

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE
AVELLANA EUROPEA (*Corylus avellana* L.)

ALAN DINIS LEIVA JARA

HABILITACIÓN PROFESIONAL
PRESENTADA A LA FACULTAD
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

CHILLÁN – CHILE

2022

**EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE
AVELLANA EUROPEA (*Corylus avellana* L.)**

Aprobado por:

Pedro Santiago Melín Marín
Ingeniero Agrónomo, M.S. Dr (c)
Profesor Asociado

Profesor Guía

Leslie Violeta Vidal Jiménez
Prof. Est. Qca. Mg. Dr.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

Jorge Arturo Campos Parra
Prof. Est. Mat. Mg.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

Johannes de Bruijn
Ingeniero en Alimentos, Dr.
Profesor Asociado

Profesor Asesor

Christian Gabriel Folch Cano
Profesor de Química y Cs. Naturales, Dr.
Profesor Asociado

Director de Departamento

María Eugenia González Rodríguez
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.
Profesor Asociado

Decana



ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN	1
SUMMARY	¡Error! Marcador no definido.
1. INTRODUCCIÓN	5
2. HIPÓTESIS.....	7
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. Objetivo general	7
3.2. Objetivos específicos.....	7
4. MARCO TEÓRICO	8
4.1. Avellano europeo.....	8
4.2. Situación nacional	8
4.3. Fruto de avellano.....	10
4.4. Valor nutricional.....	11
4.5. Antioxidantes y compuestos fenólicos	12
4.6. Cáscara de avellana.....	14
5. Grasas y aceites	15
5.1. Ácidos grasos.....	15
5.2. Ácidos grasos saturados	16

5.3. Ácidos grasos insaturados.....	16
5.3.1. Ácidos grasos poliinsaturados.....	17
5.3.2. Ácidos grasos monoinsaturados	17
5.4. Aceites vegetales	18
5.5. Extracción de aceites.....	18
5.5.1. Extracción por prensa de tornillo	20
6. MATERIALES Y MÉTODOS	21
6.1. Materia prima	21
6.2. Ensayos preliminares	21
6.3. Diseño experimental.....	22
6.4. Evaluaciones	23
6.4.1. Determinaciones físicas de fruta fresca.....	23
6.4.1. Densidad real y aparente	27
6.4.2. Análisis proximal	27
6.4.3. Evaluación de aceites	29
6.4.4. Compuestos bioactivos	30
6.5. Análisis estadístico	30
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
7.1. Caracterización física de variedades de avellanas europeas.....	31

7.2.	Caracterización química de variedades de avellanas europeas.....	37
7.3.	Extracción mecánica de aceites de avellana europea	38
7.4.	Índices de aceite extraído por prensa de tornillo.....	40
7.4.1.	Perfil de ácidos grasos en variedades de avellana europea.....	41
7.5.	Caracterización fisicoquímica de materia desgrasada	43
7.6.	Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante	46
8.	CONCLUSIONES	52
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	54



ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Superficie estimada de plantaciones de avellano europeo en Chile año 2019 por regiones.....	8
Tabla 2	Superficie de plantaciones avellano europeo en la Región de Ñuble año 2019, por provincia y comuna.....	9
Tabla 3	Contenido de nutrientes y actividad de agua en variedades de avellana europea.....	10
Tabla 4	Ácidos grasos presentes en aceite de distintas variedades de avellana europea.....	10
Tabla 5	Capacidad total antioxidante (TAC) de frutos secos con y sin perisperma.....	13
Tabla 6	Tipos de extracción de aceites vegetales, técnicas empleadas, ventajas y desventajas.....	18
Tabla 7	Tolerancia permitida para índice de acidez en aceites y grasas.....	28
Tabla 8	Tolerancia permitida para índice de peróxidos para aceites y grasas.....	28
Tabla 9	Propiedades físicas de fruto fresco para variedades de avellana europea, estandarizadas mediante secado.....	30
Tabla 10	Resultados de la medición de parámetros de color en fracciones del fruto para variedades de avellana europea Lewis, Barcelona y Tonda de Giffoni.....	36
Tabla 11	Resultados de análisis proximal de variedades de avellana europea, expresado en base húmeda (%) Lewis, Barcelona y Tonda de Giffoni.....	36
Tabla 12	Resultados de análisis proximal de variedades de avellana europea, expresado en base seca (%) Lewis, Barcelona y Tonda de Giffoni.....	37

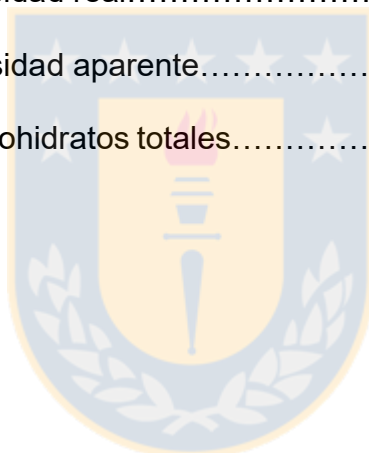
Tabla 13	Rendimiento de extracción de aceites mediante prensa de tornillo, para 200 g de muestra, pretratamiento de secado, tratamiento de extracción con cutícula (T1) y tratamiento de extracción sin cutícula (T2).....	38
Tabla 14	Resultados de índices de calidad de aceites obtenidos mediante extracción por prensa de tornillo, para pretratamiento T1 (con cutícula) y T2 (sin cutícula).....	39
Tabla 15	Resultados de índice de peróxidos aceites extraídos, después de 3 meses de mantención en refrigeración.....	40
Tabla 16	Resultados de perfil de ácidos grasos en aceites de avellana europea obtenido mediante prensa de tornillo para las variedades Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni.....	42
Tabla 17	Medición de parámetros de color, torta desgrasada y aceites para pretratamientos T1 y T2.....	44
Tabla 18	Resultados de análisis proximal del material parcialmente desgrasado obtenido por extracción con pretratamientos T1 y T2, base húmeda (%).....	45
Tabla 19	Resultados de contenido de polifenoles totales en fracciones del fruto de avellana europea expresado en mg ácido gálico en 100 g de muestra.....	46
Tabla 20	Capacidad antioxidante de las fracciones del fruto de avellana europea, mediante análisis DPPH, ABTS y FRAP μmol Trolox en 100 g de muestra.....	48
Tabla 21	Resultados de capacidad antioxidante material desgrasado obtenido en la extracción de aceite para tratamiento 1 y tratamiento 2, mediante análisis DPPH, ABTS y FRAP μmol Trolox en 100 g de muestra.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Fruto de avellano europeo (<i>Corylus avellana</i> L.)	10
Figura 2. Capacidad antioxidante, ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity), valor por cada 100 g, para nueces 28 a 40 g.....	13
Figura 3. Diseño de una prensa de tornillo tipo Expeller.....	19
Figura 4. Diagrama de proceso del diseño experimental planteado para la extracción de aceite a partir de variedades de avellana europea mediante la aplicación de pretratamientos de secados y extracción mecánica mediante prensa de tornillo y prensa hidráulica.....	22
Figura 5. Diámetros del fruto de avellana. L: polar; W: ecuatorial 1; T: ecuatorial 2.....	23
Figura 6. Curva de fuerza-deformación para avellana comprimida. F1: primer punto de fractura (N); SF1: pendiente de la línea entre el punto inicial y el punto de fractura ($N\ mm^{-1}$); W1: área bajo la curva entre el punto inicial y el punto de fractura (J).....	25
Figura 7. Estimación de la producción de cáscara según porcentaje de avellanas procesadas, asumiendo una producción total de 23.000 ton y un porcentaje de cáscara de 55 % de la masa total.....	32
Figura 8. Gráfico de fuerza – deformación, medición realizada sobre la cáscara avellana europea.....	35
Figura 9. Estimación de la extracción de fenoles totales según porcentaje de avellanas procesadas, asumiendo una producción total de 23.000 ton y un porcentaje de cutícula de 3,29 % de la masa total y una eficiencia del 100 % de extracción.....	48

