

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**EVAUACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN AVELLANO  
EUROPEO (*CORYLUS AVELLANA* L.) BAJO CONDICIONES DE RIEGO  
DEFICITARIO CONTROLADO**

**POR**

**FABIOLA GABRIELA CÁRCAMO CORREA**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2025**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVAUACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN AVELLANO  
EUROPEO (*CORYLUS AVELLANA* L.) BAJO CONDICIONES DE RIEGO  
DEFICITARIO CONTROLADO**

**POR**

**FABIOLA GABRIELA CÁRCAMO CORREA**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2025**

Aprobada por:

Profesor Titular, María Dolores López B.  
Licenciada en Química, Dr.

---

Guía

Investigador INIA, Jorge Retamal S.  
Ing. Agrónomo, Dr.

---

Co-guía

Profesor Asociado, Inés Figueroa C.  
Ing. Agrónomo, Dr.

---

Asesor

Investigadora Clemson U., Karin Albornoz M.  
Ing. Agrónomo, Dr.

---

Asesor Externo

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y Métodos.....	6
Resultados y Discusión.....	10
Conclusiones.....	14
Referencias.....	15

**ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

		<b>Página</b>
Figura 1	Estados fenológicos del avellano europeo en Chile.....	3
Figura 2	Análisis de Componentes Principales avellano europeo.....	14
Tabla 1	Composición general (%) de avellanas europeas.....	6
Tabla 2	Tratamientos de riego aplicados.....	7
Tabla 3	Distribución de los tratamientos y sus repeticiones.....	9
Tabla 4	Evaluación del peso del fruto y de la semilla bajo riego Controlado.....	10
Tabla 5	Diámetro ecuatorial de fruto y de la semilla bajo riego Controlado.....	12
Tabla 6	Diámetro Polar del fruto y de la semilla bajo riego Controlado.....	12
Tabla 7	Contenido de ácidos grasos en tratamientos de riego.....	13

**EVAUACIÓN DEL CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS EN AVELLANO EUROPEO (*CORYLUS AVELLANA* L.) BAJO CONDICIONES DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO**  
**ASSESSMENT OF FATTY ACID CONTENT IN HAZELNUT (*CORYLUS AVELLANA* L.) UNDER CONTROLLED DEFICIT IRRIGATION**

Palabras claves: avellana, recurso hídrico, prácticas agrícolas sostenibles, seguridad alimentaria

**RESUMEN**

El avellano europeo (*Corylus avellana* L.) es un frutal que produce avellanas, fruto seco de alta demanda por su valor nutricional, destacando su contenido de ácidos grasos, que representa cerca del 60 % de su peso. En Chile, su cultivo ha crecido rápidamente, aunque enfrenta limitaciones por la escasez hídrica. Ante este desafío, se requieren estrategias que mejoren la eficiencia en el uso del agua, como el riego deficitario controlado (RDC), el cual reduce o suspende el riego en fases específicas del desarrollo. En este estudio se evaluó el efecto del RDC en avellanos plantados en Ñiquén en el año 2016, regados por goteo. Se aplicaron seis tratamientos durante dos temporadas, en donde se repuso en distintos porcentajes de la Evapotranspiración de cultivo (ETc). Los resultados indicaron que, a pesar de las restricciones hídricas, no se encontraron diferencias significativas en el contenido de ácidos grasos en comparación con los tratamientos con reposición completa o superior al 100 % de la evapotranspiración, con valores entre 534 y 722 mg/g de muestra. Este estudio respalda el uso de prácticas sostenibles que promuevan la resiliencia agrícola y la seguridad alimentaria.

**SUMMARY**

The European hazelnut (*Corylus avellana* L.) is a fruit tree that produces hazelnuts, a nut in high demand for its nutritional value, especially its fatty acid content, which represents about 60 % of its weight. In Chile, its cultivation has grown rapidly, although it faces limitations due to water scarcity. Faced with this challenge, strategies are needed to improve water use efficiency, such as controlled deficit

irrigation (CDI), which reduces or suspends irrigation at specific stages of development. This study evaluated the effect of CDI on drip-irrigated hazelnut trees planted in Ñiquén in 2016. Six treatments were applied over two seasons, during which crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) was replenished at different percentages. The results indicated that, despite water restrictions, no significant differences were found in fatty acid content compared to treatments with complete or greater than 100 % evapotranspiration replacement, with values ranging from 534 to 722 mg/g of sample. This study supports the use of sustainable practices that promote agricultural resilience and food security.

