los árboles. Por ello, es fundamental elegir una adecuada cantidad, distribución y densidad de cultivares polinizadores, para plantaciones de esta especie en diferentes zonas productoras. Para mejorar la polinización cruzada (natural del avellano) se puede recurrir a la polinización asistida o suplementaria, en particular en temporadas con condiciones climáticas adversas que dificultan el transporte del polen desde los amentos de los cultivares polinizadores (flores masculinas) hacia los estigmas receptivos (flores femeninas) de la variedad principal o comercial.

La polinización asistida es una técnica que ha permitido complementar la polinización natural de los cultivares polinizadores. Se ha realizado con éxito durante el período de receptividad de los estigmas (Ellena, 2010 y 2014). También se ha utilizado con éxito en otras especies frutales como Kiwi, con tratamientos de polen en suspensiones acuosas sobre las flores (Hopping y Jerram, 1979; Hopping y Jerram 1980a; Hopping, 1982; Hopping y Simpson, 1982; Hopping y Hacking, 1983; Testolin *et al.*, 1990) y tratamientos en polvo (Reginato *et al.*, 1992). En este estudio se demostró el efecto negativo del talco utilizado como acarreador con disminución del peso de los frutos (16,5%) utilizando polen conservado, lo que no se observó al considerar polen fresco recolectado previo a las aplicaciones. Ello podría atribuirse a una posible barrera física por acumulación de granos de polen no viables sobre la superficie estigmática, que impide la llegada de un número suficiente de granos de polen y con ello, una menor cantidad de microesporas totales que lograrían germinar y fertilizar los óvulos (Craig y Stewart, 1988)

La aplicación de polen se puede realizar mediante la aspersion vía líquida o mediante formulados secos que permitan su llegada en forma eficaz a los estigmas en estado de receptividad.



Foto 4. Medios líquidos y sólidos aplicados para polinización asistida.

12.5.2. Aplicaciones

Se recomienda realizar al menos dos aplicaciones cada 15 días después del inicio de la floración femenina, con dosis de 50 gramos de polen en 72 litros de agua o 50 gramos de polen en 5 kilos de materia inerte como talco o licopodium (Ellena, 2010). El tipo de polen (cultivar polinizador) y medio de aplicación utilizado tiene un efecto importante en el rendimiento de fruto de esta especie frutal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de selecciones de cultivares polinizadores sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (6 años de edad), a través de polinización asistida (en dos localidades). Temporada 2008-2009.

| Promedio de Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|---------|
| Metódo de aplicación | Selección INIA 24 | Selección INIA 45 | Selección INIA 3 | Selección INIA 103 | Testigo |
| Asperjado | 1.770 a | 1.145 a | 1.182 a | 1.533 b | |
| Pincelado | 1.312 ab | 846 abc | 908 b | 1.778 a | |
| Testigo | | | | | 993 bc |

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

En relación a lo anterior, el tratamiento con las selecciones INIA 24 e INIA 103 con aplicación de polen a través de los métodos de asperjado y pincelado permitió lograr los mayores rendimientos de fruto del cv. Barcelona (1.770 y 1.778 kg ha⁻¹, respectivamente), con diferencias significativas respecto del testigo (polinización natural del huerto), que solo alcanzó 993 kg ha⁻¹.

Cuadro 3. Efecto de selecciones de cultivares polinizadores sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (6 años de edad), a través de polinización asistida (temporadas 2008-2009 y 2009-2010). Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

| | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | | | |
|--------------------|---|-----|------------------------|-----|
| | 2009 | | 2010 | |
| Polinizantes | (kg ha ⁻¹) | % | (kg ha ⁻¹) | % |
| Selección INIA 103 | 1.655,7 | 167 | - | - |
| Selección INIA 24 | 1.586,9 | 160 | 2.742,9 | 132 |
| Selección INIA 45 | - | - | 2.422,9 | 116 |
| Selección INIA 87 | - | - | - | - |
| Selección INIA 3 | 1.044,6 | 105 | - | - |
| Selección INIA 33 | - | - | 2.315,6 | 111 |
| Testigo | 992,6 | 100 | 2.085,0 | 100 |

Se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de fruto del cv. Barcelona (Cuadro 3) con las selecciones polinizantes INIA 103 y INIA 24 en la temporada 2008-2009 (1.655,7 y 1.586,9 kg ha⁻¹) y selección INIA 24 en 2009-2010 (2.742,9 kg ha⁻¹), superior a los demás tratamientos incluido el testigo (polinización natural o cruzada del huerto).

La Plataforma Frutícola de INIA Carillanca continúa esta línea de investigación a fin de mejorar los resultados, poniendo a punto diferentes métodos de aplicación del polen: lycopodium, amentos, asperjado, polen fresco, polen conservado. A la vez, se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de fruto del cv Barcelona (2.985 kg ha^{-1}) con el tratamiento que incluyó la incorporación de lycopodium como acarreador del polen, superior a aquellos obtenidos con otros tratamientos, incluido el testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de distintos métodos de aplicación de polen sobre el rendimiento de fruto del cv. Barcelona (6 años de edad), (temporada 2011). Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

| Método de aplicación | Rendimiento (kg ha^{-1}) | % |
|----------------------|-------------------------------------|-----|
| Lycopodium | 2.985 | 143 |
| Amentos | 2.556 | 123 |
| Polen asperjado | 2.432 | 117 |
| Polen fresco | 2.165 | 104 |
| Polen conservado | 2.499 | 120 |
| Testigo | 2.085 | 100 |

Éste ha permitido un mejor desplazamiento del polen hacia los estigmas de las flores femeninas del cultivar principal. También se aprecia una tendencia favorable sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona, aunque de menor magnitud que lo indicado en el cuadro anterior, con el uso de amentos de cultivares compatibles con la variedad principal y polen conservado en frío durante una temporada. Con estos tratamientos se lograron rendimientos de 2.556 y 2.499 kg ha^{-1}) respectivamente, superiores al testigo (polinización natural de los cultivares polinizadores ubicados en el huerto) que alcanzó 2.085 kg ha^{-1} .

Trabajos recientes realizados por INIA Carillanca y la empresa Gafrusur de la Región de Los Lagos, indicaron un efecto positivo de la polinización asistida vía medio líquido y medio sólido, formulados con algunos acarreadores y compuestos nutritivos que permiten una mejor acción y vitalidad del polen empleado (datos no presentados). En una segunda etapa se pretende desarrollar dichos formulados a escala comercial y probablemente ofrecer un servicio de polinización asistida a los productores, con un producto de calidad garantizada. Este producto debe contener polen con un alto porcentaje de germinación, viabilidad y compatible con la variedad principal a polinizar.



Foto 5. Aplicación de medio líquido y sólido para polinización asistida. Comuna de Pitrufquén, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca



Foto 6. Árbol de avellano europeo, cv. Barcelona polinizado mediante polinización asistida con adecuada carga de frutas.

Fuente: INIA Carillanca

El empleo de esta técnica ha permitido mejorar los rendimientos en avellano europeo, que es importante para complementar la polinización natural de las variedades polinizadoras. En particular, bajo condiciones de clima no adecuado como exceso de lluvias durante el período de liberación del polen y receptividad de los estigmas situaciones de exceso de frío, donde se pueden dañar los amentos o exceso de humedad relativa que impide un buen transporte o vuelo del polen (Ciesielska *et al.*, 1994; Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2014; Ninot y Mena, 1983). Algunos resultados de estudios realizados con polinización asistida en el sur de Chile, con empleo de formulaciones en base a líquido mojable y polvo mojable pueden apreciarse en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Efecto del tipo de formulado sobre el rendimiento de fruto de avellano europeo, cv Barcelona en la comuna de Gorbea (Región de La Araucanía) y Osorno (Región de Los Lagos), (Temporadas 2014 y 2015).

| Tipo de formulado | Comuna Gorbea | | Comuna Osorno | | Ambas localidades | |
|-------------------|---|-----|---|-----|---|-----|
| | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % |
| Líquido mojable | 1.812 | 112 | 974 | 155 | 1.393 | 124 |
| Polvo mojable | 1.989 | 123 | 1.278 | 203 | 1.634 | 145 |
| Testigo | 1.618 | 100 | 629 | 100 | 1.123 | 100 |

Respecto de la polinización asistida, se aprecia una tendencia a un mayor rendimiento de fruto del cv. Barcelona con el formulado polvo mojable que con el líquido mojable y el testigo (solo polinización natural o cruzada del huerto), en los sitios experimentales de las Comunas de Gorbea y Osorno y en ambas localidades en conjunto (Cuadro 5). Estos resultados indicarían que existen serios problemas de polinización en el huerto y que la polinización asistida o suplementaria permite mejorar positivamente los rendimientos unitarios. En Osorno la tendencia a un mayor rendimiento de fruto, con el uso de polvo mojable es más pronunciada (45% superior al testigo), dado que existe una menor ventana con condiciones climáticas adecuadas que permitan lograr una polinización natural efectiva de los cultivares polinizadores, especialmente por exceso de lluvia y humedad ambiental, que afectan el transporte del polen desde los amentos a los estigmas de la flor femenina.

Con el objetivo de mejorar la efectividad de los formulados desarrollados por la Plataforma Frutícola de INIA Carillanca, se realizaron otros estudios con formulaciones de medios líquidos y sólidos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto del tipo de formulaciones líquidas sobre el rendimiento de fruto de avellano europeo, cv Barcelona, en las comunas de Gorbea (Región de La Araucanía) y Osorno (Región de Los Lagos), (Temporada 2014 y 2015).

| Formulación líquido | Comuna Gorbea | | Comuna Osorno | | Ambas localidades | |
|---------------------|---|-----|---|-----|---|-----|
| | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % |
| ML 1 | 1.588 | 98 | 1.004 | 160 | 1.296 | 115 |
| ML 2 | 1.988 | 123 | 830 | 132 | 1.409 | 125 |
| ML 3 | 1.860 | 115 | 1.090 | 173 | 1.475 | 131 |
| Testigo | 1.618 | 100 | 629 | 100 | 1.123 | 100 |

En la comuna de Gorbea, se aprecia una tendencia a mejores rendimientos con los medios líquidos (ML2 y ML3), 1.988 y 1.860 kg ha⁻¹ respectivamente, con un 23 y 15% más de rendimiento que el testigo (1.618 kg ha⁻¹). Al respecto, en la comuna de Osorno los mejores rendimientos se lograron con el medio (ML3 y ML1) con producciones de 1.090 y 1.004 kg ha⁻¹, con un 73 y 60% más de rendimiento en relación al testigo (629 kg ha⁻¹).