INDICE DE ECUACIONES

	Página
Ecuación 1. Módulo aparente de elasticidad.....	24
Ecuación 2. Coeficiente de Poisson.....	25
Ecuación 3. Cromaticidad.....	26
Ecuación 4. Matiz o hue.....	26
Ecuación 5. ΔE	26
Ecuación 6. Densidad real.....	26
Ecuación 7. Densidad aparente.....	26
Ecuación 8. Carbohidratos totales.....	28



EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE AVELLANA EUROPEA (*Corylus avellana* L.)

EVALUATION OF OIL EXTRACTION METHODS FROM EUROPEAN HAZELNUT (*Corylus avellana* L.)

Palabras clave: Avellana, extracción mecánica, aceite.

RESUMEN

Dado el incremento de plantaciones de avellano europeo *Corylus avellana* L. en Chile, los agricultores proyectan un alto rendimiento en producción de semillas, principalmente dedicada a la exportación en fresco, surgiendo el interés de estudiar alternativas para agregar valor a la industria de la avellana europea aprovechando los subproductos y desechos generados por la extracción de lípidos. En este estudio se realizó la evaluación de dos métodos de extracción mecánica, mediante prensa de tornillo y prensa hidráulica, analizando productos y subproductos obtenidos en el proceso con tres variedades de avellana europea; Barcelona, Tonda de Giffoni y Lewis en Chillán, Región de Ñuble. La extracción se realizó utilizando la semilla con y sin cutícula. La extracción mecánica por prensa de tornillo demostró un alto rendimiento de extracción (89,06 %). Las variedades resultaron con diferencias significativas en sus perfiles de ácidos grasos, y la torta remanente se caracterizó por los componentes de la avellana europea para obtener un subproducto parcialmente desgrasado alto en proteínas (37,10 – 39,35 %), carbohidratos (30,24 - 32,33 %), fibras (3,95- a-4,32%) y cenizas (2,27-2,72%, favorable para otros usos y aplicaciones en alimentos. Los compuestos

fenólicos y antioxidantes de la avellana europea se encuentran principalmente en la cutícula, y se aprecia migración hacia los aceites extraídos en el proceso. Finalmente, la cáscara por su composición celulósica se destina actualmente a la producción de carbón, la combustión del material y la producción de biogás, pero por su elevada capacidad antioxidante, igualmente permite generar otras alternativas de valor agregado



EVALUATION OF OIL EXTRACTION METHODS FROM EUROPEAN HAZELNUT (*Corylus avellana* L.)

Keywords: Hazelnut, mechanical oil extraction, hazelnut oil.

Due to the increase of European hazelnut *Corylus avellana* L. cultivated surface in Chile, farmers project a high yield in hazelnuts, mainly dedicated to export market, arising the interest to study alternatives to add value to the European hazelnut industry by taking advantage of by-products and wastes generated by lipid extraction. In this study, the evaluation of two mechanical extraction methods was carried out, by means of screw press and hydraulic press, analyzing products and by-products obtained in the process with three varieties of European hazelnut; Barcelona, Tonda di Giffoni and Lewis. The lipid extraction was carried out using the unhusked seed with and without cuticle. Mechanical extraction by screw press showed an extraction yield (89.06 %). The varieties resulted with significant differences in their fatty acid profiles, and the remaining cake was characterized by European hazelnut components to obtain a partially defatted by-product high in protein (37.10 - 39.35 %), carbohydrate (30.24 - 32.33 %), fiber (3.95- to-4.32 %) and ash (2.27-2.72 %, favorable for other uses in food products. The phenolic and antioxidant compounds of the European hazelnut are mainly found in the cuticle (external cover of the unhusked seed), and migration towards the oils extracted in the process is appreciated. Finally, due to its cellulosic composition, the shell is currently used for charcoal production, combustion of

the material and biogas production, but due to its high antioxidant capacity, it also would allow for the generation of other value-added alternatives.



1. INTRODUCCIÓN

El avellano europeo (*Corylus avellana* L.) es un frutal de nuez, originario de Europa Central y Asia Occidental donde el principal productor es Turquía con alrededor del 75 % de la producción mundial, seguido de Italia, Estados Unidos y España (Guerrero *et al.*, 2015), con una producción promedio anual de 863.888 toneladas (ton) en el año 2018 (FAO, 2020).

Entre los productores a nivel mundial Chile presenta una tendencia exponencial con una producción de 23.000 ton en 2018 estimado por Frutícola Agrichile, filial agrícola del grupo Ferrero, donde destacan las variedades Tonda di Giffoni y Barcelona con 10.945 y 9.725 ton, respectivamente. Este crecimiento ha permitido que Chile se convierta en el segundo proveedor para Italia con el 95 % de sus exportaciones sin cáscara (Fedefruta, 2018).

Esta nuez se comercializa exportándola con y sin cáscara destacando el interés por otorgar valor agregado a ésta mediante la extracción, evaluación y caracterización de sus productos y subproductos obtenidos a través de un proceso mecánico de prensado para la extracción de sus aceites. De este proceso se espera obtener un material parcialmente desgrasado como subproducto donde los nutrientes nativos de la avellana tengan una concentración favorable desarrollando una alternativa de procesamiento para dar origen a nuevos productos. Sin embargo, del procesamiento de esta semilla oleaginosa se obtiene como principal desecho el pericarpio que proporciona protección a la semilla, aportando con más del 50 % de la masa

del fruto. Existe un real interés en conocer este desecho para futuras aplicaciones y/o aprovechamiento dado que actualmente se destina como material de combustión.