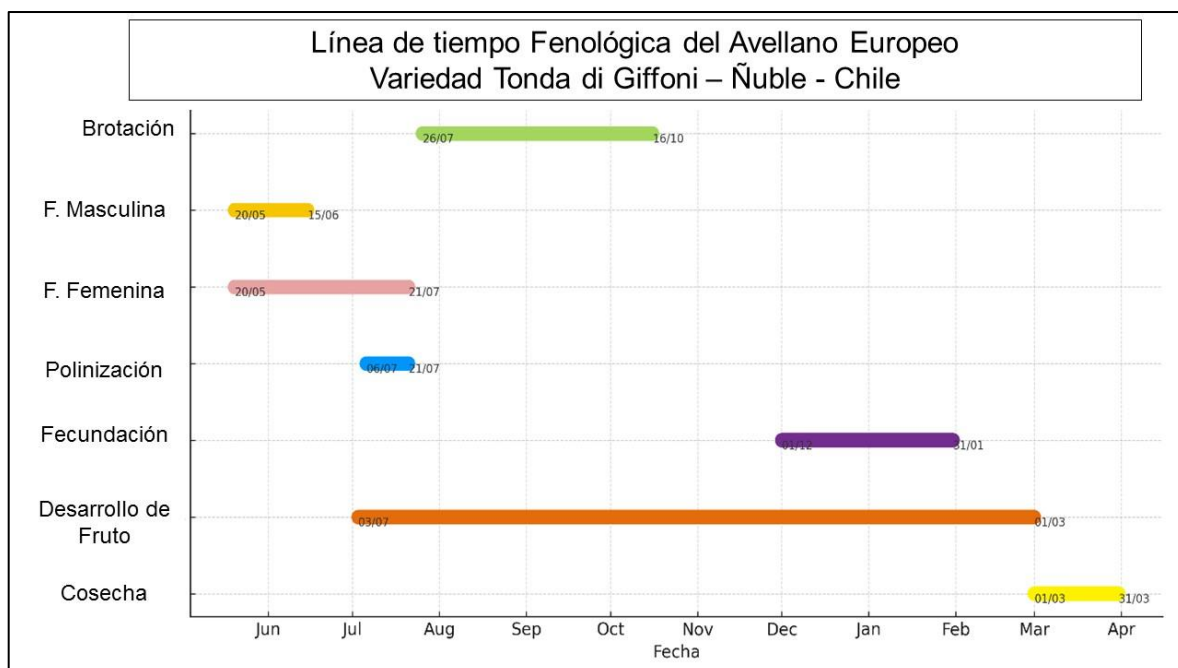
## INTRODUCCIÓN

*Corylus avellana* L., comúnmente conocido como avellano europeo o avellano común, es una especie de árbol caducifolio perteneciente a la familia Betulaceae y subfamilia Coryloidea, género *Corylus*. Esta especie es muy apreciada por sus frutos comestibles, que se producen comercialmente en grandes cantidades, especialmente en Turquía e Italia, países que, en conjunto, dominan la producción mundial y representan aproximadamente el 70 - 80 % del suministro mundial de avellanas (Oztolan-Erol *et al.*, 2021; Müller *et al.*, 2020). El cultivo de *C. avellana* representa no solo un activo agrícola, sino también un importante componente cultural y económico en las regiones donde se cultiva, con una historia de cultivo que se remonta siglos atrás en Eurasia, lo que contribuye a su amplia importancia tanto en la gastronomía como en el comercio (Chediack *et al.*, 2022).

El cultivo del avellano europeo en Chile ha emergido como una actividad agrícola interesante debido a las propiedades económicas y nutritivas de las avellanas. Aunque este árbol es originario de Europa y partes de Asia, la introducción y aclimatación del avellano en las condiciones chilenas han sido objeto de estudio destacando las variabilidades productivas y técnicas requeridas para su adaptación exitosa. La plantación de avellanos en Chile se ha concentrado principalmente en las regiones del sur y centro del país, donde el clima templado y una disponibilidad adecuada de agua han favorecido su crecimiento (Altieri *et al.*, 2022). En particular, el sistema de riego es una variable importante, ya que los avellanos requieren un

manejo hídrico cuidadoso para evitar el estrés hídrico que puede afectar negativamente la producción de avellanas (Altieri *et al.*, 2022). Los estudios sugieren que el riego por goteo y la gestión eficiente del suelo son técnicas clave en el establecimiento de huertos (Altieri *et al.*, 2022; Santelices y Palfner, 2010).

Figura 1: Estados fenológicos de avellano europeo en Chile



(Adaptado de documento de trabajo Retamal 2023)

La biología de *C. avellana* destaca por su clasificación como especie diploide ( $2n = 22$ ), monoica y polinizada por el viento, con un patrón de floración dicógamo. Este mecanismo de floración es un rasgo esencial que ayuda a prevenir la autopolinización, promoviendo así la diversidad genética en las poblaciones cultivadas (Silvestri *et al.*, 2020; Brown *et al.*, 2016).

Morfológicamente, *C. avellana* presenta un alto grado de polimorfismo, un factor que dificulta el mejoramiento genético, pero también enriquece el acervo genético para futuros cultivos (Brown *et al.*, 2016; Boccacci *et al.*, 2013). La importancia comercial de esta especie ha dado lugar a una amplia investigación sobre su diversidad genética, mejoramiento genético y agronomía (Oztolan-Erol *et al.*, 2021). Dichos estudios buscan no solo mejorar el rendimiento y la calidad, sino también

abordar desafíos como las plagas y enfermedades que amenazan la producción (Sezer *et al.*, 2017).

En relación al fruto, las avellanas son cada vez más reconocidas por sus beneficios nutricionales, ya que son ricas en ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales y antioxidantes (Fanali *et al.*, 2021; Müller *et al.*, 2020; Altun *et al.*, 2011). Además, el aceite extraído de las avellanas tiene diversas aplicaciones en productos culinarios, cosméticos y farmacéuticos, lo que demuestra la versatilidad de *C. avellana* más allá de su producción de frutos secos (Olofinnade *et al.*, 2021; Marzocchi *et al.*, 2017).

Como se ha comentado anteriormente, las prácticas de cultivo y las innovaciones relacionadas con *C. avellana* están evolucionando, en particular debido a las condiciones ambientales cambiantes y a la creciente demanda de agricultura sostenible. Diversos estudios han destacado diversas técnicas destinadas a mejorar la gestión de los cultivos y la calidad de los frutos secos, incluyendo la aplicación de tecnologías avanzadas para la agricultura de precisión (Altieri *et al.*, 2022). Sin embargo, desafíos como el cambio climático plantean riesgos significativos para las zonas de cultivo de avellano, lo que requiere investigación continua y estrategias de adaptación para mantener y mejorar la productividad, ya sea a través de uso de portainjertos o el manejo de plagas (Ustaoğlu, 2014). Estas iniciativas en el cultivo de *C. avellana* buscan fortalecer la resiliencia frente a las amenazas climáticas y biológicas (Rovira, 2021).

Los factores abióticos como la sequía, el estrés térmico y la radiación UV tienen efectos adversos en el desarrollo de esta especie. La adaptación y optimización de recursos naturales, como el recurso hídrico, es necesario para producir sustentablemente avellanas. Estudios previos han demostrado una mejora a la tolerancia a la sequía a través de ajustes fisiológicos y bioquímicos en la planta, lo que permite un mejor manejo del agua, incluso en condiciones de alta demanda (Moine *et al.* 2024). Esto evidencia la capacidad de los cultivos de avellano para adaptarse al estrés hídrico mediante técnicas agronómicas adecuadas.