Cuadro 7. Efecto del tipo de formulaciones polvo seco sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona (7 años de edad), (Temporada 2014 y 2015). Comunas de Gorbea (Región de La Araucanía) y Osorno (Región de Los Lagos).

| Formulado Seco | Comuna Gorbea | | Comuna Osorno | | Ambas localidades | |
|----------------|---|-----|---|-----|---|-----|
| | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) | % |
| WD 1 | 1.544 | 95 | 1.220 | 194 | 1.382 | 123 |
| WD 2 | 2.434 | 150 | 1.336 | 212 | 1.885 | 168 |
| Testigo | 1.618 | 100 | 629 | 100 | 1.123 | 100 |

Respecto a los formulados polvo seco, se aprecia en la comuna de Gorbea una tendencia a un mayor rendimiento (2.434 kg ha⁻¹) con el tratamiento WD2, con un 50% más de producción que el testigo (1.618 kg ha⁻¹). Por su parte en el sitio experimental de Osorno, los 2 formulados sólidos empleados muestran una tendencia caracterizada por rendimientos muy superiores (1.336 y 1.220 kg ha⁻¹) al testigo (629 kg ha⁻¹). Ello podría sugerir que bajo las condiciones experimentales del sitio en la comuna de Osorno existen serios problemas de polinización cruzada o natural del huerto.

Por otra parte, los estudios contemplaron también la evaluación del método de aplicación del polen mediante equipos (neumático, hidroneumático y centrífuga y pulverizador), para determinar su efecto sobre el rendimiento de fruto de avellano europeo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de diferentes métodos de aplicación de polen sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona (7 años de edad), (Temporadas 2014 y 2015). Comunas de Gorbea (Región de La Araucanía) y Osorno (Región de Los Lagos).

| Localidad | Comuna Gorbea | | Comuna Osorno | |
|----------------|------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | % | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | % |
| Centrífuga | 1.362 a | 84 | 925 b | 147 |
| Hidroneumática | 2.029 b | 125 | 1.032 b | 164 |
| Neumática | 2.045 b | 126 | 967 b | 154 |
| Pulverizadora | 1.989 b | 123 | 1.278 b | 203 |
| Testigo | 1.618 a | 100 | 629 a | 100 |

Medias con letras diferentes indican que existen diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

En la comuna de Gorbea, los métodos de aplicación de polen mediante equipos de tipo neumático, hidroneumático y pulverizador permitieron rendimientos significativamente superiores de fruto (2.045, 2029 y 1.989 kg ha⁻¹) a aquellos logrados con el testigo (1.618 kg ha⁻¹) y el sistema centrífuga, que presentó los rendimientos más bajos (1.362 kg ha⁻¹). En el sitio experimental de la comuna de Osorno, todos los tratamientos que consideraron aplicación de polen mediante el uso de equipos determinaron un significativo mayor rendimiento de fruto que el testigo (629 kg ha⁻¹). No obstante, en esta última localidad se aprecia una tendencia no significativa a un mayor valor del parámetro con el uso del equipo pulverizador (1.278 kg ha⁻¹). Por otra parte, en ambos sitios experimentales también se aprecia una tendencia (no significativa estadísticamente) a obtener menores valores del parámetro cuando se utiliza el equipo centrífuga, respecto de los otros equipos evaluados. Ello posiblemente indicaría que el equipo empleado no logró un buen mojamiento y por tanto, hubo una escasa eficacia en la llegada del polen al estigma de la flor femenina.



Fotomontaje 1. Mojamiento y eficacia de la aplicación de los equipos empleados.

Durante la temporada 2014-2015 se continuaron los ensayos de polinización asistida con medios líquidos, sólidos y microencapsulado (con diferentes dosis) en las comunas de Gorbea y Osorno, cuyos resultados se presentan a continuación.

Cuadro 9. Efecto de diferentes tipos de formulados y dosis sobre el rendimiento de frutodel cv Barcelona (temporadas 2014 y 2015). Gorbea, Región de La Araucanía.

| Formulado | Rendimiento fruto (kg ha ⁻¹) | | | | | |
|----------------------------------|--|------------------------|------------------------|---------|----------|-----|
| | 80 g ha ⁻¹ | 160 g ha ⁻¹ | 240 g ha ⁻¹ | Testigo | Promedio | % |
| Líquido | 870 | 861 | 854 | | 861 | 118 |
| Seco | 729 | 768 | 773 | | 757 | 104 |
| Microencapsulado | | 688 | | | 688 | 94 |
| Testigo | | | | 728 | 728 | 100 |
| Promedio medios (seco y líquido) | 799 | 815 | 813 | 728 | | |
| % | 110 | 112 | 112 | 100 | | |

En la comuna de Gorbea, los mayores rendimientos promedios (861 kg ha⁻¹) se obtuvieron con el tratamiento líquido en las diferentes dosis empleadas (80, 160 y 240 g), sin diferencias importantes de rendimiento de fruto obtenidas con el uso de ellas. Se observa una tendencia a un mayor rendimiento de fruto con los tratamientos líquidos y sólidos que con el testigo (728 kg ha⁻¹). El tratamiento con menor rendimiento (688 kg ha⁻¹) se obtuvo con el microencapsulado, ya que aún es necesario mejorar el proceso de microencapsulación, particularmente el grosor de la capa que envuelve los gránulos de polen. Es importante indicar que los rendimientos fueron extremadamente bajos durante la temporada 2014-2015 por condiciones climáticas que afectó con fuerza la producción de flores femeninas.

Cuadro 10. Efecto de diferentes tipos de formulado y dosis sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona (temporadas 2014 y 2015). Comuna de Osorno, Región de Los Lagos.

| Formulado | Rendimiento fruto (kg ha ⁻¹) | | | | | |
|----------------------------------|--|------------------------|------------------------|---------|----------|-----|
| | 80 g ha ⁻¹ | 160 g ha ⁻¹ | 240 g ha ⁻¹ | Testigo | Promedio | % |
| Líquido | 870 | 832 | 913 | | 864 | 116 |
| Seco | 788 | 764 | 765 | | 772 | 104 |
| Microencapsulado | | 792 | | | 792 | 107 |
| Testigo | | | | 743 | 743 | 100 |
| Promedio medios (seco y líquido) | 818 | 798 | 839 | 743 | | |
| % | 110 | 107 | 113 | 100 | | |

En el sitio experimental de la comuna de Osorno los mayores rendimientos promedio se lograron con el tratamiento líquido (864 kg ha^{-1}), observándose una tendencia de mayor rendimiento de fruto (913 kg ha^{-1}) con el uso de la dosis más elevada del formulado líquido (240 g). El microencapsulado no mostró diferencias de rendimiento de fruto con el testigo (ambos con producciones promedio de 792 kg ha^{-1}).

Cuadro 11. Efecto de diferentes tipos de formulado sobre el rendimiento promedio del fruto del cv Barcelona (7 años de edad), (temporadas 2014 y 2015). Comunales de Gorbea (Región de La Araucanía) y Osorno (Región de Los Lagos).

| Tipo de formulado | Rendimiento de fruto promedio (kg ha^{-1}) |
|-------------------|---|
| Líquido | 862,6a |
| Seco | 764,5b |
| Microencapsulado | 740,1b |
| Testigo | 733,4b |

Medias con letras diferentes indican que existen diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$).

El formulado líquido condujo a un rendimiento de fruto del cv Barcelona significativamente superior al logrado con el formulado seco, microencapsulado y el testigo, sin mayores diferencias entre sí. En general, los rendimientos de fruto obtenidos fueron notoriamente inferiores al normal, debido a las inadecuadas condiciones climáticas imperantes durante el invierno de 2014 en las regiones de La Araucanía y Los Lagos.

Por otra parte, la microencapsulación es una tecnología interesante a utilizar en polinización asistida ya que permitiría proteger el grano de polen de las condiciones ambientales y poder almacenar a temperatura ambiente, prescindiendo de la cadena de frío que implica un costo importante por concepto de conservación del polen durante una temporada hasta su utilización en campo. Sin embargo, como se dijo anteriormente, los protocolos de esta tecnología deberán ser ajustados con el fin de lograr un producto a nivel comercial de elevada calidad.

Por otra parte, los distintos cultivares polinizantes utilizados en la formulación líquida, no se diferenciaron significativamente entre ellos respecto del rendimiento de fruto obtenido, lo cual puede apreciarse en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Efecto de distintos cultivares polinizadores utilizados en formulación líquida para polinización asistida sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona (7 años de edad), (temporadas 2014 y 2015). Comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

| Cultivar polinizante | Rendimiento promedio (kg ha ⁻¹) |
|----------------------|---|
| CR | 908,1 a |
| CM | 870,6 a |
| CB | 845,8 a |
| CA | 826,1 a |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, según prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$).

En relación a la evaluación de la combinación del medio/formulado y sistema de aplicación, se observa que el uso del medio A en formulado seco aplicado con pulverizadora, condujo a un mayor rendimiento de fruto del cv. Barcelona con un rendimiento promedio (1.885,3 kg ha⁻¹), (Cuadro 13), significativamente superior al de los demás tratamientos, excepto de aquel con el medio GG y aplicación neumática y del otro con el medio GA y sistema hidroneumático.

Cuadro 13. Efecto de la interacción medio/formulado y sistema de aplicación sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona (7 años de edad), (temporada 2014). Comunas de Gorbea (Región de La Araucanía) y Osorno (Región de Los Lagos).

| Medio | Sistema de aplicación | Rendimiento promedio (kg /ha ⁻¹) |
|-------|-----------------------|--|
| A | Pulverizadora | 1.885,2 a |
| GG | Neumática | 1.647,4 ab |
| GA | Hidroneumática | 1.573,2 abc |
| A | Hidroneumática | 1.523,5 bc |
| GA | Neumática | 1.518,7 bc |
| GA | Hidroneumática | 1.494,4 bc |
| M | Pulverizadora | 1.382,1 bcd |
| A | Neumática | 1.351,1 bcde |
| GG | Centrífuga | 1.283,8 cde |
| GA | Centrífuga | 1.133,9 de |
| A | Centrífuga | 1.012,9 e |

Medias con letras diferentes indican diferencias significativas, según prueba LSD de Fisher ($p < 0,05$)

El rendimiento más bajo se obtuvo con el medio A, aplicado a través del sistema centrífuga (1.012,9 kg ha⁻¹). Respecto a otras variables medidas (datos no presentados), como peso del fruto, peso de semilla y número

de frutos vanos, no se encontraron diferencias significativas entre los distintos medios usados. En cuanto el medio de aplicación utilizado (datos no presentados), el sistema centrífuga mostró un significativo menor peso de fruto y de semillas que el testigo. No se encontraron diferencias significativas en el número de frutos vanos, entre los distintos métodos de aplicación evaluados.

Por otra parte, el incremento de la dosis de polen en el formulado líquido no presentó un aumento significativo del rendimiento de fruto del cv. Barcelona (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto de las dosis de polen (g) en el formulado líquido sobre el rendimiento de fruto del cv Barcelona (7 años de edad). Temporada 2015.

| Dosis de polen (g) | Rendimiento de fruto (kg ha ⁻¹) |
|--------------------|---|
| 0,1 | 858,3 a |
| 0,2 | 846,3 a |
| 0,3 | 883,1 a |

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes, según prueba LSD de Fisher ($p > 0,05$).