2. HIPÓTESIS

Es posible separar los componentes de la avellana a través de diferentes métodos de extracción, manteniendo las propiedades de la materia prima original y obtener una torta con mayor valor nutricional.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar algunos métodos de extracción de aceite de avellana europea (*Corylus avellana* L.) y caracterizar los diferentes subproductos.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la composición fisicoquímica de las fracciones que componen el fruto de avellano europeo.
- Evaluar algunos métodos de extracción de aceite a partir de la semilla de avellano europeo.
- Caracterizar los productos y subproductos obtenidos a partir de la extracción de aceite, torta, y cáscara.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Avellano europeo

El avellano europeo es una planta de tipo arbustiva, con ramas de color marrón claro grisáceo que nacen en forma alternada e inserta sobre un plano. A nivel del cuello la planta produce numerosos hijuelos que presentan elevado vigor (Ellena *et al.*, 2013).

Pertenece al orden Fagales, familia Betulaceae, género *Corylus*, con alrededor de 15 especies, pero hay solo dos especies e híbridos con frutos aptos para la producción comercial. Éstas son, *C. avellana*, que produce frutos globosos u ovoidales, con un involucre corto o ligeramente alargado que no cubre completamente el fruto, y *C. máxima*, que se caracteriza por tener frutos grandes, redondos o alargados con un involucre más largo que el fruto. Las principales variedades italianas como Tonda di Giffoni, Campónica y Riccia di Talánica, corresponden a híbridos naturales de éstas dos especies (Uslar, 2006). Se caracterizan por su alto contenido de vitamina A y vitamina E, siendo destacables los niveles de Ca (calcio), Mg (magnesio) y K (potasio), proporcionando 634 kcal por cada 100 g de porción comestible (Reyes, 2014).

4.2. Situación nacional

El principal cultivar en Chile es Barcelona, con el 80% de la superficie total de avellanos, siendo ésta última cercana a las 14 mil ha con producciones aproximadas de 3 mil toneladas (Ogass, 2012). En 2010, el país produjo sobre

2 mil ton, el 2016 superior a 16 mil y en 2017 la producción alcanzó 20 mil ton según cifras de Portal Frutícola (2017). En el país ya existen 20.259 ha de avellanos europeos plantadas, según las estadísticas de AgriChile, de las cuales 4 mil ha pertenecen a esta empresa. Se estima que la superficie total del país puede alcanzar las 30 mil ha entre 2020 y 2021 (Díaz, 2018).

El Catastro Frutícola (Tabla 1) muestra que al 2019 se han inventariado 24.436,8 ha a nivel nacional, destacándose las regiones del Maule, Araucanía y Ñuble.

Tabla 1. Superficie estimada de plantaciones de avellano europeo en Chile año 2019 por regiones (Catastro Frutícola Principales Resultados, 2019).

Región	R.M	VI	VII	XVI
Superficie (ha)	25,4	19,01	11.225,1	2.943,5
Región	VIII	IX	XIV	X
Superficie (ha)	1.031,8	7.034,3	1.267,3	890,4
Total (ha)	24.436,8			

R.M: Región metropolitana; VI: O'Higgins; VII: Maule; XVI: Ñuble; VIII: Biobío; IX: Araucanía; XIV: Los Ríos; X: Los Lagos.

La región de Ñuble posee un área plantada de 2.943,5 ha, distribuidas en las provincias del Diguillín y Punilla (Tabla 2), se visualizan las expectativas del alza en producción de los agricultores de la región.

Tabla 2. Superficie de plantaciones avellano europeo en la Región de Ñuble año 2019, por provincia y comuna (Catastro Frutícola Principales Resultados, 2019).

Diguillín		Punilla		Itata	
Comuna	Superficie (ha)	Comuna	Superficie (ha)	Comuna	Superficie (ha)
Bulnes	346,5	Coihueco	501,5	Cobquecura	0
Chillán	200,1	Ñiquén	977,4	Coelemu	0
Chillán Viejo	10,7	San Carlos	302,6	Ninhue	0
El Carmen	108,1	San Nicolás	43,8	Portezuelo	0
Pemuco	55,8	San Fabián	0	Ránquil	0
Pinto	121,3				
Quillón	0,2				
San Ignacio	145,0				
Yungay	130,6				

Productores proyectan mayores rendimientos de cosechas al incrementar en plantaciones a tasa de 1.500 a 3.000 ha / año, esperando producciones de 25 mil ton / temporada, 25% superior a las 19.970 ton en la temporada 2017. Ñuble forma parte de este importante aumento en la producción de plantaciones que se encuentran en zonas rurales, que están produciendo mil ton / temporada, con solo 2 años de producción, permitiendo proyectar producciones de 5 mil a 6 mil ton en futuras temporadas (Díaz, 2018).

4.3. Fruto de avellano

Los frutos de avellana corresponden a nueces (Figura 1), o aquenios, que provienen de un ovario monocarpelar. Son monospermos (con una sola semilla) y uniloculares. Presentan una cutícula lisa de color canela y un pericarpio leñoso que no se abre en madurez (indehiscente). Se agrupan en racimos en número de uno a doce, donde a cada uno lo envuelve una cubierta foliácea o involucro, que varía en longitud de un cuarto hasta dos veces el largo de la semilla (Uslar, 2006).



Figura 1. Fruto de avellano europeo (*Corylus avellana* L.).

4.4. Valor nutricional

Esta semilla posee un alto contenido de proteína y lípidos (Tabla 3) caracterizándose por su contenido de ácido oleico (alrededor de 80%) que le proporciona estabilidad oxidativa por acción de los tocoferoles y fitoesteroles (Tabla 4) (Durmaz *et al*, 2019; Turan, 20180; Göncüoğlu y Gökmen, 2017).

Tabla 3. Contenido de nutrientes y actividad de agua en distintas variedades de avellana europea (Turan, 2018).

Variedad	Proteína	Lípidos %	Humedad	a _w
Tombul	14,66 – 14,92	57,13 – 59,18	4,15 – 4,38	0,60 – 0,65
Palaz	14,40 – 17,43	58,61 – 60,05	4,74 – 5,15	0,60 – 0,62
Ordu Levant	13,53 – 14,38	54,53 – 57,20	5,00 – 5,53	0,63 – 0,70

Tabla 4. Ácidos grasos presentes en aceite de distintas variedades de avellana europea (Turan, 2018).

Variedad	C18:1 Ac. Oleico (%)	C18:2 Ac. Linoleico (%)	C16:0 Ac. Palmítico (%)	C18:0 Ac. Esteárico (%)
Tombul	83,90 – 84,58	9,21 – 9,95	3,85 – 4,25	1,85 – 2,08
Palaz	81,35 – 82,85	10,30 – 11,32	3,95 – 4,80	1,68 – 1,95
Ordu Levant	84,11 – 84,50	10,04 – 10,34	4,18 – 4,33	1,78 – 1,83

El contenido de azúcar es aproximadamente 4% masa seca, donde la sacarosa corresponde a 80% de azúcares totales, seguido de estaquiosa y rafinosa con 6% y 3%, respectivamente. En minerales destacan K (potasio) con 519 - 857 mg, P (fósforo) 256 - 314, Ca (calcio) 161-264 mg y Mg (magnesio) 34,9 a 152 mg por 100 g de avellana. Posee compuestos cardioprotectores como vitamina E (α -tocoferol), fitoesteroles, vitamina B6, ácido fólico, L-arginina y polifenoles que contribuyen en efectos beneficiosos para el fruto y otras como vitamina C y B (Ogass, 2012).