El déficit hídrico en el cultivo del avellano europeo tiene un impacto significativo tanto en la salud del árbol como en la calidad y composición del aceite de la

avellana. Estudios previos han mostrado que las condiciones de sequía afectan no solo la producción de avellana, sino también su contenido de ácidos grasos, que son fundamentales para su valor nutricional y comercial. El déficit hídrico genera cambios fisiológicos en las plantas, que pueden llevar a una disminución en la producción de aceite y en la calidad de los ácidos grasos (Cui *et al.* 2022; Bacchetta *et al.*, 2013). Durante períodos de hidratación inadecuada, la planta prioriza la supervivencia sobre la producción de frutos, lo que puede resultar en un menor tamaño de las avellanas y una alteración en su composición de ácidos grasos (Granata *et al.*, 2016). Por ejemplo, se ha encontrado que el contenido de ácido oleico (C18:1), que es el ácido graso principal en el aceite de avellana, puede verse afectado negativamente por condiciones de sequía (Li y Parry, 2011).

El oleico y linoleico son ácidos grasos insaturados que constituyen aproximadamente el 90 % del perfil de ácidos grasos del aceite de avellana, lo que subraya la importancia de estas grasas en la salud humana y la calidad del aceite (Bacchetta *et al.*, 2013). Sin embargo, un aumento en el estrés abiótico puede favorecer aspectos de la composición lipídica que son menos deseables, afectando la estabilidad del aceite y su resistencia a la oxidación (Zhang *et al.*, 2019). Por ejemplo, algunos estudios han indicado que el contenido de ácidos grasos saturados disminuye significativamente durante un déficit hídrico en comparación con las condiciones óptimas de riego (Çelik *et al.*, 2023). Esto puede hacer que el aceite producido sea más susceptible a la oxidación (Çelik *et al.*, 2023).

Por tanto, el manejo del riego es fundamental para optimizar la calidad de los aceites y el contenido de ácidos grasos en los frutos. La aplicación de técnicas de riego de precisión, como el riego por goteo, ha mostrado ser efectiva en la mejora de la calidad de las avellanas al ayudar a las plantas a mantener un equilibrio hídrico adecuado durante las etapas críticas de desarrollo del fruto (Bacchetta *et al.*, 2013; Granata *et al.*, 2016). Esto no solo permite la producción de avellanas de mayor tamaño y peso, sino que también contribuye a una mejor relación de ácidos grasos, vital para la calidad del aceite extraído (Li y Parry, 2011).

Es por esto que, optimizar el agua utilizada, ya sea en relación a la cantidad, como aumentar la eficiencia en su uso, como por ejemplo aplicar un riego deficitario

controlado (RDC), puede presentarse como una estrategia sustentable en la producción de avellanas, donde no existan pérdidas de contenido de ácidos grasos (Calderón. 2019; Lagos. *et al.* 2017).

Por lo tanto, en esta tesis se implementó una estrategia de RDC y se evaluó como afectaba al contenido de los ácidos grasos del fruto. El objetivo principal fue corroborar si existía una diferencia significativa en la cantidad de ácidos grasos en el aceite extraído de avellanas europeas y así también relacionarlo con su peso y tamaño de fruto y de semilla, analizando el rendimiento y descascarado en porcentaje.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este estudio se utilizó frutos, y semillas, de *Corylus avellana* L. variedad Tonda di Giffoni que se caracteriza arbóreamente por ser de crecimiento rápido, tener vigor intermedio, floración masculina y femenina muy precoz por lo que su productividad sea elevadamente precoz. Su fruto suele ser rico en ácidos grasos.

La Tabla 1 presenta el valor nutricional en frutos de avellana, mostrando la composición de proteína, fibra, ácidos grasos entre otros.

Tabla 1. Composición general (%) de avellanas europeas.

Ácidos grasos	62,7 ± 1,0
Proteína	16,5 ± 0,2
Fibra Dietética	13,8 ± 0,4
Ceniza	2,1 ± 0,0
Humedad	3,9 ± 0,0

Fuente: Müller. *et al.*, 2020

### Establecimiento y manejo agronómico del experimento

El establecimiento del huerto de *Corylus avellana* cv. Tonda di Giffoni se realizó en el año 2016 en la comuna de Ñiquén, con un marco de plantación de 5 m x 3 m con un total de 666 plantas por hectárea conducidas en mono eje, regadas mediante goteo. El clima de la Región de Ñuble, que es la región que alberga a la comuna de Ñiquén, y que antes correspondía a la provincia de Ñuble, región del Biobío se caracteriza por ser un territorio de climas con influencias anticiclónicas y ciclónicas

alternados, y más específicamente, corresponde a la variante de precipitaciones invernales regulares y periodos secos estivales (Peña y Romeros. 1978). Esto es clasificado como Csb2 en los tipos climáticos de Köppen (Umaña B., *et al.* 2015).

El manejo agronómico fue realizado de manera estandarizada y de manera convencional para todos los tratamientos y repeticiones, ya sea en lo que respecta de fertilización, plagas y enfermedades, y poda. En cuanto al riego, se utilizaron diferentes riegos en función a la evapotranspiración (ETc) del avellano. Tal como se muestra en la Tabla 2 las distintas mediciones fueron realizadas a plantas que ya se habían tratado durante dos años.

Tabla 2. Tratamientos de riego aplicados.

<b>Tratamiento</b>	<b>Tipo de Tratamiento (% ETc)</b>	<b>Descripción</b>
T1	125%	Plantas con 2 años de tratamiento
T2	100%	Plantas con 2 años de tratamiento; Control
T3	75%	Plantas con 2 años de tratamiento
T4	50%	Plantas con 2 años de tratamiento
T5	100%	Plantas con 2 años de tratamiento; sin riego entre el 15 Dic y 15 Ene.
T6	100%	Plantas con 2 años de tratamiento; sin riego entre el 15 Ene y 15 Feb.

Es necesario mencionar que las frecuencias de riego de los tratamientos 1 al 4 se realizaron a lo largo de la temporada, mientras el tratamiento 5 fue restringido en la fecha entre 15 diciembre y 15 de enero donde el cultivo se encontraba en proceso de fecundación y crecimiento del fruto, mientras que el tratamiento 6 se encuentra en desarrollo pleno del fruto.