En relación a la polinización después de 7 temporadas de investigación gracias al **proyecto Corfo: "Evaluación de tecnologías para el mejoramiento de la productividad y calidad del fruto de avellano europeo (*Corylus Avellana* L.) en la zona sur de Chile destinado a la industria alimentaria y proyecto FIA: "Creación de un formulado en base a polen (Polle Nuts INIA) de calidad garantizada para el incremento de la productividad de avellano europeo y el fortalecimiento de la competitividad del rubro en Chile**, se ha demostrado que el proceso de polinización cruzada con cultivares polinizadores en el huerto es insuficiente. En invierno, la alta humedad y precipitaciones frecuentes son una barrera para la llegada del polen al estigma de la flor femenina, impidiendo en consecuencia alcanzar el potencial de rendimiento esperado. A la vez, los cultivares polinizadores poseen diferentes porcentajes de germinación del polen (10-80%). Por ello, la técnica de polinización asistida mediante formulaciones en seco y líquida puede incrementar los rendimientos, particularmente en zonas bajo condiciones climáticas adversas.

Estudios realizados en España (Cataluña), han evidenciado una inadecuada polinización de los huertos debido a la caída de amentos y escasa elongación de éstos, particularmente en zonas con mayor temperatura con inviernos suaves por falta de horas frío (número de horas bajo 7°C), (Ninot y Mena, 1983). En la zona central de Chile durante la temporada 2015 se observó una caída prematura de los amentos, particularmente del cv Barcelona,

utilizado como principal polinizador de la variedad Tonda di Giffoni (producto de una menor acumulación de horas frío). Dicha situación podría afectar significativamente los rendimientos de los huertos. Más aún si las condiciones climáticas no son favorables para disponer de una cantidad suficiente de amentos y polen de calidad que permita lograr una buena polinización de los árboles. Por ello, bajo condiciones climáticas adversas, la polinización artificial o suplementaria eventualmente podría ser una poderosa herramienta para mejorar la polinización natural de los huertos de avellano europeo.



Foto 7. Árbol del cv Barcelona con escasa disponibilidad de amentos comuna de Curicó, zona central de Chile (30 junio de 2015).

Fuente: INIA Carillanca

12.5.3. Equipos para asperjar formulados en base a polen

Existen equipos tanto para aplicaciones líquidas como medios sólidos. Entre los principales se pueden mencionar los siguientes: centrífuga, neumática, hidroneumática y pulverizadora.

En huertos de menor tamaños se pueden utilizar máquinas pequeñas, operadas manualmente para asperjar formulados sólidos a base de polen.



Foto 8. Máquina manual para asperjar formulados sólidos en base a polen.

Fuente: INIA Carillanca

12.5.4. Equipos para provocar movimiento del polen

En días fríos con elevada humedad, cuando se dificulta el desplazamiento natural del polen hacia las flores femeninas de la variedad principal, es posible recurrir al empleo de atomizadores para provocar movimiento del aire viento artificial, aplicado sobre los cultivares polinizadores. Este método ha permitido mejorar la polinización y el rendimiento de fruto de los árboles de avellano europeo en el sur de Chile.



Foto 9. Equipo para causar movimiento del polen en el aire.

Fuente: INIA Carillanca

Otra posibilidad es el uso de polinización electroestática, cargando el polen con carga positiva (50kV) y aplicado con atomizador.

Por otra parte, para huertos pequeños de 1-2 ha es factible utilizar amentos de cultivares polinizadores genéticamente compatibles con la variedad principal. Se han observado buenos resultados productivos a través del uso de amentos colgados en la parte superior y media de los árboles. Esta técnica ha permitido mejorar la polinización y el rendimiento de fruto de las variedades comerciales de avellano europeo sustancialmente (70%), en particular en huertos jóvenes con poca disponibilidad de polen de los cultivares polinizadores, bajo las condiciones climáticas del sur de Chile (Ellena, 2010; Ellena *et al.*, 2014).



Foto 10. Empleo de amentos para polinización asistida o suplementaria en avellano europeo, Centro Regional INIA Carillanca.

Fuente: INIA Carillanca

Referencias Bibliográficas

Ciesielska, J., Tylus, K., and A. Codles. 1994. Impollinazione supplementare del nocciolo. *Acta Horticulturae* 351:275-281.

Craig, J.L., and A.M. Stewart. 1988. A review of kiwifruit pollination: Where to next?. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 16: 385-399.

Ellena, M. 2010. Polinización y manejo del avellano europeo. *Boletín INIA* N° 202. 88 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., y P. Sandoval. 2013. Organografía. p. 27-48. *In* Ellena, M. (ed.) *Avellano Europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva*. *Boletín INIA* N° 274. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.

Ellena, M., Sandoval, P., González, A., Galdames, R., Jequier, J., Contreras, M., y G. Azócar. 2014. Preliminary results of supplementary pollination on hazelnut in south Chile. *Proc. VIII Int. Congress on Hazelnut. Acta Hort. (ISHS)* 1052: 121-127.

Franklin, F.C.H., Lawrence, M.J., and V.E. Franklin-Tong. 1995. Cell and molecular biology of self-incompatibility in flowering plants. *International Review of Cytology* 158: 1-64.

Frankel, R y Galun, E. 1997. *Meccanismi di impollinazione, riproduzione, e coltivazione delle piante*. *Monographs on Theoretical and applied Genetics* n°2. Springer-Verlag. Berlin.

Gaten, T. 2000. *Polen is?*. Leído en <http://www.le.ac.uk/biology/research/pollen.htm>.

Germain, E., et J.P. Sarraquigne. 2004. *Le noisetier* CTIFL, Centre technique interprofessionel des fruits et legumes. 299p.

Hampson, C.R., Azarenko, A.N., and A. Soeldner. 1993. Pollen-stigma interactions following compatible and incompatible pollinations in hazelnut. *J. American Soc. Hort. Sci.* 118: 814-819.

Heslop-Harrison, J. 1975. Incompatibility and the pollen-stigma interaction. *Ann. Rev. Plant Phys.* 26: 403-425.

Heslop-Harrison Y., Heslop-Harrison, J.S., and J. Heslop-Harrison. 1986. Germination of *Corylus avellana* L. (hazel) pollen: hydration and the function of oncus. *Acta Bot. Neerlandica* 35: 265-284.

- Hopping, M.E., and E.M.Jerram. 1979. Pollination of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch.): stigma-style structure and pollen tube growth. *New Zealand Journal of Botany* 17: 233-240.
- Hopping, M.E., and E.M.Jerram. 1980a. Supplementary pollination of tree fruits. I. Development of suspensión media. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 23: 509-515.
- Hopping, M.E. 1982. Spray pollination of kiwifruit *New Zealand Agricultural Science* 16: 46-48.
- Hopping, M.E.,and L.M.Simpson. 1982. Supplementary pollination of tree fruits. III. Suspension media for kiwifruit pollen. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25: 245-250.
- Hopping, M.E.,and N.J.A. Hacking. 1983. A comparison of pollen application methods for the artificial pollination of kiwifruit. *Acta Hort.* 139: 41-50.
- Hughes, M.B.,and E.B.Babcock. 1950. Self-incompatibility in *Crepis foetida* (L.) subsp. *Rhoedifolia*. *Genetics* 35: 570-588.
- Knox, R.B. 1984. The pollen grain: *In Embryology of Angiosperms*. ed. B.M. John.p.197-271. Springer Verlag, New York, USA.
- Marcucci, M.C., Ragazini, D., and S. Sansavini. 1984. The effects of gamma-rays and laser rays on the functioning of apple pollen in pollination and mentor experiments. *J. Hort. Sci.* 59: 57-62.
- Matton, D.P., Nass, N., Clarke, A.E.,and E. Newbigin. 1994. Self incompatibility: how plants avoid illegitimate off spring. *Proc. Natl. Acad. Sci USA*, 91(6):1992-1997.
- Me, G., Radicati, L.,Vallania, R.,Miaja, M.L.,Valentini,N., and G. Pancheri. 2000. Research on the genetics of incompatibility in *Corylus*. *Acta Hort.* 538: 477-481.
- Mehlenbacher, S.A. 1997. Testing compatibility of hazelnut crosses using fluorescence microscopy. *Acta Hort.* 445:167-171.
- Mehlenbacher, S.A. and M.M. Thompson. 1998. Dominance relationships among S- alleles in *Corylus avellana* L. *Theor. Appl. Genet*; 76: 669-72.
- Nasrallah, J.B; T.H. Kao, M.L. Goldberg and M.E. Nasrallah. 1985. A cDNA clone encoding an S-locus specific glycoprotein from *Brassica oleracea*. *Nature*, 318: 263-7.

Ninot, J e J. Mena. 1983. Pollinisation et Productivite Du Noisetier Au Camp De Tarragona. Convegno Internazionale sul Nocciolo Avelino, Italia p. 341-345.

Reginato, G., Martin, R., y J.L. Camus. 1992. Incidencia de la polinización anemófila y polinización manual suplementaria sobre el tamaño del fruto del kiwi. Investigación Agrícola (Chile) Vol. 15 (1 - 2): 7-17.

Roversi. A. 2007. Aspetti agronomici e varietali della coltivazione del nocciolo. Notiziario Tecnico N° 75, CRPV. p.29-33.

Silva, N.F., Chrite, S.I., Sulaman, W., Nazarian, K.A.P., Burnett, L.A., Arnoldo, M.A., Rothstein, S.J., and D.R.Goring. 2001. Expression of the S receptor kinase in self-incompatibility Brassica napus cv. Westar leads to the allele-specific incompatible Brassica napus pollen. Mol. Gent. Genom. 265: 552-559.

Strasburger, E. 1994. Tratado de Botánica. 1088 p.8ª edición. Omega, Barcelona, España.

Seiler, G., and M.Olson. 1999. Pollen germination of wild sunflower species. Tektran, Agricultural Research Service, <http://www.nal.usda.gov//ttic/tektran>.

Stein, J.C.,Howlett, B.Boyes, D.C.,Nasrallah, M. E., and J.B. Nasrallah. 1991. Molecular cloning of a putative receptor protein kinase gene encoded at the self-incompatibility locus of *Brassica oleracea*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 88: 8816-8820.

Takassaki, T., Hatakeyama, K., Suzuki,G., Watanabe, M., Isogai, A., and K. Hinata. 2000. The S receptor kinase determine self-incompatibility in *Brassica stigma*. Nature, 403: 913-916.

Tatsayana, S.,and A. Isogai. 2003. Molecular mechanism of self-recognition in *Brassica* self- incompatibility. J. Exp. Bot. 54:149-156.

Testolin, R. Costa, G. e Bassi, R- 1990. Impollinazione e qualità dei frutti nell´actinidia. Rivista di Frutticoltura 10: 27-35.

Thompson, M.M. 1979. Genetics of incompatibility in *Corylus avellana* L. Theor. Appl. Genet.54: 113-116.

Thompson, M.M. 1979. Incompatibility alleles in *Corylus avellana* L.cultivars. Theor. Appl. Genet. 55: 29-33.

Thompson, M.M., Lagerstedt, H.B., and S.A. Mehlenbacher. 1996. Hazelnut. p.125-184. In Janick, J., and J.N. Moore (eds.) Fruit Breeding, Vol. 3. Nuts. John Wiley and Sons, New York, USA.