4.5. Antioxidantes y compuestos fenólicos

Son compuestos orgánicos que comprende desde moléculas sencillas como ácidos fenólicos, hasta polímeros complejos como taninos condensados y lignina. Dentro de los compuestos fenólicos también se encuentran pigmentos flavonoides. La naturaleza de los polifenoles varía desde moléculas simples como los ácidos fenólicos hasta compuestos altamente polimerizados. Los compuestos fenólicos intervienen en las características organolépticas de las frutas y verduras, al intervenir en el color natural y sabor que éstas poseen (Martínez-Valverde *et al.*, 2000).

Existen diversos métodos espectroscópicos (ABTS, DPPH, DMPD y FRAP) para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos que contienen los frutos para captar los radicales libres. Los más utilizados son ABTS y DPPH donde DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS se genera tras una reacción que

puede ser química, enzimática o electroquímica. El ABTS mide actividad en compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, en cambio DPPH solo puede disolverse en medio orgánico. Por último, FRAP mide la reducción de un complejo formado por TPTZ (2, 4, 6-tripiridil-s-triazina), y hierro férrico (Fe^{3+}) incoloro a un complejo ferroso (Fe^{2+}) en un medio ácido (Kuskoski *et al.*, 2005).

Los compuestos bioactivos han sido cuantificados en la avellana, predominando principalmente en la cutícula, donde se han identificados ácidos fenólicos libres y ligados, destacando el ácido vinílico y gálico, siendo este último el 98,5 % del total de ácidos en la piel de avellana, la cual se elimina durante el tostado para su consumo (Pelvan *et al.*, 2018; Göncüoğlu *et al.*, 2019). Uno de los antioxidantes más eficientes en la protección de los lípidos del daño oxidativo por radicales libres es la vitamina E, el cual se encuentra presente de forma natural en el fruto (Ogass, 2012). En la Figura 2 se muestra la capacidad antioxidante en valor ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno) en distintas frutas, donde la avellana presenta una alta capacidad antioxidante comparable a arándanos rojos y nueces.

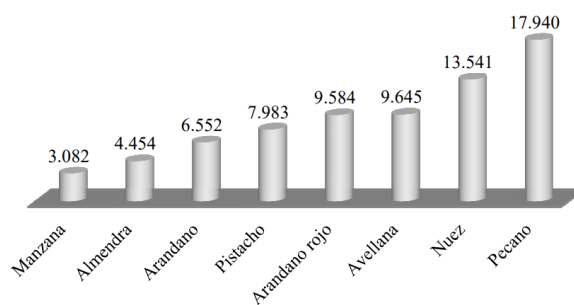


Figura 2. Capacidad antioxidante, ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity), valor por cada 100 g, (De Ogass, 2012).

Los compuestos fenólicos se concentran principalmente en el perisperma o cutícula que cubre a la semilla proporcionando estabilidad oxidativa frente a los radicales libres que puedan afectar la calidad de éstos, incorporando además beneficios a la salud de quienes los consuman. Se ha reportado que la capacidad antioxidante puede variar según los frutos al contener o no esta piel que los cubre (Tabla 5).

Tabla 5. Capacidad Total Antioxidante (TAC) de frutos secos con y sin perisperma (Ogass, 2012).

Producto	TAC (mmol/100g)	Porción (g)	TAC (mmol/porción)
Avellana con perisperma	0,701	28	0,199
Avellana sin perisperma	0,160	28	0,045
Almendra con perisperma	0,412	28	0,117
Almendra sin perisperma	0,112	28	0,032
Nuez con perisperma	23,070	28	6,541
Nuez sin perisperma	1,131	28	0,321

4.6. Cáscara de avellana

El subproducto sólido del procesamiento de la avellana, donde se estima una cantidad de $3 \cdot 10^5$ ton / año en Turquía. La utilidad principal es como

combustible de caldera, aunque la conversión de ésta en productos químicos ha llamado la atención de investigaciones por la posible extracción de componentes. Su estructura química promedio corresponde a hemicelulosas 30,4%, celulosas 26,8%, lignina 42,9% y materia extractiva 3,3% (Arslan, 2012).

Considerando que la producción en Chile se encuentra alrededor de 25.000 ton, es posible estimar la cantidad de desecho que se podría obtener en cada temporada, teniendo en cuenta que el pericarpio (cáscara) implica 53 – 62 % de la masa total de la avellana dependiendo de la variedad y temporadas de producción, se lograría entre 13.250 – 15.500 ton de cáscaras (Ellena, 2018).

5. Grasas y aceites

Las grasas y aceites son los principales lípidos que se encuentran en los alimentos, y contribuyen a la textura, propiedades sensoriales y nutrición. Las principales fuentes incluyen las semillas oleaginosas y los tejidos animales, terrestres y marinos, frutas y hortalizas presentan normalmente muy bajas concentraciones, con algunas excepciones como el aguacate, las aceitunas y algunos tipos de nueces (Badui, 2006).

5.1. Ácidos grasos

Las grasas y aceites están constituidos exclusivamente por triglicéridos compuestos por ésteres de ácidos grasos con glicerol, estos ácidos se definieron como ácidos mono carboxílicos de cadena alifática con número par

o impar de átomos de carbono, que pueden ser saturados o insaturados (Badui, 2006).

5.2. Ácidos grasos saturados

Varían de 4 a 26 átomos de carbono, predominan en alimentos de origen animal, aunque también se encuentran mayoritariamente en algunos alimentos de origen vegetal como los aceites de coco, palma y palmiste, denominados aceites tropicales (Baduy, 2006). El consumo de este tipo de ácidos ocasiona aumento de colesterol LDL (colesterol malo) plasmático y el colesterol total, aumentando el riesgo para la salud cardiovascular en las personas (Cabezas-Zábala *et al.*, 2016).

5.3. Ácidos grasos insaturados

Comprenden uno o más dobles enlaces entre carbono-carbono. Esta formación de doble enlaces puede producirse por una isomerización estereoquímica, en posiciones *cis* y *trans* (Jil, 2006). En esta clasificación se encuentran ácidos monoinsaturados y poliinsaturados, provenientes generalmente del reino vegetal (a excepción del pescado, superior en poliinsaturados), siendo líquidos a temperatura ambiente y su consumo aumenta los niveles de colesterol HDL (colesterol “bueno”) (Espinoza, 2010). Los ácidos con forma molecular *trans* perjudican la salud de los consumidores, mediante margarinas hidrogenadas, grasas comerciales para freír y productos horneados altos en grasas. La ingestión de grasas *trans* se encuentra

asociada con el incremento de masa corporal, resistencia a la insulina y cáncer de mama y próstata (Cabezas *et al.*, 2016).