Cabe destacar que la evapotranspiración es el proceso mediante el cual el agua pasa del sistema suelo-planta a la atmósfera. Cada cultivo posee una evapotranspiración de cultivo (ETc) específica, la cual representa la cantidad de agua que se pierde hacia el ambiente en función de las condiciones donde se desarrolla. Para calcularla, como se explica más adelante, se emplea la ecuación (1) de evapotranspiración de cultivo, que considera la evapotranspiración de

referencia ( $ET_0$ ) y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). Este cálculo debe adaptarse a las condiciones del sitio donde se encuentra el cultivo, ya que factores como la radiación solar y la temperatura influyen directamente en su magnitud (Calderón *et al.*, 2019).

$$(1) ET_c = ET_0 \times K_c$$

El material recolectado en Ñiquén fue trasladado y conservado a temperatura ambiente en el laboratorio BIOINVE de la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Campus Chillán, donde se le realizaron mediciones físicas y químicas, como el contenido de ácidos grasos, para luego analizar estadísticamente los resultados obtenidos.

### **Mediciones físicas en fruto**

**Medición de peso de fruto:** se tomaron 60 avellanas de la muestra por repetición. Se contaba con cinco repeticiones por los 6 tratamientos, las cuales fueron pesadas en la balanza, después se les retiró la cáscara para volver a ser pesadas. Se realizó la media de todas.

**Medición de diámetro ecuatorial y polar de fruto:** se tomaron las mismas 60 avellanas que fueron pesadas y se midieron con el pie de metro. Estas mediciones fueron realizadas de dos formas, tomadas de forma polar y de forma ecuatorial. Estas mediciones fueron realizadas con cáscara y sin cáscara de un total de 60 avellanas por repetición.

**Porcentaje de descascarado:** con los datos obtenidos se obtuvieron las medias de los pesos de la fruta, que consiste en el fruto completo, semilla y cáscara, y los pesos de la semilla, sin cáscara, para luego mediante la siguiente ecuación (2) se determinó el porcentaje de descascarado.

$$(2) \% \text{ Descascarado} = \frac{\text{Peso promedio semilla}}{\text{Peso promedio fruto}} \times 100$$

### **Mediciones químicas en fruto**

#### **Extracción ácidos grasos a través de Soxhlet**

La extracción de ácidos grasos en los frutos fue llevada a cabo mediante Soxhlet. Para la extracción de ácidos grasos se trituraron 5 g de avellana de cada muestra y se colocaron en un cartucho de papel. Este cartucho se introdujo en el equipo soxhlet el cual en su base tenía un balón redondo de 250 mL con éter de petróleo. El equipo estaba soportado sobre una manta calefactora. Este proceso consiste en calentar el balón hasta llevar a ebullición al éter, que recircula por la muestra, y arrastra los ácidos grasos. Esto se realizó durante 3 h para ser completado.

Transcurrido ese tiempo el extracto etéreo se evaporó con un rotavapor para obtener el total de ácidos grasos que tiene la muestra.

Este se colocó en un vial ámbar de 5 mL y se pesó para obtener la masa total de ácidos grasos, con la precaución de restar el peso del vial utilizado.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar, con 5 repeticiones. Cada repetición constó de 3 árboles, siendo medido el central. A los datos obtenidos se le realizaron análisis de varianza (ANDEVA) previa comprobación de los supuestos de dicho análisis y sus medidas fueron comparadas mediante un test de LSD Fisher con un nivel de confianza del 95%. Para ello se empleó el Software estadístico INFOSTAT (2020).

Tabla 3. Distribución de los tratamientos y sus repeticiones.

Tipo de Tratamiento	Clasificación				
125 % ETc	T1R1	T1R2	T1R3	T1R4	T1R5
100 % ETc	T2R1	T2R2	T2R3	T2R4	T2R5
75 % ETc	T3R1	T3R2	T3R3	T3R4	T3R5
50 % ETc	T4R1	T4R2	T4R3	T4R4	T4R5
100 % ETc (sin riego entre 15 Dic-15 Ene)	T5R1	T5R2	T5R3	T5R4	T5R5
100 % ETc (sin riego entre 15 Ene-15 Feb)	T6R1	T6R2	T6R3	T6R4	T6R5

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal objetivo del estudio era evaluar si había diferencia significativa en lo que respecta a la cantidad de ácidos grasos después de diferentes tratamientos del riego aplicado en el huerto según un porcentaje de la ETc del cultivo.

Junto con esto se evaluó el peso, tanto de la semilla como del fruto, y el tamaño, tanto polar como ecuatorial, para revisar si el crecimiento y peso de la avellana estuviera más influenciado por la cáscara o la semilla en sí. También se evaluó el rendimiento como porcentaje de descascarado.

Los resultados presentan que tanto en el peso con cáscara y solo semilla, si hay diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 4); al igual como en el tamaño ecuatorial y polar del fruto y semilla.

Tabla 4. Evaluación del peso del fruto y de la semilla bajo riego controlado.

Tratamiento	Peso Fruto (g)	Peso Semilla (g)	Descascarado (%)
T1	2,44 ± 0,48 A	1,22 ± 0,23 A	50,00
T2	2,41 ± 0,49 AB	1,21 ± 0,23 A	50,21
T3	2,18 ± 0,45 C	1,06 ± 0,24 C	48,62
T4	2,18 ± 0,45 C	1,03 ± 0,26 C	47,25
T5	2,36 ± 0,46 B	1,14 ± 0,26 B	48,31
T6	2,42 ± 0,46 AB	1,21 ± 0,25 A	50,00

T1: Tratamiento 1 (125% ETc), T2: Tratamiento 2 (100% ETc; control), T3: Tratamiento 3 (75% ETc), T4: Tratamiento 4 (50% ETc), T5: Tratamiento 5 (100% de ETc pero sin riego entre 15 de Dic y 15 de Ene), T6: Tratamiento 6 (100% de la ETc pero sin riego entre el 15 Ene y 15 Feb). El porcentaje calculado fue realizado con las medias. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de LSD Fisher ( $P \leq 0,05$ ).