Vicol, A., Botu, I., Botu, M., and A. Giorgiota. 2009. Preliminary study of incompatibility alleles expressed in pollen of romanian hazelnut cultivars. Bulletin UASVM Cluj-Napoca. Horticulture 66 (1): 480-483.

CAPÍTULO 13



UTILIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL

Miguel Ellena D., Ing. Agrónomo Dr.
Paola Sandoval F., Ing. Agrónomo
Felipe Marchant C., Ing. Agrícola

Introducción

El avellano (*Corylus avellana* L.) es uno de los frutales de nuez más importantes cultivados en el mundo, por sus propiedades nutritivas y nutraceuticas. Por sus características organolépticas, las avellanas son utilizadas como materia prima para la elaboración de diferentes alimentos en industrias como pastelería, chocolatería, heladerías y para fabricación de aceites, licores, postres, entre otros (Alasalvar *et al.*, 2010).

La avellana, originaria del Asia Menor, era conocida y consumida en la antigüedad. Las poblaciones del Neolítico las preferían en los meses invernales y los griegos las consumieron en abundancia. Teofrasto las menciona en sus escritos en el siglo IV A.C. A la vez, la dieta de los atletas griegos en las olimpiadas consideraba avellanas junto a grano turco y queso. En la antigua Roma era muy apetecida como fruta fresca o consumo directo, seca y tostada, y como componente de salsas para carnes.

13.1. Aspectos nutricionales

Las características nutricionales positivas de las avellanas son conocidas desde hace mucho tiempo, lo cual ha sido confirmado últimamente por estudios específicos. Destaca su aroma único, delicadeza, textura crocante y típico sabor, que la identifican como un producto insustituible en diversos usos o composiciones de alimentos.

La variedad, origen geográfico, año de cosecha y condiciones climáticas son algunos factores que influyen en la composición cualitativa y cuantitativa de las avellanas. Los manejos agronómicos que se efectúan en el huerto y el tipo de suelo junto a su nivel de fertilidad, entre otros factores pueden incidir por ejemplo, en el contenido de minerales del fruto. La presencia de algunos minerales y el contenido en ácidos grasos tienen un efecto importante sobre la estabilidad de las avellanas y en los productos que se obtienen de su transformación industrial. Algunos factores físico-químicos también pueden contribuir a su valorización, entre estos, es importante que el contenido lipídico no sea demasiado elevado y que la composición de los ácidos grasos confiera características organolépticas óptimas a la semilla tostada (durante el proceso de transformación industrial), limitando simultáneamente riesgos de enranciamiento durante la conservación de las avellanas o del producto de transformación obtenido a partir de éstas (Antoniazzi, 1996; Alphan *et al.*, 1997; Bignami *et al.*, 1999; Botta *et al.*, 1997).

Por otra parte, los procesos tecnológicos (transformación industrial), como el tostado de la avellana, producen modificaciones en sus características nutricionales y organolépticas. En estos cambios se considera la composición aminoacídica y su disponibilidad, contenido en vitaminas, ácidos grasos libres y estado de oxidación.

13.1.2. Principios nutricionales

Las avellanas son una importante fuente de energía, con elevado poder nutricional, con un alto nivel de macronutrientes, buen contenido de proteína y particularmente una elevada concentración de lípidos. La fracción lipídica es particularmente rica en ácido oleico y también presenta tocoferoles y fitoesteroles (Savage *et al.*, 1999; Giusti y Cannella, 2002). Según estudios realizados en Italia, 100 g de la parte comestible del fruto (semilla) tienen 655 calorías. El contenido de proteína es alrededor de 12,7-17,7% (dependiendo de las variedades) y presenta algunos aminoácidos esenciales (Bignami *et al.*, 1999). El porcentaje de carbohidratos es bajo, prácticamente el 50% de ellos corresponden a azúcares simples de rápida absorción por el organismo. El contenido en azúcares presenta valores cercanos al 4% del peso seco de la semilla, siendo la sacarosa aquella de mayor importancia (80%), (Botta *et al.*, 1997).

Por otra parte, su composición en fibra reviste gran importancia pues reduce la absorción de azúcares y grasas, mejorando la funcionalidad del aparato gastroentérico. Lo anterior permite proteger al organismo contra la carcinogénesis intestinal. El porcentaje de fibra es de aproximadamente un 8,1%. Los lípidos son responsables del poder calórico de las avellanas, siendo su mayor componente nutricional (64% del total). De éste, el 90% son insaturados y la mayor parte monoinsaturado como el ácido oleico (Arcoleo, 1991; Parcerisa *et al.*, 1999). El ácido oleico, adicionalmente, mejora la capacidad de utilización de la insulina, mantiene constante los niveles glicémicos reduciendo el riesgo de contraer diabetes.

Las avellanas contienen Omega 3 y Omega 6 (ácidos grasos poliinsaturados) que reducen el riesgo de aparición de enfermedades cardiovasculares. El ácido linolenico, precursor de los omega 3 de cadena larga, tienen una función favorable sobre la coagulación de la sangre y el estado de las arterias. Estas cualidades permiten su consumo en personas que hayan tenido enfermedades cardiovasculares (ej. infartos o ictus), siempre en el ámbito de una dieta equilibrada (Monagas *et al.*, 2009; Richardson, 1997). El equilibrado contenido en ácidos grasos y la presencia de compuestos con propiedades antioxidantes confieren a las avellanas un rol importante en la alimentación humana (Arlorio *et al.*, 1996; Richardson *et al.*, 1997). Compuestos lipídicos como la vitamina E (alfa tocoferol) han evidenciado un efecto positivo sobre la salud (Ozdemir *et al.*, 2001; Giusti *et al.*, 2002).

13.1.3. Efectos beneficiosos de los ácidos grasos para la salud

Los ácidos grasos insaturados reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares y degenerativas, disminuyendo los triglicéridos. Las avellanas poseen un buen control de la diabetes, ya que pueden disminuir los niveles de glucosa en la sangre, dicha combinación de factores los

hacen protectores en relación a las patologías cardiovasculares. Parece que los ácidos grasos insaturados esenciales presentan una acción protectora, en relación al envejecimiento cerebral, manteniendo el cerebelo activo. Lo anterior, ya que el ácido graso esencial docosahexaenoico (DHA) es el principal componente de la sinapsis cerebral y de los fotorreceptores retínicos. Adicionalmente, presentan importantes acciones en el hígado, debido a que promueven la movilización del colesterol y triglicéridos desde este órgano a otros tejidos, desintoxicando al hígado y previniendo fenómenos de acumulación de grasa a nivel hepático (esteatosis hepática). Por otra parte, presentan efectos benéficos a nivel de la piel. La falta de ácidos grasos en la dieta favorece la aparición de patologías cutáneas como eccema y piel seca. Ello, porque los ácidos grasos insaturados participan en la formación de las membranas celulares que protegen todas las células, comprendidas las cutáneas, por lo cual no deben faltar en la dieta (Arcoleo, 1991).

En términos de elementos nutritivos, las avellanas se caracterizan por contener zinc, cobre, selenio con actividad antioxidante y magnesio. Además, también poseen potasio, hierro, fósforo y calcio. El fósforo y calcio de las avellanas contribuyen a la salud de los dientes, reforzándolos y con la ventaja que es un alimento escasamente cariogénico. Las avellanas también contienen hierro, constituyente principal de la hemoglobina (molécula que une al oxígeno en la sangre y lo cede o entrega a los tejidos), oxigenando los tejidos (Pala *et al.*, 1996). También se encuentran en ellas vitaminas B1 y B2 que son fundamentales en el desarrollo de las fibras nerviosas, excelente fuente de piridoxina, Vitamina B6 que reduce los riesgos de enfermedades al corazón y diferentes formas de cáncer (Sullivan *et al.*, 2014), vitamina A y E con elevada capacidad antioxidante que contrarrestan los radicales libres y la oxidación del colesterol o lipoproteína de baja densidad (LDL) que circula en la sangre, oxidación que constituye un factor importante en el desarrollo de la arterosclerosis, ya que facilita la deposición de colesterol sobre la pared de las arterias. El LDL tiene como funciones importantes transportar ácidos grasos, antioxidantes y colesterol al cerebro, particularmente a las neuronas, donde desempeña funciones vitales en las redes neuronales para transmitir mensajes y fomenta el desarrollo de nuevas células nerviosas (Seneff, 2009). La oxidación causa la anulación de la función de la LDL y también el exceso de glucosa puede hacerla disfuncional al adherirse a ella y acelerar el proceso de la oxidación que conlleva al desarrollo de la arteroesclerosis. Contiene también vitaminas hidrosolubles como la tiamina y la niacina, en particular las avellanas son ricas en vitamina B6 cuyo contenido oscila entre 0,55 y 0,88 mg 100g⁻¹. Además, en esta fruta se encuentran otras aminoácidos importantes como la arginina, precursor del óxido nítrico, potente regulador de la función de los vasos sanguíneos, esteroides y varios compuestos fenólicos bioactivos que presentan efectos beneficiosos sobre la salud humana, reduciendo el estrés oxidativo y la inflamación sistemática, a menudo causada por patologías crónicas

degenerativas, cardio-metabólicas y neurodegenerativas. En relación a dichos componentes menores, estos son muy variables e influenciados por múltiples factores, como por ejemplo la variedad, origen geográfico, período de cosecha y manejo agronómico (fertilización, riego), (De Salvador *et al.*, 2009).

13.1.4. Alimentación saludable

La fruta seca (tipo nuez), entre las cuales destacan las avellanas, son ricas en ácidos grasos insaturados, fibra, minerales, vitaminas y fitonutrientes (Sullivan *et al.*, 2014). No obstante, a pesar que esta fruta es altamente calórica, muchos estudios epidemiológicos han evidenciado que las personas que la consumen regularmente son más longevas, respecto a aquellos individuos que no la ingieren. Las dietas para adelgazar, mediante el consumo de fruta seca (tipo nuez, como las avellanas) presentan una mayor pérdida de peso, mejoramiento de los factores de riesgo cardiovascular y cerebral respecto a aquellas dietas con pocas grasas.

Estudios realizados por la Clínica Mayo en Estados Unidos, determinaron que los individuos con dietas altas en grasas saludables tenían 42% menos probabilidades de presentar un deterioro cognitivo (Mulder, 1998). Por otra parte, otros estudios han evidenciado que consumidores habituales de aceites ricos en omega 3, como aceite de frutos secos, oliva, linaza, tenían un 60% menos riesgo de presentar demencia respecto a personas que no consumían este tipo de aceites saludables (Bargerger-Gateau., 2007).

El consumo de alimentos con omega 3 (DHA, ácido docosahexaenoico) junto con realizar ejercicios y bajar las calorías ha evidenciado una mayor producción de una proteína denominada factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF), que desempeña un papel fundamental en la creación de nuevas neuronas junto a la neurogénesis. A su vez, protege las neuronas existentes, garantizando su supervivencia y fomentando la formación de sinapsis (conexión entre neuronas), proceso primordial para el pensamiento, aprendizaje y niveles altos de función cerebral.