5.3.1. Ácidos grasos poliinsaturados

Poseen más de un doble enlace entre carbonos en su estructura (Jil, 2006), contribuyendo a disminuir el colesterol total y la concentración de colesterol LDL. Susceptibles a la oxidación, interviniendo en procesos de formación de radicales libres nocivos para la salud. Aunque el organismo puede inactivar procesos por medio de sustancias antioxidantes, no es prudente abusar de las grasas poliinsaturadas. Por ello, se recomienda que el consumo varíe de 3 a 7% del total de la grasa, sin sobrepasar el 10%. El ácido graso poliinsaturado linoleico presenta altas proporciones en aceite de semillas de girasol (68 %) y uva (73 %) (Espinoza, 2010).

5.3.2. Ácidos grasos monoinsaturados

Exhibe doble enlace entre carbonos 9 y 10 (Badui, 2006). Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga son esenciales, no pueden ser sintetizados por el ser humano (Jil, 2006). En esta clasificación prioriza el ácido oleico, presente en el aceite de oliva (54 a 80%) siendo el aceite adecuado para las frituras por dos factores fundamentales; mayor resistencia a la descomposición química que provocan las altas temperaturas, y menor absorción por la superficie de los alimentos que se fríen en él, lo que aumenta la digestibilidad de éstos y disminuye su valor calórico final (Espinoza, 2010).

Los ácidos grasos monoinsaturados (omega-3, 6 y 9) benefician la salud cardiovascular, evitan enfermedades de ese tipo y previenen accidentes cerebrovasculares al aumentar el nivel de HDL y disminuyen el LDL. Intervienen en la formación de membranas celulares, conforman la mayor parte de los tejidos cerebrales dado que las células nerviosas contienen ácidos grasos omega-3 (Morales *et al.*, 2010).

5.4. Aceites vegetales

Se encuentran en semillas, frutos, raíces, ramas y hojas de las plantas. Se extraen principalmente para el consumo, procesos de fritura y elaboración de margarinas (Jil, 2006). El Codex Alimentarius, define grasas y aceites comestibles como alimentos que se componen de glicéridos de ácidos grasos, de origen vegetal, animal o marino. Podrán contener pequeñas cantidades de otros lípidos, tales como fosfátidos, de constituyentes insaponificables y de ácidos grasos libres. Asimismo, se entiende por aceites vírgenes al producto comestibles obtenido a través de procedimientos mecánicos, por ejemplo, extrusión y prensado, con aplicación únicamente de calor, siendo purificados mediante sedimentación, filtración o centrifugación (Codex Alimentarius, 1981).

5.5. Extracción de aceites

En la extracción de aceite de semillas oleaginosas existen diferentes alternativas (Tabla 6), siendo la extracción por solvente con o sin pre prensado, la más utilizada a nivel industrial, la semilla se somete a condiciones extremas

como altas presiones y/o temperaturas, resultando eficiente en los rendimientos de extracción alcanzados. Sin embargo, la calidad del aceite y harina desgrasada disminuye, debido a la degradación de vitaminas y sustancias activas presentes en el producto utilizado. La calidad de los aceites obtenidos por prensas hidráulicas supera a los obtenidos por prensas de tornillos sin fin donde hay un incremento de temperatura durante el proceso (Guerra y Zúñiga, 2003).

Tabla 6. Tipos de extracción de aceites vegetales, técnicas empleadas, ventajas y desventajas (Cefla, 2015).

Tipo de extracción	Técnicas	Ventajas	Desventajas
Prensado de semillas	Técnica de prensado en frío y almacenamiento a baja temperatura (4°C) en la oscuridad	Los aceites presentan mejor conservación de los componentes antioxidantes (quercetina y miricetina), comparada con la extracción por solventes	Rendimientos bajos en la producción del aceite
Extracción con solvente	Método usando generalmente hexano	Favorece las características funcionales del aceite como la retención de agua y la estabilidad de emulsión	Provoca pérdidas ligeras de antioxidantes, nocivo a la salud y seguridad al medio ambiente por el uso del hexano
Extracción con fluidos supercríticos	Uso del CO ₂ en estado supercrítico	Rendimientos altos de extracción del aceite, no se requiere eliminar solventes del aceite o de la torta residual	Instalaciones muy costosas

Para evitar la desnaturalización de la proteína en semillas oleaginosas, la temperatura de extracción debe mantenerse bajo los 70°C, para asegurar la

estabilidad molecular de los ácidos grasos poliinsaturados y evitar la disolución de ceras y otras sustancias (Saavedra, 2012).

5.5.1. Extracción por prensa de tornillo

Este proceso (Figura 3) se realiza de manera continua y a alta presión para extraer el aceite en un solo paso. Las semillas se introducen en una tolva, donde el tornillo sin fin o husillo gira dentro de una camisa, el cual transporta y muele las semillas reduciendo el espacio libre entre éstas hasta la boquilla o cabezal, lugar donde se estrangulan y se ejerce la máxima presión provocando la salida del aceite que fluirá por el espacio entre el husillo y la camisa hasta encontrar las ranuras de salida (Arce, 2015).

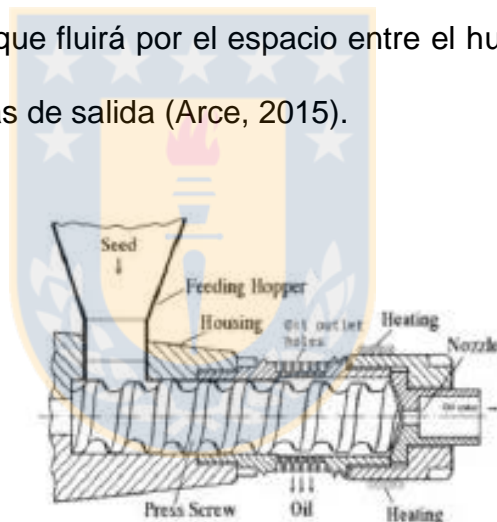


Figura 3. Diseño de una prensa de tornillo tipo Expeller (Arce, 2015).

Los tipos de prensas Expeller son comunes y corresponde al tipo cilindro agujereado y tipo filtro. Consisten básicamente en que el aceite fluye a través de unos agujeros que están presentes en una parte de la camisa antes de la zona de calentamiento o entre dos zonas de calentamiento. Por lo general se utilizan para una producción de hasta 200 kg / h de producto. Se pueden

adecuar zonas de calentamiento si así lo requiere el proceso, además de adaptar a diferentes tipos de semillas al cambiar la velocidad de rotación y diámetro de la boquilla. La ventaja de este método implica un proceso exclusivamente mecánico, sin aditivos químicos garantizando un de mejor calidad que conserva todas sus propiedades organolépticas (sabor, color, textura) (Galagarra, 2015).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Materia prima

Se utilizaron tres variedades de avellana europea (*Corylus avellana* L.), Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni. Las avellanas fueron obtenidas a través de proveedores de la Región de Ñuble. Se guardaron a temperatura ambiente durante 2 meses hasta su uso en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción, Campus Chillán.