Se observan diferencias significativas en el peso de fruto según el tratamiento de riego que se aplicó. En ellos se puede observar similitud entre el tratamiento uno, dos, cinco y seis, estos dos últimos tratamientos se diferencian con el resto de los tratamientos, ya que tuvieron restricción de riego en ciertas fechas, mientras que la

frecuencia de riego de los tratamientos uno y dos fue durante toda la temporada.

Basándose en lo observado en la Tabla, se puede decir que el peso de la fruta, y de la semilla, está directamente relacionado con el riego aplicado ya que se contempla que una reposición total e inclusive una reposición superior, como en el tratamiento uno, hay un beneficio en relación al peso de la fruta, lo que consecuentemente implicaría una mayor cantidad de toneladas por hectárea.

En lo que respecta el peso de la semilla, en esta ocasión el valor de mayor peso de semilla se encuentra en el T1, T2, y T6, siendo significativamente diferente con los tratamientos T3 y T4 donde se aplicó un riego deficitario del 75 y del 50 % respectivamente. Esto está indicando que cuando se reduce el riego, se ralentiza el crecimiento de la semilla.

Otros datos importantes que se puede extraer de los pesos de la fruta y semilla es el porcentaje de descascarado (Tabla 4) que es la proporción del peso de la semilla en relación al peso de la avellana completa (semilla más cáscara). Este estudio coincide con lo analizado por Tombesi y Rosati en 1997, donde el peso de la avellana y de la semilla se ven positivamente impactados a mayor cantidad de riego, sin embargo el porcentaje de descascarado disminuye si hay una condición de estrés hídrico severo, como es en el caso del tratamiento cuatro (50 % de la ETc)

En relación con el diámetro ecuatorial del fruto (Tabla 5), se observan diferencias significativas entre los tratamientos, existiendo dos grandes grupos y un intermedio. En el caso del diámetro ecuatorial de la semilla se demuestra que hay más diferencia significativa entre los tratamientos, habiendo uno que es intermedio (Tabla 6). Por lo tanto, se puede concluir que en el diámetro ecuatorial el riego influye tanto en el fruto como en la semilla, alcanzando los mayores valores en el T1, que recibió la mayor cantidad de riego, aunque no se observan diferencias con T2 y T6. Esto es debido a que estos tratamientos tuvieron reposiciones similares de la evapotranspiración del cultivo (ETc), por lo que presentan valores comparables en este parámetro.

Por otro lado, al analizar el diámetro polar del fruto, se evidencia que su incremento es favorable hasta el punto en que se repone el 100 % de la ETc. No obstante, cuando la reposición supera este umbral, como en el caso del tratamiento 1 (125 % de la ETc), el tamaño del fruto disminuye. En contraste, el diámetro polar de la semilla

muestra una relación directa con el nivel de riego aplicado, aumentando conforme se incrementa la reposición hídrica. Este hallazgo es consistente con el estudio realizado por K ulahçilar, Tonkaz y Bostan (2018), quienes indicaron que parámetros como el peso de la avellana, el grosor de la cáscara, el tamaño y peso de la semilla, la proporción de semillas y la presencia de defectos en el grano son significativamente influidos, por los niveles de riego aplicados en el cultivo del avellano, siendo afectados positiva o negativamente según disminuya o aumente el riego.

Tabla 5. Diámetro ecuatorial fruto y de la semilla bajo riego controlado.

Tratamiento	Diámetro Ecuatorial Fruto (mm)	Diámetro Ecuatorial Semilla (mm)
T1	16,87 $\pm$ 1,28 A	12,83 $\pm$ 1,47 A
T2	16,74 $\pm$ 1,01 A	12,58 $\pm$ 1,68 B
T3	16,22 $\pm$ 1,07 B	11,95 $\pm$ 1,39 C
T4	16,50 $\pm$ 1,02 AB	11,97 $\pm$ 1,78 C
T5	16,81 $\pm$ 1,03 A	12,54 $\pm$ 1,48 B
T6	16,59 $\pm$ 0,99 AB	12,61 $\pm$ 1,32 AB

T1: Tratamiento 1 (125% ETc), T2: Tratamiento 2 (100% ETc; control), T3: Tratamiento 3 (75% ETc), T4: Tratamiento 4 (50% ETc), T5: Tratamiento 5 (100% de ETc pero sin riego entre 15 de Dic y 15 de Ene), T6: Tratamiento 6 (100% de la ETc pero sin riego entre el 15 Ene y 15 Feb). Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de LSD Fisher ( $P \leq 0,05$ ).

Tabla 6. Diámetro polar fruto y de la semilla bajo riego controlado

Tratamiento	Diámetro Polar Fruto (mm)	Diámetro Polar Semilla (mm)
T1	18,74 $\pm$ 1,38 AB	13,63 $\pm$ 1,53 A
T2	18,94 $\pm$ 1,41 A	13,58 $\pm$ 2,57 A
T3	18,56 $\pm$ 1,41 BC	13,55 $\pm$ 1,80 AC
T4	18,33 $\pm$ 1,33 C	13,21 $\pm$ 1,55 B
T5	18,80 $\pm$ 1,43 AB	13,70 $\pm$ 1,67 A
T6	18,74 $\pm$ 1,37 AB	13,76 $\pm$ 2,01 A

T1: Tratamiento 1 (125% ETc), T2: Tratamiento 2 (100% Etc; control), T3: Tratamiento 3 (75% Etc), T4: Tratamiento 4 (50% Etc), T5: Tratamiento 5 (100% de Etc pero sin riego entre 15 de Dic y 15 de Ene), T6: Tratamiento 6 (100% de la Etc pero sin riego entre el 15 Ene y 15 Feb). Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos según prueba de LSD Fisher ( $P \leq 0,05$ ).

Paralelamente, se evaluó el contenido de ácidos grasos se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Contenido de ácidos grasos ( $\text{mg g}^{-1}$ ) en tratamientos de riego controlado.