Cabe destacar que más de dos terceras partes del peso seco del cerebro humano corresponde a grasa, y de ésta, un cuarto es DHA o ácido docosahexaenoico que presenta funciones estructurales a nivel de las membranas que rodean las neuronas. Además, es un importante regulador de la inflamación, reduciendo la actividad de la enzima cox-2 que fomenta la producción de compuestos inflamatorios. Asimismo, puede bloquear los efectos dañinos de una dieta elevada en azúcares, particularmente en fructosa, previniendo disfunciones metabólicas a nivel cerebral que ocurran debido a una dieta elevada en carbohidratos. Otro rol importante del DHA es la regulación de la expresión genética para la producción del BDNF y reducción de desarrollar Alzheimer (Yurko-Mauro, 2010). Estudios realizados

en individuos de 65 a 94 años han determinado que el consumo alto de DHA reducía en 60% el riesgo de desarrollar la enfermedad de Alzheimer (Morris., 2003). No obstante, los productos de origen vegetal presentan un bajo contenido en DHA, que principalmente se encuentra en peces y mariscos, recomendados de incluir en la dieta. Sin embargo, es importante considerar el riesgo de ingerir metales pesados, particularmente al consumir peces de gran tamaño que pueden almacenar mayor cantidad de estos compuestos en relación a peces de menor tamaño (anchoas, sardinas) y pequeños crustáceos como el krill. Existen numerosas razones para que el consumo de frutas tipo nuez no produzca aumento de peso. Ello se debe a que este tipo de fruta contiene bastante proteína (13%) y fibra (8,6%) y además presenta un bajo índice glicémico, promoviendo la sensación de saciedad y disminuyendo la ingesta de calorías con otros alimentos. La consistencia crocante de la fruta seca entera promueve el sentido de saciedad, dado que el acto mecánico de la masticación determina la secreción de las hormonas del apetito como las colecistoquininas y un péptido similar al glucagón (hormona que actúa en el metabolismo del glucógeno). El glucagón es una hormona producida en el páncreas. Diversos estudios indican que el consumo de fruta tipo nuez, dada su elevada relación entre grasas insaturadas y saturadas, conduce a un aumento del gasto energético. Otros estudios sugieren que los lípidos encontrados en estos frutos no son fácilmente bio-accesibles, es decir que una gran fracción de éstos son excretados con las heces y no están disponibles para el metabolismo energético

Análisis químicos realizadas a las avellanas producidas en el sur de Chile indicaron buen contenido en proteínas, fibra dietética, minerales, particularmente calcio, magnesio, fósforo, vitamina E y composición lipídica. En el estudio se analizaron avellanas de 2 variedades: Barcelona y Tonda di Giffoni, provenientes de dos localidades de la Región de La Araucanía (comunas de Nueva Imperial y Gorbea). En cada muestra de avellanas se determinó el contenido proximal, minerales, vitaminas, perfil de fitoesterol, capacidad antioxidante (Cuadro 1), y el contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados (Cuadro 2).

Cuadro 1. Comparación de análisis proximal, contenido de minerales, vitaminas y perfil de fitoesterol de cinco muestras de fruta en estudio.

| | 100 g | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | IMBR* | IMGF* | GOBR* | GOGF* | TSBA |
| Proximal | | | | | |
| Humedad | 7,9 | 6,5 | 7,4 | 8,2 | 3,6 |
| Cenizas (g) | 2,1 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,9 |
| Proteínas (g) | 16 | 13,4 | 13,7 | 12,6 | 14 |
| Grasa cruda (g) | 48,4 | 56 | 53,4 | 55,5 | 57,4 |
| Fibra dietética (g) | 18,9 | 15,8 | 17,2 | 17,8 | 11,7 |
| Hidratos de carbo- nos disponibles (g) | 6,7 | 6,2 | 6,5 | 4,3 | 11,4 |
| Energía (Kcal) | 526 | 583 | 561 | 567 | 618 |
| Minerales | | | | | |
| Calcio (mg) | 110 | 105 | 105 | 101 | 99 |
| Cobre (mg) | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,8 | 1,9 |
| Hierro (mg) | 4,2 | 3,7 | 4,2 | 3,1 | 4 |
| Magnesio (mg) | 159 | 152 | 158 | 132 | 167 |
| Zinc (mg) | 2,5 | 2,1 | 2,5 | 1,6 | 3 |
| Fósforo (mg) | 187 | 205 | 216 | 177 | 205 |
| Vitaminas | | | | | |
| Vitamina E (mg) | 14,4 | 11 | | | |
| Vitamina D3 (mg) | ND (<0,05) | ND (<0,05) | ND (<0,05) | ND (<0,05) | ND (<0,05) |
| Betacarotenos(mg) | 0,01 | 0,013 | 0,018 | 0,015 | 0,015 |
| Perfil Fitoesterol | | | | | |
| Campesterol | 1,82 | 1,92 | 1,76 | 2,06 | 1,97 |
| Stigmasterol | ND (<0,08) | ND (<0,08) | ND (<0,08) | ND (<0,08) | ND (<0,08) |
| Betasitosterol | 6.847 | 9,27 | 6,62 | 9,33 | 7,88 |
| Acidez Libre | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,5 |

***IMBR**: fruta cv. Barcelona (Comuna de Nueva Imperial), ***IMGF**: fruta cv. Tonda di Giffoni (Comuna de Nueva Imperial)

***GOBR**: fruta cv. Barcelona (Comuna de Gorbea), ***GOGF**: fruta cultivar Tonda di Giffoni (Comuna de Gorbea)

***TSBA**: fruta cv. Barcelona tostada, **ND**: No determinado.

Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos en avellanas.

| Muestras | IMBR | | IMGF | | GOBR | | GOGF | | TSBA | |
|-------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | g/100g | %M.E. | g/100g | %M.E. | g/100g | %M.E. | g/100g | %M.E. | g/100g | %M.E. |
| Saturados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Butanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Caproico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Caprílico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Decanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Undecanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Dodecanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tridecanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tetradecanoico | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,15 | 0,15 | 0,4 | 0,07 | 0,14 | 0,08 | 0,15 |
| Pentadecanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Palmitico | 2,02 | 4,65 | 2,22 | 4,69 | 4,32 | 11,9 | 2,11 | 4,67 | 2,41 | 4,59 |
| Heptadecanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Esteárico | 0,94 | 2,2 | 1,13 | 2,44 | 1,92 | 5,39 | 1,12 | 2,53 | 1,08 | 2,1 |
| Eicosanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0,12 |
| Heineicosanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Docosanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tetracosanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Monoinsaturados | | | | | | | | | | |
| Tetradecenoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pentadecaenoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Palmitoleico | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,15 | 0,14 | 0,39 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,14 |
| Heptadecenoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oleico | 30,83 | 76,3 | 36,66 | 79,9 | 15,27 | 43,3 | 34,98 | 79,7 | 38,58 | 75,7 |
| Eicosaenoico | 0 | 0 | 0,1 | 0,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Erucico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tetracosanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Poli insaturados | | | | | | | | | | |
| Linoleico | 6,84 | 16,7 | 5,73 | 12,5 | 13,66 | 38,7 | 5,62 | 12,8 | 8,65 | 17 |
| Y-linolénico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| α-linolénico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Eicosatetraenoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (EPA) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Docosapentanoico | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (DHA) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Resultado de laboratorio, INTA-Universidad de Chile

Luego de haber enviado muestras de avellano europeo a los laboratorios de INTA, no se observaron diferencias en el análisis proximal, tanto de la variedad Barcelona como Tonda di Giffoni en las dos comunas en estudio, salvo en el contenido de hidratos de carbono en frutos tostados del cv. Barcelona, que presentan un valor mayor que en el resto de las muestras. En relación al contenido de minerales, no hubo diferencias importantes entre las muestras de fruta sin tostar versus tostada.

El contenido de ácidos grasos insaturados analizados, equivale aproximadamente al 93% del total de los ácidos grasos. Los ácidos monoinsaturados como el palmitoleico, está presente sólo en un 0,18%, mientras que en avellano chileno su valor varía entre 22-28%. Por otro lado, el ácido oleico alcanzó valores entre 75-80% en avellano europeo y en Gevuin sólo el 40% del total de los ácidos grasos (Karmelic, 1982). Por su parte, la concentración de ácido linoleico (ácido graso poliinsaturado) en avellano europeo fue superior a Geviun, con valores entre 12-17% versus 5-9 % respectivamente. Los ácidos grasos saturados tetradecanoico, palmítico y esteárico, están presentes en las 5 muestras estudiadas, con valores similares (aproximadamente en un 5%). Un cuarto ácido graso, eicosanoico se observó sólo en la muestra tostada, indicando que el proceso de tostado ayuda a promover la producción de ácidos grasos no benéficos para la salud humana, bajo las condiciones experimentales en que se realizó el estudio.

En el caso de los ácidos grasos insaturados, el oleico representa el mayor contenido de los ácidos grasos totales. En 4 de las 5 muestras evaluadas (variedades Tonda di Giffoni, comuna de Gorbea; Barcelona y Tonda di Giffoni en comuna de Nueva Imperial, y Barcelona tostada en Gorbea) su valor porcentual es de 75-80%, excepto en el caso de Barcelona-Gorbea, que es de 43,3%. El segundo ácido graso insaturado presente es el linoleico, cuyos valores oscilaron entre 12 y 17%, excepto en el caso de Barcelona-Gorbea (superior a 38%). Por último un tercer ácido graso presente (en menor cantidad) es el palmitoleico, conocido como omega 7; en las muestras analizadas su rango varió entre 0,14-0,39%, muy inferior a lo obtenido con el ácido oleico y linoleico.

13.2. Utilización y transformación industrial

Las avellanas son utilizadas crudas, tostadas y en la industria de transformación para la elaboración de diferentes productos como pastas, harinas, helados, chocolates, galletas, aceite, entre otros (Koksal, 2002). En la industria del chocolate se utilizan más de 300 mil toneladas anuales de esta fruta seca (Sullivan *et al.*, 2014; Karadeniz *et al.*, 2009). Por otra parte, las avellanas y sus subproductos (cáscara) también se emplean en diversas industrias para la fabricación de pinturas, plásticos, solventes, resinas y aceites (Sullivan *et al.*, 2014; Karadeniz *et al.*, 2009). En la industria farmacéuticas se utiliza para la fabricación de fármacos anticancerígenos, a base de taxanes (Taxol) presentes en la cáscara y hojas del avellano (Ottaggio *et al.*, 2008). Se ha determinado que este compuesto es un inhibidor de la mitosis, siendo utilizado en tratamientos de quimioterapia contra el cáncer (Sullivan *et al.*, 2014). Dicho compuesto ha sido aprobado en Inglaterra para tratamientos de cáncer a los ovarios, hígado, pulmón, cabeza y cuello (Sullivan *et al.*, 2014) y sarcoma de Kaposi (Saville *et al.*, 1995).