6.2. Ensayos preliminares

Para la definición de los ensayos y el diseño experimental, se realizaron extracciones para diferentes tamaños de grano de avellana, donde se fragmentó en dos, cuatro y seis partes, además de triturlarla mediante un procesador de alimentos. Éstos se realizaron mediante una extracción mecánica por prensa hidráulica (Máquina de Pruebas Universal Instron, modelo 4467) y prensa de tornillo (prensa de aceite automático de acero inoxidable 304, OPM-500, JOOSHUN), utilizando un tamaño de muestra de

50, 100 y 200 g, donde fueron seleccionadas las condiciones donde hubo menor formación de sedimento y buen funcionamiento de los ensayos, definiéndolos como:

- Prensa de tornillo, trozando la semilla en cuatro partes y 200 g de muestra.

6.3. Diseño experimental

Diseño experimental (Figura 4) completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento, un pelado parcial a la materia prima para uno de los tratamientos y dos métodos de extracción.

- Tratamiento 1 (T1): conservando la cutícula del fruto y extracción con prensa de tornillo a 60 °C.
- Tratamiento 2 (T2): desprendimiento del perisperma y extracción con prensa de tornillo a 60 °C.
- Tratamiento 3 (T3): Extracción con prensa hidráulica.

Las extracciones para los tratamientos 1 y 2 se realizaron con 200 g de muestra por repetición. En la evaluación de los métodos de extracción se utilizó la variedad Lewis para la realización de los ensayos. A partir de los resultados obtenidos con la variedad Lewis, se aplicó el mejor tratamiento con las otras dos variedades.

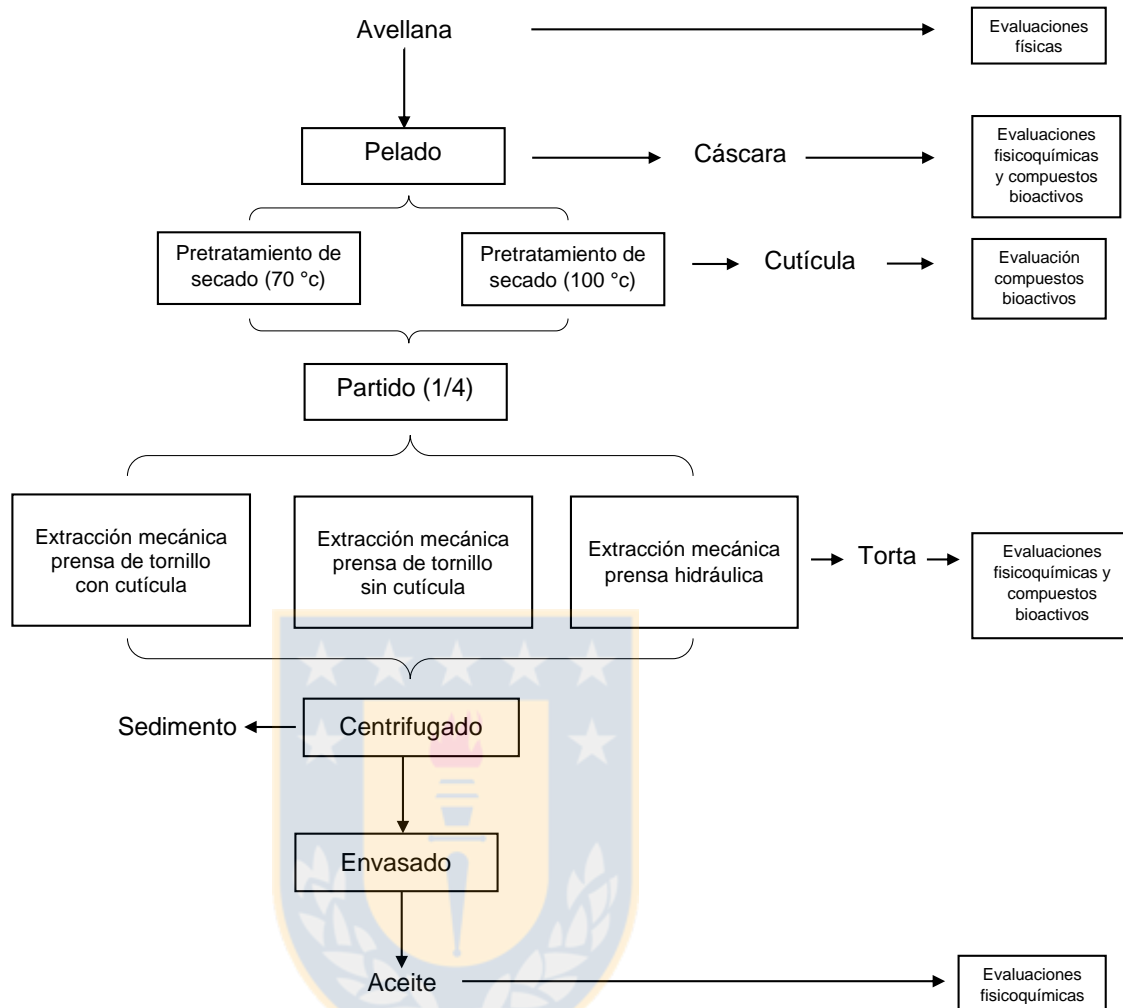


Figura 4. Diagrama de proceso del diseño experimental planteado para la extracción de aceite a partir de variedades de avellana europea mediante la aplicación de pretratamientos de secados y extracción mecánica mediante prensa de tornillo y prensa hidráulica.

6.4. Evaluaciones

6.4.1. Determinaciones físicas de fruta fresca

Los análisis físicoquímicos se efectuaron en el Laboratorio de Propiedades Físicas de Biomateriales y el Laboratorio de Control de Calidad, ambos

pertenecientes al Departamento de Agroindustrias, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Campus Chillán.

Se realizaron tres repeticiones con 11 frutos muestreados al azar. Se obtuvo el dato individualizado por cada uno de los frutos.

6.4.1.1. Masa del fruto

Se determinó la masa en balanza (Bell MG21A4) de precisión 0,0001 g a frutos enteros y núcleo de avellana.

6.4.1.2. Diámetro polar y ecuatorial

Se midió el diámetro polar y dos diámetros ecuatoriales (Figura 5) en avellanas enteras y núcleo, mediante un vernier digital de precisión 0,02 mm.

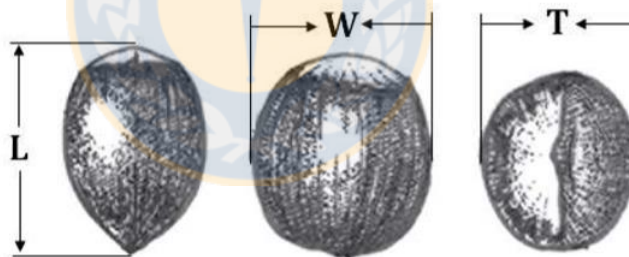


Figura 5. Diámetros de fruto de avellana. L: polar; W: ecuatorial 1; T: ecuatorial 2 (Milošević *et al.*, 2017).