Tratamiento	Ácidos grasos ( $\text{mg g}^{-1}$ )
T1	721,00 $\pm$ 217,69 A
T2	652,44 $\pm$ 106,2 AB
T3	555,20 $\pm$ 97,89 AB
T4	534,80 $\pm$ 74,99 B
T5	635,60 $\pm$ 158,87 AB
T6	575,60 $\pm$ 14,4 AB

T1: Tratamiento 1 (125% ETc), T2: Tratamiento 2 (100% ETc; control), T3: Tratamiento 3 (75% ETc), T4: Tratamiento 4 (50% ETc), T5: Tratamiento 5 (100% de ETc pero sin riego entre 15 de Dic y 15 de Ene), T6: Tratamiento 6 (100% de la ETc pero sin riego entre el 15 Ene y 15 Feb). Letras iguales indican que no hay diferencia significativa entre tratamientos según prueba de LSD Fisher ( $P \leq 0,05$ ).

Lo observado en las medidas realizadas a los lípidos de los avellanos indica que hay diferencia entre los tratamientos uno y cuatro, que son los tratamientos que recibieron mayor y menor cantidad de riego aplicado, respectivamente. Mientras que los tratamientos dos, tres, cinco y seis no presentan diferencias significativas ni con el tratamiento uno ni con el tratamiento cuatro. Esto podría ser positivo, ya que en una optimización del recurso hídrico, a través de un riego deficitario controlado, produciría avellanas con contenido similar de ácidos grasos, siendo el contenido de estos lípidos una de las características deseadas en la producción de avellano y así reducir las necesidades hídricas en la producción de avellano. Estos resultados coinciden con lo previamente descrito por Bignami et al en el 2008 desarrollado en la zona central de Italia, donde exponen que la composición de los ácidos grasos, monoinsaturados y polinsaturados no presentaron diferencias significativas entre tratamientos con déficit hídrico.

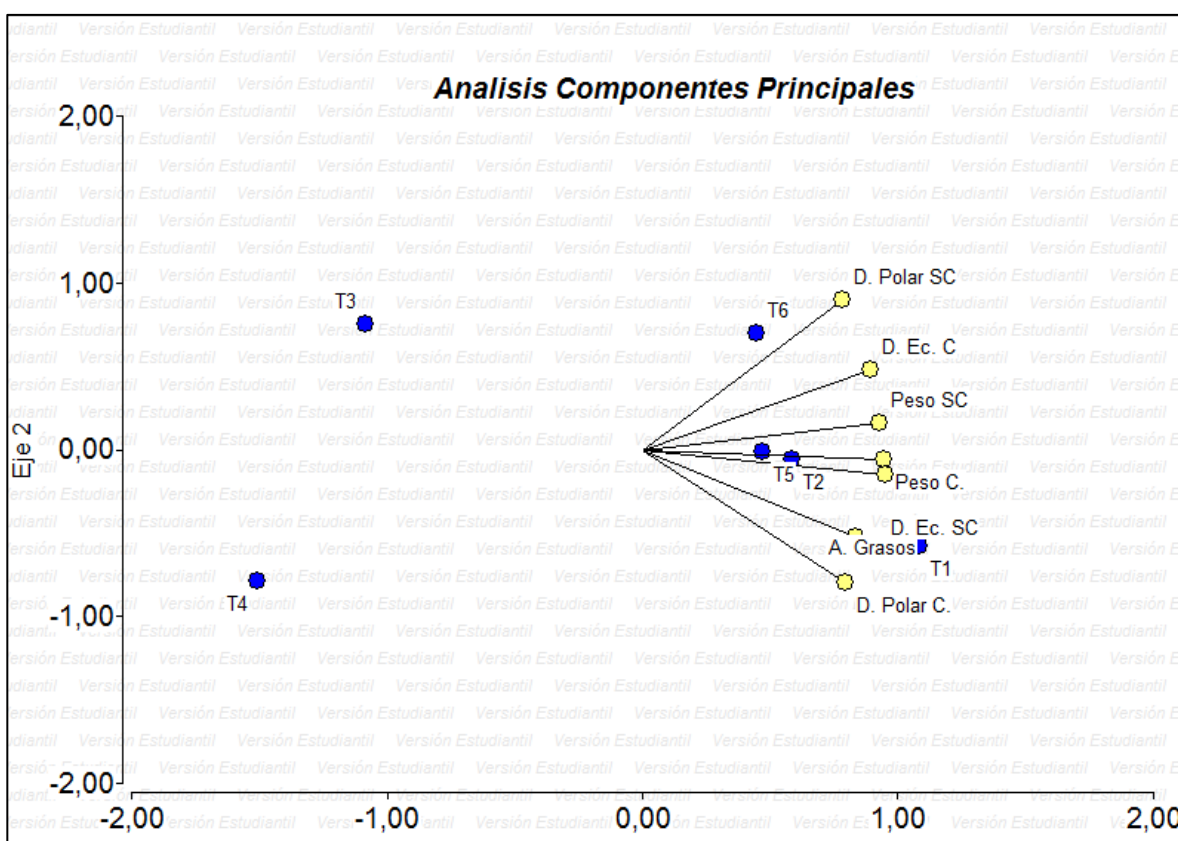
### **Análisis de Componentes principales**

Se realizó un análisis de componentes principales (Figura 2) para visualizar de manera más general los resultados obtenidos, mostrando que los tratamientos con mayor riego (T1, T2, T5 y T6) se asocian a mayores diámetros, polar y ecuatorial,

pesos y contenido de ácidos grasos. En contraste, los tratamientos con menor riego (T3 y T4) presentan efectos negativos en estas variables. Además, se identifican dos grupos diferenciados: uno formado por T1, T2, T5 y T6, y otro por T3 y T4.

Esto es similar a lo que se ha estudiado en el cultivo del olivo, donde Hidalgo *et al.* (2023) Indica que las pequeñas diferencias en ácidos grasos no dependen del programa de riego, sino que de la pluviometría durante el año agrícola; y que en caso de existir diferencias, estas no afectarían en el valor comercial.