Foto 1. Productos a base de avellana europea.

13.2.1. Parámetros de calidad para la industria

Las avellanas para uso industrial deben reunir las siguientes características:

1. **Forma del fruto.** La forma ideal para la industria es aquella esferoidal o redonda, especialmente para elaboración de chocolates donde se utilizan fundamentalmente avellanas enteras. Por otra parte, los frutos de forma alargada son usados en el consumo directo y en procesos, como molido para fabricación de productos alimentarios (Ellena, 2013; Ellena *et al.*, 2014).



Foto 2. Fruto de avellano tipo redondo para uso industrial (izquierda) y fruto de avellano alargado para consumo directo y molienda (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

- Rendimiento al descascarado.** Este parámetro se define como la relación entre peso de las semillas y peso de las avellanas enteras. Dicho parámetro se emplea para la evaluación comercial de las partidas de frutos. Varía entre 38-40% en el caso del cv Barcelona y entre 45-47% en el del cv. Tonda di Giffoni (Ellena, 2013).



Foto 3. Frutos descascarados cv Tonda di Giffoni (izquierda) y cv Barcelona (derecha).

Fuente: INIA Carillanca

- Contenido en agua.** Las semillas deben tener 5-6% de humedad, con el fin de garantizar una conservación adecuada del producto.
- Calibre.** Para la obtención de calibres adecuados, según la utilización de semilla, éstas se someten a un proceso de calibrado. Las clases de separación de la fruta son: menos de 11 mm, 11-13 mm, 13-15 mm y más de 15 mm. Los calibres de 11-13 mm y de 13-15 mm son destinados principalmente para consumo industrial.

5. Pelado de la semilla. El proceso del pelado luego del tostado de las avellanas, debe ser adecuado. El tostado se efectúa en hornos a 115° por 30 minutos. Luego de este proceso las avellanas adquieren gran aroma y sabor interno debido a la descomposición parcial de los ácidos grasos y de otros compuestos que forman parte de su composición. El perisperma o película delgada que cubre la semilla, una vez que se seca (producto del tostado), es friable por efecto de una ligera abrasión.



Foto 4. Descascarado y blanching de diferentes cultivares, Universidad Estatal de Oregon, Estados Unidos. Fuente: Dr. Shawn Mehlenbacher.

6. Contenido de grasa. El contenido en aceite es muy variable, desde 50-70% y más, dependiendo del cultivar. Un nivel medio de 62-65% permite que se exprese un adecuado aroma y consistencia de las avellanas. En cambio valores superiores causan una rápida oxidación o enranciado, deteriorando la calidad del producto (Ozdemir *et al.*, 2001).

13.3. Análisis sensorial

El uso del análisis sensorial para evaluar calidad se considera un instrumento útil, que permite entregar mayor información sobre calidad de las avellanas (Zeppa *et al.*, 2003). La degustación puede ser un medio de evaluación eficaz y fundamental. El aroma y gusto de las avellanas se debe a la presencia de diferentes compuestos que determinan la calidad y el valor nutricional. La calidad del fruto depende fundamentalmente del contenido en aceite y componentes menores como azúcares, ácidos orgánicos, cuya presencia contribuye a mejorar el sabor y aroma, tanto de avellanas crudas como tostadas (Arcoleo, 1991). Por ello es fundamental

definir parámetros organolépticos que describan las avellanas, mediante fichas (panel test) para emplear con degustadores (Cristofori, 2006). La evaluación organoléptica ha sido utilizada para el control de la calidad de avellanas de diferentes variedades y lugares y en la caracterización de nuevas selecciones. Estudios realizados en Italia con nuevas selecciones han determinado tres grupos de preferencia según dulzura y aroma para uso industrial. En particular, la calidad de las frutas de las variedades TGL y Tonda di Giffoni ha sido apreciada por los panelistas para la industria. Para uso directo destacan variedades de mayor tamaño y características de gusto-olfativa de las avellanas (Valentini *et al.*, 2002).

13.3.1. Estudios de evaluación sensorial realizada en el marco del proyecto INIA-CORFO

La evaluación sensorial es el análisis normalizado de los alimentos, realizado con los sentidos. Suele denominarse normalizado, a fin de disminuir la subjetividad de la evaluación mediante los sentidos. Esta técnica se emplea en el control de calidad de ciertos productos alimenticios, en la comparación de un nuevo producto para el mercado, en la tecnología alimentaria cuando se evalúa un nuevo producto, etcétera. Una de las evaluaciones sensoriales más conocidas es la de la cata de vinos. En la evaluación sensorial participan personas especializadas o no (evaluadores), quienes se someten a diversas pruebas para realizar un análisis objetivo. Los resultados de éste influyen en el marketing de los productos para que sean más atractivos a los consumidores.

13.3.2 Metodología

Para esta evaluación se identificó la preferencia de 3 variedades de avellano europeo, plantadas en las regiones centro sur y sur de Chile: Barcelona, Tonda di Giffoni y Yamhill, a través del análisis del consumidor.

La metodología usada para este análisis es aquella del Test Hedónico, que consiste en evaluar si el producto agrada o no, es decir, midiendo preferencias por el alimento (avellanas). Para la aplicación de esta evaluación se consideraron panelistas (productores de avellanas) entrenados y no entrenados de las regiones del Maule y La Araucanía.

Las pruebas se realizaron en agosto de 2015 durante los seminarios-taller por cierre de proyecto. El primero se efectuó en la comuna de Gorbea (Región de La Araucanía) y el segundo en comuna de San Javier (Villa Alegre, Región del Maule). Se evaluaron las preferencias y aceptación de 42 consumidores en Gorbea, entrenados y no entrenados (de género masculino y femenino) con diferentes ocupaciones (productores y asesores del rubro del cultivo del avellano en el sur). Por su parte, en Villa Alegre se realizó con 27 consumidores, con características similares a las del primer grupo.

13.3.3 Presentación de las muestras

Para la degustación, a cada panelista (productor) se le entregaron seis muestras, identificadas del 1-6 (Cuadro 3), correspondiendo 2 muestras en cada caso de las variedades Barcelona, Tonda di Giffoni y Yamhill en formato tostado y no tostado. Cada muestra se presentó en un pocillo de poliestireno tapado, donde se colocaron 5 semillas de avellanas, para cada una de las variedades y en dos formatos. Todas las muestras recibieron el mismo trato, en cuando al pelado y su posterior tostado. Las muestras se presentaron simultáneamente, cada panelista evaluó la muestra solamente una vez. Se les solicitó que al terminar cada muestra olfatearan café en polvo y tomaran agua, como neutralizante para evitar interferencias con el siguiente producto.

Cuadro 3. Denominación de las muestras

| Nº muestra | Variedad | Formato |
|------------|------------------|------------|
| 1 | Barcelona | Tostado |
| 2 | Tonda di Giffoni | Sin Tostar |
| 3 | Yamhill | Tostado |
| 4 | Barcelona | Sin Tostar |
| 5 | Tonda di Giffoni | Tostado |
| 6 | Yamhill | Sin tostar |

Una vez degustada la muestra, el participante anotó su primera impresión. Es decir, el grado de aprobación (en una escala 5-1, donde 5 es muy bueno y 1 es malo) para las características de (A) aroma, (B) color, (C) textura y (D) sabor de las muestras de avellanas evaluadas. Al final de la evaluación indicó la importancia atribuida a cada parámetro, expresada en porcentaje. Las instrucciones y el orden en que los panelistas debían evaluar las muestras se indican en la hoja de evaluación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Hoja de evaluación para prueba de preferencia.

Hoja de Evaluación
Test con escala hedónica

Instrucciones:

Señor consumidor, usted recibirá 6 muestras de avellano europeo. Observe c/u y califique (nota) las características mencionadas de acuerdo a una escala de 5 puntos cuya descripción es la siguiente:

5: Muy Bueno 4: Bueno 3: Regular 2: Deficiente 1: Malo

Puntaje para el Aroma

| | |
|---|------------|
| 5 | Muy Bueno |
| 4 | Bueno |
| 3 | Regular |
| 2 | Deficiente |
| 1 | Malo |

Puntaje para el Color

| | |
|---|------------|
| 5 | Muy Bueno |
| 4 | Bueno |
| 3 | Regular |
| 2 | Deficiente |
| 1 | Malo |

Puntaje para la Textura

| | |
|---|------------|
| 5 | Muy Bueno |
| 4 | Bueno |
| 3 | Regular |
| 2 | Deficiente |
| 1 | Malo |

Puntaje para el Sabor

| | |
|---|------------|
| 5 | Muy Bueno |
| 4 | Bueno |
| 3 | Regular |
| 2 | Deficiente |
| 1 | Malo |

13.3.4 Resultados

Con los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el análisis sensorial de seis muestras, provenientes de tres variedades de avellano europeo y dos formatos, se determinaron los porcentajes de preferencia. Para facilitar la lectura de este documento se asignaron letras a las muestras de avellanas evaluadas sensorialmente: A, B, C y D. En las figuras presentadas a continuación se resume la información obtenida.

Categoría Avellana Tostada

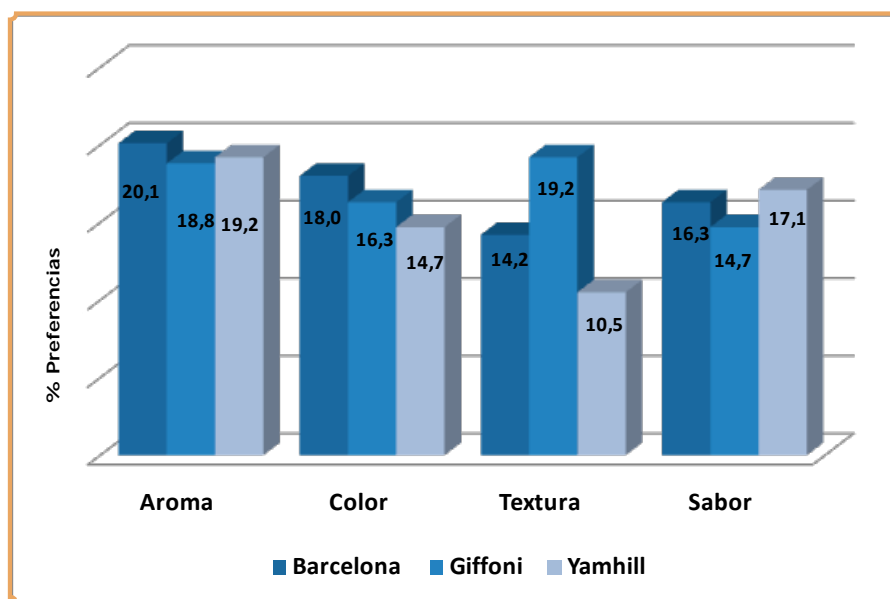


Figura 1. Diferencias de preferencias en tres variedades de avellano europeo, formato tostado. Análisis aplicado en seminario de comuna de Gorbea.