6.4.1.3. Propiedades mecánicas de la cáscara

Se realizó una prueba de compresión utilizando una celda de carga de 5 kN con vástago de placa plana mediante la Máquina de Pruebas Universal Instron, modelo 4467, a velocidad de 20 mm s⁻¹. Las avellanas se comprimieron a lo

largo del eje de compresión, que correspondía al eje longitudinal a través del hilo que contenía la dimensión principal (diámetro polar) (Belviso *et al.*, 2017; Güner *et al.*, 2003). Los ensayos se llevaron a cabo hasta el primer punto de ruptura, que corresponde al momento que se fracturó la cáscara. Se realizó el cálculo de dureza (N mm) que corresponde al área bajo la curva del gráfico de fuerza-deformación (Figura 6) y módulo aparente de elasticidad mediante la siguiente fórmula (ASAE Standard, 1991):

$$E = \frac{0.338K^{3/2} * F(1-\mu^2)}{D^{3/2}} \sqrt{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R'_1}} \quad [1]$$

Donde:

E = Módulo aparente de elasticidad (Pa)

D = Deformación (m)

μ = Coeficiente de Poisson

F = Fuerza (N)

R_1, R'_1 = radios de curvatura del cuerpo convexo en los puntos de contacto (m)

K = Factor 1,351 dado por el ángulo de la fuerza aplicada (90°)

Coeficiente de Poisson (constante elástica que proporciona una medida de deformación lateral del material) fue calculado respecto a la humedad de cada variedad (Sirisomboon *et al.*, 2012) mediante la siguiente fórmula:

$$\mu \left(\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right) = \frac{0,5M+0,1(100-M)}{100} \quad [2]$$

Donde:

M = humedad del producto (%)

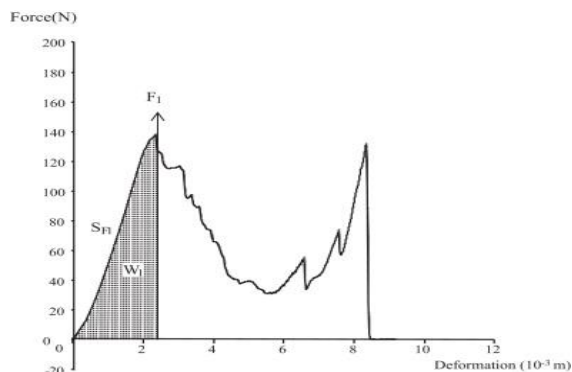


Figura 6. Curva de fuerza-deformación para avellana comprimida. F1: primer punto de fractura (N); SF1: pendiente de la línea entre el punto inicial y el punto de fractura (N mm^{-1}); W1: área bajo la curva entre el punto inicial y el punto de fractura (J) (Ghirardello *et al.*, 2013).

6.4.1.4. Color

Las mediciones fueron realizadas mediante el equipo espectro fotocolorímetro Hunterlab modelo Color Quest con iluminante D65 y área de visión circular de 25,4 mm de diámetro, obteniendo los parámetros de L^* a^* b^* . Se midió color de la cáscara, núcleo con y sin cutícula, además del material desgrasado y aceites obtenidos aplicando los procesos de presecado T1 y T2. Para cada fracción del fruto se calcularon los atributos de cromaticidad (C^*) y matiz o hue (H^*), para el material desgrasado y los aceites, y se calculó ΔE entre las muestras de T1 y T2 mediante las siguientes ecuaciones (Mathias-Rettig, 2014):

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0,5} \quad [3]$$

$$H^* = \arctg\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad [4]$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad [5]$$

6.4.1. Densidad real y aparente

Se determinó la densidad real mediante un picnómetro calibrado a 20,3°C, se calculó por medio de ecuación (6):

$$\text{Densidad (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Masa picnómetro con aceite (g)} - \text{Masa picnómetro (g)}}{\text{Volumen picnómetro (cm}^3\text{)}} \quad [6]$$

Se determinó la densidad aparente mediante el volumen ocupado de la muestra en una probeta de 2000 mL y se procedió el cálculo por medio de la ecuación:

$$\text{Densidad aparente (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{masa muestra (g)}}{\text{Volumen ocupado (cm}^3\text{)}} \quad [7]$$

6.4.2. Análisis proximal

Comprende la determinación de humedad, cenizas, lípidos, proteína cruda, carbohidratos, en base a las normas de la A.O.A.C. (1990). Este análisis se realizó a la avellana antes de la extracción de aceite y al material parcialmente desgrasado.

6.4.2.1. Humedad

La determinación de la humedad se realizó en referencia al método A.O.A.C. 925.10 con modificación a 70 °C por 48 h, utilizando la materia en forma triturada y homogénea.

6.4.2.2. Cenizas

Se realizó en base al método A.O.A.C. 923.03 mediante calcinación, hasta ceniza blanca o grisácea, a 600 °C por 4 h aproximadamente.

6.4.2.3. Lípidos

El contenido de lípidos se determinó en base a A.O.A.C. 945.16 mediante un extracto etéreo por el método Soxhlet, con éter de petróleo, a 70 °C aproximadamente por 4 h.

6.4.2.4. Proteínas

A través del método Micro-Kjeldahl, A.O.A.C. 960.52. se determinó la concentración de nitrógeno y la conversión a proteína mediante el factor de 6,25.

6.4.2.5. Fibra cruda

Se determinó en base al método A.O.A.C. 932.92., utilizando el sistema de bolsas de fibra – Gerhardt.

6.4.2.6. Carbohidratos totales

Se cuantificaron por diferencia en masa seca mediante la ecuación (5):

$$\text{Carbohidratos \%} = 100 - (\text{cenizas\%} + \text{proteinas\%} + \text{lipidos\%} + \text{fibra cruda\%} + \text{humedad\%})$$

[5]

6.4.3. Evaluación de aceites

A los aceites extraídos se les realizó análisis de características fisicoquímicas, atributos regulados por el Codex Alimentarius STAN 19-1981, que se detallan a continuación:

6.4.3.1. Índice de acidez

De acuerdo al método oficial A.O.C.S. Cd 3d- 63 (Lafont *et al.*, 2011) y su posterior calificación mediante la tabla de tolerancia (Tabla 7).

Tabla 7. Tolerancia permitida para índice de acidez en aceites y grasas (CODEX STAN 19-1981, 2015).

Índice de acidez	mg de KOH/g de grasa o aceite
Grasas y aceites refinados	0,6
Grasas y aceites vírgenes	4,0
Grasas y aceites prensados en frío	4,0

6.4.3.2. Índice de peróxidos

De acuerdo al método oficial A.O.C.S. Cd 8-53 (Lafont *et al.* 2011) y calificando mediante tabla de tolerancia (Tabla 8).