Figura 2: Análisis de Componentes Principales Avellano Europeo



D. Polar SC: Diámetro polar semilla; D. Ec. C: Diámetro polar fruto; Peso SC: Peso semilla; Peso C: Peso fruto; D. Ec. SC: Diámetro Ecuatorial semilla; A. Graso: Ácido graso; D. Polar C: Diámetro polar fruto; T1 (Tratamiento 1; 125 %), T2 (Tratamiento 2; 100 %), T3 (Tratamiento 3; 75 %), T4 (Tratamiento 4; 50 %), T5 (Tratamiento 5; 100 % pero sin riego entre el 15 de Dic y 15 de Ene); T6 (Tratamiento 6; 100 % pero sin riego entre el 15 de Ene y 15 de Feb)

## CONCLUSIONES

A partir de lo expuesto se puede concluir que:

1. El riego puede influir en distintos aspectos de calidad en el avellano pero no significativamente en el contenido de ácidos grasos, si se realiza en riegos sin sobre aplicación o déficit extremo, por lo que el riego no sería un factor determinante.
2. El porcentaje de descascarado es homogéneo, bajo tratamientos de riego controlado, a excepción cuando se aplica un déficit hídrico severo (50% de la ETc) que presenta el valor más bajo en porcentaje de la semilla en comparación con la cáscara del mismo tratamiento.
3. En lo que respecta en las dimensiones, tanto polar como ecuatorial, hay diferencia en los tratamientos, en fruto y en semilla. Siendo de mayor tamaño los tratamientos que recibieron mayor cantidad de agua aplicada.
4. El riego deficitario controlado, como lo son el tratamiento 5 y 6, son una buena alternativa para optimizar el recurso hídrico, sobre todo en la Región del Ñuble donde la temporada estival se define como una temporada seca, calurosa y de déficit hídrico, pero se recomienda realizarlo entre los meses de enero y febrero, donde el fruto ya está formado.
5. El tratamiento a elegir dependerá del objetivo que tenga la producción y el contrato que haya determinado el productor, ya que las empresas pueden bonificar o castigar según parámetros como porcentaje de descascarado o calibre, el cual se mide según el diámetro ecuatorial.

## REFERENCIAS

1. Altieri, G., Maffia, A., Pastore, V., Amato, M., & Celano, G. 2022. Use of high-resolution multispectral uavs to calculate projected ground area in corylus avellana l. tree orchard. *Sensors*, 22(19), 7103. <https://doi.org/10.3390/s22197103>
2. Altieri, G., Curcio, D., Groblér, E., Maffia, A., Lepore, A., Siano, F., Sammarco, AS, Vasca, E., Amato, M. y Celano, G. 2024. Efectos del riego sobre el rendimiento y la calidad del avellano (*Corylus Avellana* L.) <https://doi.org/10.2139/ssrn.4764303>

3. Ayyanath, M., Shukla, M., & Saxena, P. 2023. Indoleamines impart abiotic stress tolerance and improve reproductive traits in hazelnuts. *Plants*, 12(6), 1233. <https://doi.org/10.3390/plants12061233>.
4. Ayyanath, M., Shukla, M., Hezema, Y., & Saxena, P. 2023. Straw mulch induced indoleamines alleviate reproductive depression in cold sensitive hazelnut cultivars. *Plants*, 12(13), 2577. <https://doi.org/10.3390/plants12132577>
5. Bacchetta, L., Aramini, M., Zini, A., Giammatteo, V., Spera, D., Drogoudi, P., Rovira M., Silva, A.P., Solar A., & Botta, R. 2013. Fatty acids and alpha-tocopherol composition in hazelnut (*Corylus avellana* L.): a chemometric approach to emphasize the quality of european germplasm. *Euphytica*, 191(1), 57-73. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0861-y>
6. Bignami, C., Cristofori, V., Ghini, P., & Rugini, E. 2008. Effects of irrigation on growth and yield components of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Central Italy. In *VII International Congress on Hazelnut 845* (pp. 309-314).
7. Boccacci, P., Aramini, M., Valentini, N., Bacchetta, L., Rovira, M., Drogoudi, P., Silva, A.P., Solar, A., Calizzano, F., Erdogan, V., Cristofori, V., Ciarmiello, L.F., Contessa, C., Ferreira, J.J., Marra, F.P., & Botta, R. 2013. Molecular and morphological diversity of on-farm hazelnut (*Corylus avellana* L.) landraces from southern Europe and their role in the origin and diffusion of cultivated germplasm. *Tree Genetics & Genomes*, 9(6), 1465-1480. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0651-7>
8. Brown, J., Beatty, G., Montgomery, W., & Provan, J. 2016. Broad-scale genetic homogeneity in natural populations of common hazel (*Corylus avellana*) in Ireland. *Tree Genetics & Genomes*, 12(6). <https://doi.org/10.1007/s11295-016-1079-7>
9. Calderón, A., Atenas, C. & Silva, D. 2019. Riego en kiwis: Manual para entender la aplicación de agua en huertos comerciales en Chile.
10. Çelik, Ö., Aktaş, N., Tugay, M., & Tunçil, Y. 2023. Hazelnut (*Corylus avellana* L.) skin, a by-product of hazelnut industry, possesses oil with high oxidative and thermal stabilities. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(10), 5471-5477. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16371>
11. Chediack, A., Liesch, P., Shanovich, H., & Aukema, B. 2022 Arthropod community in hybrid hazelnut plantings in the midwestern united states. *Journal of Insect Science*, 22(4). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieac039>