Aroma: en relación a este parámetro la variedad Barcelona obtuvo el mayor puntaje con 21% de las preferencias; en segundo lugar está la variedad Yamhill con 19,2% de las preferencias, levemente superior a la variedad Tonda di Giffoni con 18,8% de las preferencias.

Color: para este parámetro las mayores preferencias correspondieron a Barcelona y Tonda di Giffoni con 18 y 16,3% respectivamente. Yamhill solamente logró 14,7% de las preferencias.

Textura: en relación a la textura, la variedad Tonda di Giffoni obtuvo el mayor porcentaje de las preferencias, alcanzando el 19,2%.

Sabor: respecto a este parámetro, las variedades Yamhill y Barcelona obtuvieron el mayor porcentaje de preferencias: 17,1 y 16,3 % respectivamente.

Categoría avellana sin tostar

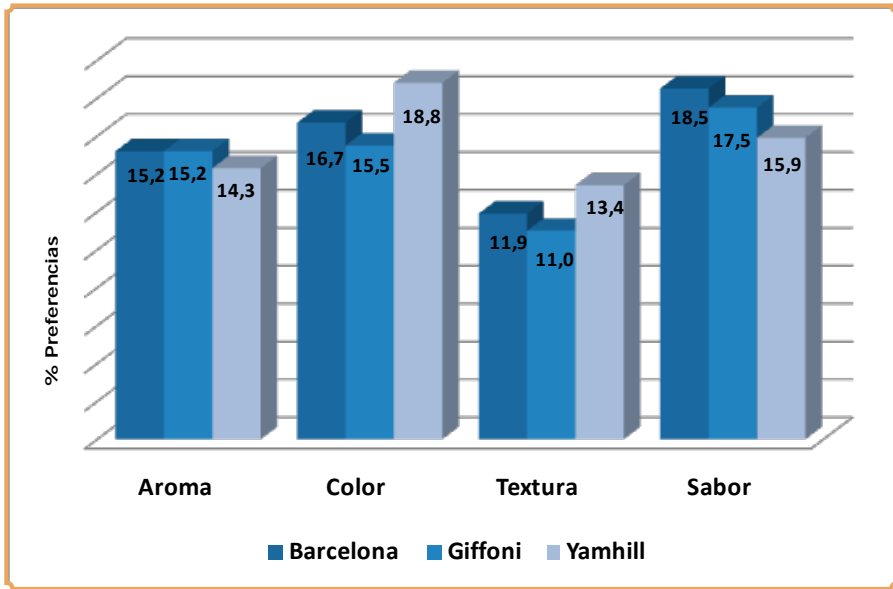


Figura 2. Diferencias de preferencias en tres variedades de avellana europeo, formato sin tostar. Análisis aplicado en seminario de comuna de Gorbea.

Aroma: respecto al parámetro aroma, no hubo diferencias en las preferencias de los panelistas para las variedades Barcelona y Tonda di Giffoni, ambas con 15%.

Color: en relación al color, la mayor preferencia fue para la variedad Yamhill con 18,8%.

Textura: los mayores porcentajes fueron para las variedades Yamhill y Barcelona, con 13,4 y 11,9 % de preferencias respectivamente.

Sabor: el mayor porcentaje de preferencias fue para la variedad Barcelona con 18,5%.

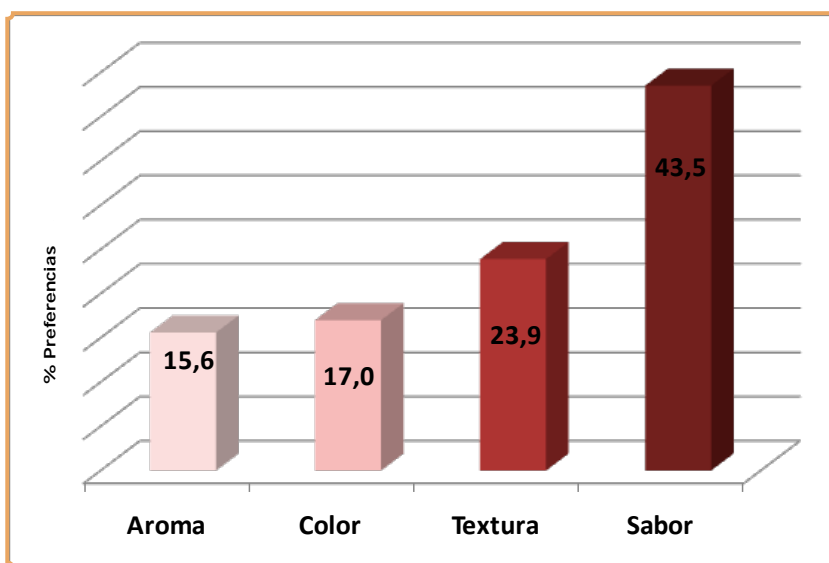


Figura 3. Porcentaje de preferencias, según parámetro de evaluación.

De acuerdo a la figura 3 el parámetro sabor fue el de mayor grado de preferencia, asignado por los participantes.

Categoría avellana tostada

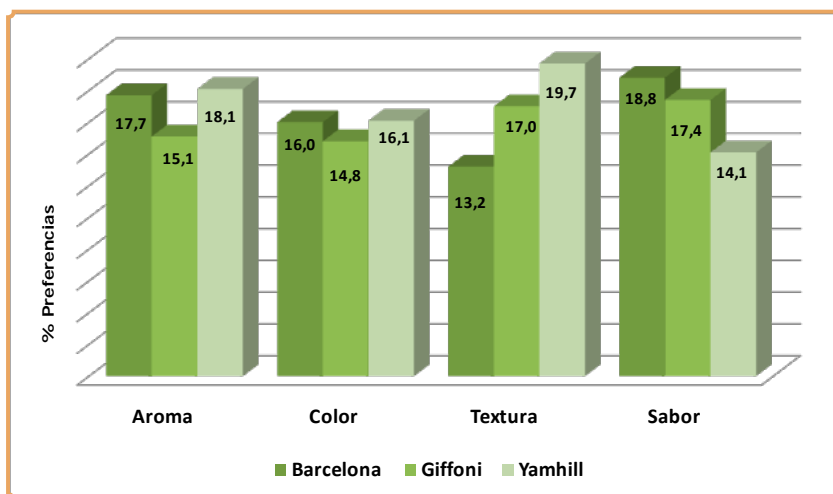


Figura 4. Diferencias de preferencias en tres variedades de avellano europeo, formato tostado. Análisis aplicado en seminario de comuna San Javier, Región del Maule.

Aroma: en relación a este parámetro, el mayor porcentaje de preferencia fue para las variedades Yamhill y Barcelona, con 18,1 y 17,7% respectivamente.

Color: para este parámetro, el mayor porcentaje de preferencia fue para las variedades Yamhill y Barcelona, con 16,1 y 16% respectivamente.

Textura: los mayores porcentajes de preferencia fueron obtenidos por las variedades Yamhill y Tonda di Giffoni con 19,7 y 17% respectivamente.

Sabor: los mayores porcentajes de preferencias correspondieron a las variedades Barcelona y Tonda di Giffoni, con 18,8 y 17,4% respectivamente.

Categoría avellana sin tostar

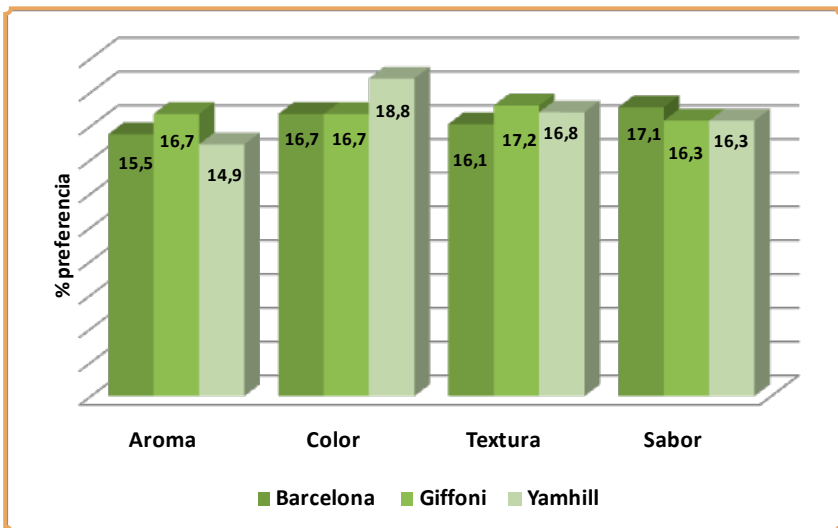


Figura 5. Diferencias de preferencias en tres variedades de avellana europeo, formato sin tostar. Análisis aplicado en seminario de comuna San Javier, Región del Maule.

Aroma: el mayor porcentaje de preferencias en este parámetro correspondió a la variedad Tonda di Giffoni con 16,7%, seguida por Barcelona con 15,5%.

Color: el mayor porcentaje de preferencias para este parámetro correspondió a la variedad Yamhill con 18,8%.

Textura: la variedad Tonda di Giffoni logró el mayor porcentaje de preferencias en el parámetro, con 17,2%.

Sabor: la variedad Barcelona obtuvo el mayor porcentaje de preferencias en el parámetro, con 17,1%.

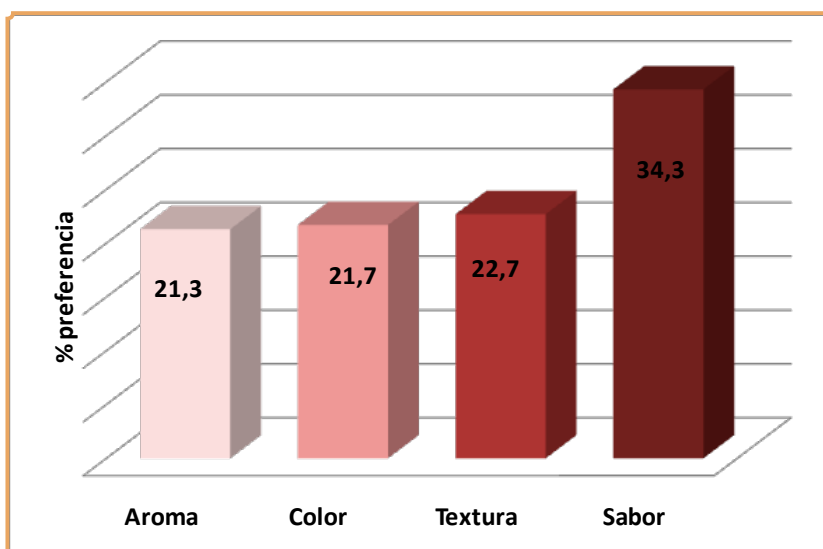


Figura 6. Porcentaje de preferencias, según parámetro de evaluación.

El parámetro con mayor preferencia por parte de los panelistas fue sabor, con 34,3%.



Foto 5. Material para aplicación del test sensorial (6 muestras, café, agua, hoja de evaluación y lápiz).

Fuente: INIA Carillanca



Foto 6. Muestras de 3 variedades evaluadas y sus formatos (6)

Fuente: INIA Carillanca



Foto 7. Panel sensorial con productores de la comuna de Gorbea, Región de La Araucanía.