12. Cui, N., Zhao, T., Han, Z., Yang, Z., Wang, G., Ma, Q., & Liang, L. 2022. Characterization of oil oxidation, fatty acid, carotenoid, squalene and tocopherol components of hazelnut oils obtained from three varieties undergoing oxidation. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(6), 3456-3466. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15669>
13. 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.
14. Fanali, C., Gallo, V., Posta, S., Dugo, L., Mazzeo, L., Cocchi, M., Piemonte, V., & Gara, L. 2021. Choline chloride–lactic acid-based nades as an extraction medium in a response surface methodology-optimized method for the extraction of phenolic compounds from hazelnut skin. *Molecules*, 26(9), 2652. <https://doi.org/10.3390/molecules26092652>
15. Granata, M., Bracco, F., Gratani, L., Catoni, R., Corana, F., Mannucci, B., Sartori F., & Martino, E. 2016. Fatty acid content profile and main constituents of *Corylus avellana* kernel in wild type and cultivars growing in Italy. *Natural Product Research*, 31(2), 204-209. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1217204>
16. Grau, P. 2003. *Avellano europeo: manual de plantación y manejo*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. Boletín INIA 108. 90 p. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6992>
17. Hidalgo, J., Vega, V., Hidalgo, J.C., 2023. Influencia del riego sobre la calidad del aceite. IFAPA <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/index.php/registro-servifapa/bf276635-b417-4af9-826a-a5ed6031c50e/download>
18. Külahçılar A, Tonkaz, T. Bostan, S. Z. 2017. Effect of Irrigation Regimes by Mini Sprinkler on Yield and Pomological Traits in Tombul Hazelnut, IX. International Congress on Hazelnut
19. Lagos, Luis O., Lama, Waldo, Hirzel, Juan, Souto, Camilo, & Lillo, Mario. (2017). Evaluación de riego deficitario controlado sobre la producción de kiwi (*Actinidia deliciosa*). *Agrociencia*, 51(4), 359-372 [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000400359&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000400359&lng=es&tlng=es).

20. Li, H. and Parry, J. 2011. Phytochemical compositions, antioxidant properties, and colon cancer antiproliferation effects of turkish and oregon hazelnut. *Food and Nutrition Sciences*, 02(10), 1142-1149. <https://doi.org/10.4236/fns.2011.210153>
21. Marzocchi, S., Pasini, F., Verardo, V., Ciemniowska-Żytkiewicz, H., Caboni, M., & Romani, S. 2017. Effects of different roasting conditions on physical-chemical properties of polish hazelnuts (*Corylus avellana* L. var. kataloński). *LWT*, 77, 440-448. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.068>
22. Moine, A., Chitarra, W., Nerva, L., Agliassa, C., Gambino, G., Secchi, F., Pagliarani, C., & Boccacci, P. 2024. Grafting with non-suckering rootstock increases drought tolerance in *corylus avellana* L. through physiological and biochemical adjustments. *Physiologia Plantarum*, 176(6). <https://doi.org/10.1111/ppl.70003>
23. Müller, A., Helms, U., Rohrer, C., Möhler, M., Hellwig, F., Gleis, M., Schwerdtle T., Lorkowski S., & Dawczynski, C. 2020. Nutrient composition of different hazelnut cultivars grown in germany. *Foods*, 9(11), 1596. <https://doi.org/10.3390/foods9111596>
24. Olofinnade, A., Onaolapo, A., Onaolapo, O., Olowe, O., Mollica, A., Zengin, G., & Stefanucci, A. 2021. *Corylus avellana* L. modulates neurobehaviour and brain chemistry following high-fat diet. *Frontiers in Bioscience-Elite*, 26(3), 537-551. <https://doi.org/10.2741/4906>
25. Oztolan-Erol, N., Helmstetter, A., İnan, A., Buggs, R., & Lucas, S. 2021. Unraveling genetic diversity amongst european hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties in turkey. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.661274>
26. Peña, O., Romero H., 1978. *Sistemas en Climatología 131 (aplicación a una clasificación genética de los climas chilenos)*. *Notas Geográficas*, Valparaíso. Romero – Aroca, A., Rovira, M., Cristofori, V., Silvestri, C., 2021. Hazelnut kernel size and industrial aptitude. *Agriculture* 11(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture11111115>
27. Retamal, J. 2023. Fenología avellano europeo 2. Instituto de Investigaciones agropecuarias. Chillan, Chile. Documento de trabajo. (jorge.retamal@inia.cl)

28. Rovira, M. 2021. Advances in hazelnut (*Corylus avellana* L.) rootstocks worldwide. *Horticulturae*, 7(9), 267. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090267>
29. Santelices, R. and Palfner, G. 2010. Controlled rhizogenesis and mycorrhization of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cuttings with black truffle (*Tuber melanosporum* Vitt.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-58392010000200003>
30. Sezer, A., Dolar, F., Lucas, S., Köse, Ç, & Gümüş, E. 2017. First report of the recently introduced, destructive powdery mildew *Erysiphe corylacearum* on hazelnut in Turkey. *Phytoparasitica*, 45(4), 577-581. <https://doi.org/10.1007/s12600-017-0610-1>
31. Silvestri, C., Bacchetta, L., Bellincontro, A., & Cristofori, V. 2020. Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 27-43. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10557>
32. Tombesi A., Rosati A., 1997. Hazelnut response to water levels in relation to productive cycle. *Acta Horticulturae*, 445: 269-278.
33. Umaña, B., Acuña, A., Fawaz, J., Herrera R., Rebolledo, J., Romo, R., 2015. Caracterización de la provincia de Ñuble y una propuesta estratégica para el desarrollo del territorio. Ediciones Universidad Del Biobío. Talcahuano, Chile.
34. Ustaoglu, B. 2014. The effects of climate change on spatiotemporal changes of hazelnut (*Corylus avellana*) cultivation areas in the black sea region, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(2), 309-324. [https://doi.org/10.15666/aeer/1202\\_309324](https://doi.org/10.15666/aeer/1202_309324)
35. Valenzuela J., Lemus G. y Lobato A. 2001. Avellano europeo. En Lemus G, Ed. Curso: Frutales de nuez no tradicionales: macadamia, pistacho, pecano, avellano europeo. Pág. 68 – 86.
36. Vinci, A., Baiocchi, V., Brigante, R., Traini, C., & Farinelli, D. 2024. Use of drones with multispectral and thermal cameras to assess the biometric characteristics and water status of different hazelnut cultivars. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.1201.v1>

37. Zhang, Y., Lyu, C., Meng, X., Dong, W., Hai, G., Su, C., & Zhang, X. 2019. Effect of storage condition on oil oxidation of flat-european hybrid hazelnut. *Journal of Oleo Science*, 68(10), 939-950. <https://doi.org/10.5650/jos.ess19120>
  
38. Zhang, P., Chao, R., Qiu, L., Ge, W., Liang, J., & Wen, P. 2024. Chawrky40 enhances drought tolerance of 'dawei' hazelnuts by positively regulating proline synthesis. *Forests*, 15(3), 407. <https://doi.org/10.3390/f15030407>