Fuente: INIA Carillanca

Conclusión

El parámetro sabor obtuvo las mayores preferencias en ambos grupos de panelistas para la variedad Barcelona y bajo el formato sin tostar. En el panel test realizado en la comuna de San Javier (localidad de Villa Alegre), el mayor porcentaje de preferencia en el parámetro sabor, en ambos formatos evaluados correspondió a la variedad Barcelona.

El parámetro sabor alcanzó el mayor grado de preferencia por parte de los dos grupos evaluadores. En este sentido, dicho parámetro es el que tiene mayor importancia para discriminar la calidad organoléptica de una determinada variedad.

Referencias Bibliográficas

- Alphan, E., Pala, M., Açkurt, F., and T. Yilmaz. 1997. Nutritional composition of hazelnut and its effects on glucose and lipid metabolism. *Acta Hort.* 445: 305-310.
- Alasalvar, C., Pelvan, E., and R. Amarowicz. 2010. Effects of roasting on taste-active compounds of turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *J. Agric. Food Chem.* 58: 8674-8679.
- Antoniuzzi, F. 1996. La qualità delle nocciole dal punto di vista dell'industria. *Atti del Convegno " Il Nocciuolo", Avellino, 27 aprile, 71-77.*
- Arcoleo, G. 1991. Caratteristiche e composizione di nocciole di alcune varietà coltivate in Sicilia. *La rivista delle sostanze grasse*, 68: 257-260.
- Arlorio, M; Martelli, A; and Tourn, M.L. 1996. *Atti del Convegno internazionale sugli alimenti montani; 9-11 ottobre 1996.*
- Bargerger-Gateau P. 2007. Dietary patterns and risk of dementia: The Three –city Cohort Study, *Neurology* 69, 20, pp. 1921-1930.
- Bignami, C., De Salvador, R., e G. Strabbioli. 1999. Aspetti agronomici e prospettive di valorizzazione della corilicoltura italiana. *Frutticoltura* N° 11: 16-27.
- Botta, R., Gianotti, C., and G. Me. 1997. Kernel quality in hazelnut cultivars and selections analysed for sugars, lipids and fatty acid composition. *Acta Horticulturae* 445: 319-326.
- Cristofori, V. 2006. Fattori di qualità della nocciola. 153 p. Tesi di Dottorato di Ricerca. Università Degli Studi della Tuscia di Viterbo, Italia.
- De Salvador, F.R; Proietti, G; Loletti, D; Delfini, M; Di Cocco, M.E; Tombesi, A; and Farinelli, D. Influence of Pedoclimatic Conditions and Orchard Managment on Fruit Quality Characteristics in Hazelnut Cultivars Tonda Gentile Romana and Tonda di Giffoni. *Proc. VIIth International Congress on Hazelnut.* *Acta Hort.* 845.
- Ellena, M. 2013. Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. *Boletín INIAN*° 274. 202 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional INIA Carillanca, Temuco, Chile.
- Ellena, M., Sandoval, P., and G. Anders. 2014 Prospection of hazelnut germplasm (*Corylus avellana* L.) in the Araucania Region, south of Chile. *Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut.* *Acta Hort.* 1052: 79-84.

- Giusti, A.M., e C.Cannella. 2002. La nocciola: aspetti nutrizionali. 2° Convegno nazionale sul nocciolo, Giffoni V.P. 104-112.
- Karadeniz, T; Bostan, Z; Tuncer, C; y Tarakcioglu, c. 2009. Findik Yetistiriciligi. Ordu Ziraat Odasi Baskanligi Bilimsel Yayinlar Seresi, Yayin N°: 1, 154p.
- Karmelic, J. 1982. Recolección e industrialización de avellana chilena. INTEC. 87p. Santiago, Chile.
- Koksal, A.I. 2002. Turkish hazelnut cultivars. 136 p. Hazelnut Promotion Group, Ankara, Turkey.
- Monagas, M., Garrido, I., Lebrón-Aguilar, R., Gómez-Cordovés, M.C., Rybarczyk, A., Amarowicz, R., and B. Bartolomé. 2009. Comparative Flavan-3-ol profile and antioxidant capacity of roasted peanut, hazelnut and almond skins. J. Agric. Food Chem. 57: 10590-10599.
- Morris, M.C. 2003. Consumption of fish and n-3 fatty acids and risk of incident Alzheimer disease, Archives of Neurology 60, 7. Pp.940-946.
- Mulder, M. 1998. Reduced levels of cholesterol, phospholipids, and fatty acids in cerebrospinal fluid os Alzheimer disease and patients are not related to apolipoprotein E4, Alzheimer Disease and Associated Disorders 12, pp. 198-203.
- Ottaggio, L; Bestoso, F; Armirotti, A; Balbi, A; Damonte, G; Mazzei, M; Sancandi, M and Miele, M. 2008. Taxanes from shells and leaves of *Corylus avellana* L. Journal of Natural Products 71(1): 58-60.
- Ozdemir, M., Açkurt, F., Yildiz, M., Biringen, G., Gürcan, T., and M. Löker. 2001. Effect of roasting on some nutrients of hazelnut (*Corylus avellana* L.). Food Chemistry 73, 185-190.
- Pala, M., Açkurt F., Löker M., Yildiz, M., and S. Ömeroglu. 1996. Findik çeşitlerinin bileşimi ve beslenme fizyolojisi açısından değerlendirilmesi. Tr. J. of Agriculture and Forestry 20: 43-48.
- Parcerisa, J., Codony, R., Boatella J., and M. Rafecas. 1999. Triacylglycerol and phospholipid composition of hazelnut (*Corylus avellana* L.) lipid fraction during fruit development. J. Agric. Food Chemistry 47: 1410-1415.
- Richardson, D.G. 1997. The health benefits of eating hazelnuts: implications for blood lipid profiles, coronary heart disease, and cancer risks. Acta Horticulturae 445: 295-300.

Savage, G.P., McNeil, D.L., and P.C. Dutta. 1997. Lipid composition and oxidative stability of oils in hazelnuts (*Corylus avellana* L.) grown in New Zealand. J. Am. Oil Chem. Soc. 74(6): 755-759.

Saville, M.W., Lietzau, J., Pluda, J.M., Feuerstein, I., Odom, J., Wilson, W.H., Humphrey, R.W., Feigal, E., Steinberg, S.M., Broder, S. and R. Yarchoan. 1995. Treatment of HIV – associated Kaposi´s sarcoma with paclitaxel. Lancet 346: 26-28

Seneff, S. 2009. ApoE-4: The clue to why low fat diet and statins may cause Alzheimer´s: <http://people.csail.mit.edu/seneff/alzheimers-statins.html>.

Sullivan, G.T., Ozman-Sullivan, S.K., Akbasli, O., and M.Sahin. 2014. A tribute to the hazelnut plant (*Corylus spp.*) – the multiple uses of nature´s magnificent gifts. Proc. VIIIth International Congress on Hazelnut. Acta Hort. 1052: 371-376.

Valentini, N; Zeppa, G, Rolle, L; and Me, G. 2002. Caratterizzazione chimico-fisica e sensoriale della nocciola Tonda Gentile delle Langhe, 2º Convegno Nazionale sul Nocciolo, Giffoni, VP, ottobre, 2002, p. 279-287.

Yurko-Mauro K. 2010. Beneficial effects of docosahexaenoic acid on cognition in age-related cognitive decline, Alzheimer´s and Dementia 6, pp. 456-464.

Zeppa, G., Valentini, N., e L. Rolle. 2003. Applicazione della colorimetria delle texture analysis e dell`analisi sensoriale nella caratterizzazione delle nocciole italiane. Frutticoltura 10: 54-57



CONCLUSIONES

El cultivo del avellano europeo ofrece una interesante alternativa a los empresarios agrícolas y pequeños y medianos productores de la zona centro sur y sur de Chile, frente a los rubros tradicionales como la carne, leche, cereales y plantaciones forestales, de menor rentabilidad. Lo anterior, porque existe un mercado internacional con una demanda creciente y empresas exportadoras en el país e importadoras en el exterior que ofrecen atractivos precios a los productores de este fruto seco.

Con este libro hemos intentado contribuir y dar respuesta a una serie de interrogantes de los productores de avellano en tópicos como gestión de suelos, nutrición, sistemas de conducción y poda, riego, polinización, variedades, entre otros que permitirá tomar decisiones adecuadas a objeto de aumentar la producción y calidad de la fruta. En la medida que los huertos establecidos y las futuras plantaciones incorporen nuevas tecnologías se logrará un aumento significativo en la eficiencia productiva de los árboles y en la calidad industrial de las avellanas y por ende en la competitividad del rubro. Asimismo, podrá ser una guía para asesores, profesionales relacionados con el rubro y para la formación de estudiantes de Agronomía, Ingeniería Agrícola y Técnicos Agrícolas del país.

Una adecuada elección del material vegetal, sitios de plantación, manejo agronómico y uso de nuevas tecnologías permitirá un salto significativo en los niveles de rendimiento y evitar en parte la alternancia en producción que caracteriza a este cultivo en todas las áreas productoras de avellano del mundo.

La zona centro sur y sur de Chile tienen condiciones de clima y suelo excepcionales para apuntar a un gran desarrollo del avellano y convertir al país en líder en producción de avellanas a nivel mundial gracias al significativo incremento de las plantaciones en el país y a la creciente demanda por este tipo de fruta seca, especialmente en países del hemisferio norte como Italia, Alemania, Estados Unidos y últimamente algunos países asiáticos.

Cabe destacar, que son pocos los lugares del mundo que disponen de condiciones favorables para el desarrollo de la industria del avellano como Chile. Por lo anterior, como país y regiones del sur tenemos una gran oportunidad y desafío histórico de posicionarnos como potencia en producción y elaboración de productos transformados de avellana.

Las regiones del Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, serán las zonas que tendrán las mayores posibilidades de crecer en superficie y en volúmenes de producción, particularmente por el cambio climático que está desplazando la fruticultura hacia la zona sur. En el país deberíamos llegar a establecer sobre 30 mil hectáreas de avellano europeo de acuerdo a las señales y demandas de la industria. Lo anterior, podría ser posible por la excelente adaptabilidad de la especie a las particulares condiciones de

clima y suelo de este vasto territorio, disponibilidad de recursos hídricos, suelos adecuados y agricultores emprendedores muy bien organizados y asociados a los Centros de Investigación como el INIA, universidades y empresas privadas que desarrollan tecnologías para esta especie frutal.

Por otro lado, el país tiene políticas económicas adecuadas, estabilidad política, y confianza empresarial. Esto, presenta una enorme ventaja frente a otros países, en particular de naciones del Cáucaso que formaban parte de la ex Unión Soviética que, a pesar del desarrollo del cultivo en algunos de estos países, presentan una gran inestabilidad política y falta de seguridad para los empresarios. Asimismo, cabe destacar la inestabilidad política y falta de seguridad que esta ocurriendo en Turquía principal productor de avellanas del mundo.