Tabla 8. Tolerancia permitida para índice de peróxidos para aceites y grasas (CODEX STAN 19-1981, 2015).

Índice de peróxidos	Mili-equivalentes de oxígeno activo/kg de aceite
Aceites vírgenes y grasas y aceites prensados en frío	Hasta 15
Otras grasas y aceites	Hasta 10

6.4.3.3. Perfil lipídico

Se solicitó la realización de los análisis químicos, de perfil lipídicos y compuestos bioactivos al Laboratorio de producción vegetal, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción.

6.4.4. Compuestos bioactivos

Se determinaron los polifenoles totales y la capacidad antioxidante en los siguientes materiales: pericarpio, núcleo (sin perisperma), perisperma y material parcialmente desgrasado (pretratamientos T1 y T2). Para la extracción de los compuestos fenólicos se adaptó el procedimiento de Slatnar (2014) mediante solución metanol/agua (v/v, 60:40) en una dilución de 4 g de muestra seca y 36 g de solvente, que se sometió a ultrasonido en el equipo Branson 5800 por 1 hora a 5°C (temperatura promedio de mantención del baño de ultrasonido). Cada una de las muestras se prepararon en triplicado.

6.5. Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza (ANDEVA) mediante el test de Tukey al 95 % de confianza ($p < 0,05$) para la evaluación de las variedades de avellana y prueba t para la evaluación de los pretratamientos de secado, utilizando el software estadístico Infostat ©.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización física de variedades de avellanas europeas

En la caracterización física las avellanas europeas, se aprecia diferencia entre variedades en cada propiedad determinada (Tabla 9).

Tabla 9. Propiedades físicas de fruto fresco para variedades de avellana europea, estandarizadas mediante secado.

Propiedades		Variedades					
		Lewis		Barcelona		Tonda di Giffoni	
		Promedio \pm DS					
Humedad (%)	Cáscara	13,17 \pm 0,19	b	10,93 \pm 0,03	a	13,05 \pm 0,04	b
	Núcleo	7,09 \pm 0,62	a	6,45 \pm 0,08	a	6,90 \pm 0,07	a
	Cutícula	10,36 \pm 0,05	c	7,13 \pm 0,11	b	6,32 \pm 0,11	a
Masa (g)	Entero	3,21 \pm 0,32	a	3,83 \pm 0,59	b	3,15 \pm 0,34	a
	Cáscara	1,73 \pm 0,20	a	2,24 \pm 0,36	b	1,66 \pm 0,23	a
	Núcleo	1,47 \pm 0,14	a	1,60 \pm 0,32	a	1,49 \pm 0,16	a
	Cutícula	0,05 \pm 0,00	a	0,05 \pm 0,01	b	0,04 \pm 0,01	c
Densidad aparente (g cm ⁻³)	Entero	0,48 \pm 0,02	b	0,43 \pm 0,02	a	0,44 \pm 0,01	ab
	Núcleo	0,48 \pm 0,00	a	0,48 \pm 0,02	a	0,46 \pm 0,00	a
Densidad real (g cm ⁻³)	Entero	0,86 \pm 0,01	a	0,77 \pm 0,05	a	0,85 \pm 0,11	a
	Núcleo	0,91 \pm 0,00	a	0,91 \pm 0,01	a	0,91 \pm 0,01	a
Diámetros nuez (mm)	Polar	19,98 \pm 1,94	a	21,52 \pm 1,26	b	20,10 \pm 1,14	a
	Ecuatorial 1	20,38 \pm 0,64	a	22,77 \pm 1,14	b	20,85 \pm 1,05	a
	Ecuatorial 2	17,30 \pm 0,75	a	19,57 \pm 0,83	c	18,09 \pm 0,73	b
Diámetros grano (mm)	Polar	15,42 \pm 1,60	ab	16,02 \pm 1,52	b	14,68 \pm 1,05	a
	Ecuatorial 1	15,08 \pm 0,90	a	15,93 \pm 2,04	b	15,76 \pm 1,07	ab
	Ecuatorial 2	13,39 \pm 0,73	a	14,22 \pm 2,03	b	13,76 \pm 0,68	ab
Espesor cáscara (mm)		1,63 \pm 0,14	a	1,67 \pm 0,26	a	1,55 \pm 0,23	a
Dureza (N mm ⁻¹)	Cáscara	208,3 \pm 88,7	a	242,1 \pm 136,1	a	175,2 \pm 141,1	a
Fuerza máxima (N)	Cáscara	403,2 \pm 84,0	ab	441,7 \pm 129,0	b	342,8 \pm 132,0	a
Módulo de elasticidad (MPa)	Cáscara	137,0 \pm 40,5	a	112,77 \pm 33,57	a	126,0 \pm 39,82	a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Al comparar los contenidos de humedad de la cáscara en las variedades de avellana se observa que hay diferencia significativa entre ellas con porcentajes

de 13,17, 13,05 y 10,93 % para variedades Lewis, Tonda di Giffoni y Barcelona, respectivamente. De igual forma ocurre en la cutícula con porcentajes de 6,32 % para Tonda di Giffoni, 7,13 % Barcelona y 10,36 % en Lewis. El contenido de humedad del núcleo no presentó diferencia significativa entre las variedades analizadas. Coincidiendo con Amaral (2006) para avellanas de Portugal con un porcentaje de humedad entre 6,43 – 3,5 % en el núcleo siendo menor a Wang (2018) con 12,2 – 17,1 % para variedades Barcelona, Yamhill, Jefferson y Wepster, respectivamente.

En la masa del fruto de avellana y sus fracciones se aprecia diferencia estadística entre Barcelona y Lewis – Tonda di Giffoni. Ésta presentó mayor masa en cada una de las fracciones: fruto entero, cáscara, núcleo y cutícula con valores de 3,83 g, 2,24 g, 1,60 g y 0,05 g, respectivamente. Lo anterior permite inferir el rendimiento de descascarado con 45,8 % para Lewis, 41,8 % para Barcelona y 47,3 % para Tonda di Giffoni, siendo la cáscara más del 50 % de la masa del fruto. Resultado similar a Milošević (2017) donde evalúa físicamente distintas variedades de avellanas europeas que van entre 1,32 - 4,00 g para masa del fruto y 0,53 - 1,61 g en masa del núcleo. Asumiendo que el promedio de cáscara entre las variedades es 55 % aproximadamente de la masa del fruto y una producción de 23.000 ton por temporada al año 2018, las cuales se encuentran en aumento dada las proyecciones de agricultores, es posible estimar la cantidad de cáscara que se podría tener en cada temporada dada la cantidad de avellanas que se procese en el territorio nacional o no

fueran exportadas (Figura 7) cuyo material podría ser destinado para distintas investigaciones o aplicaciones en procesos.

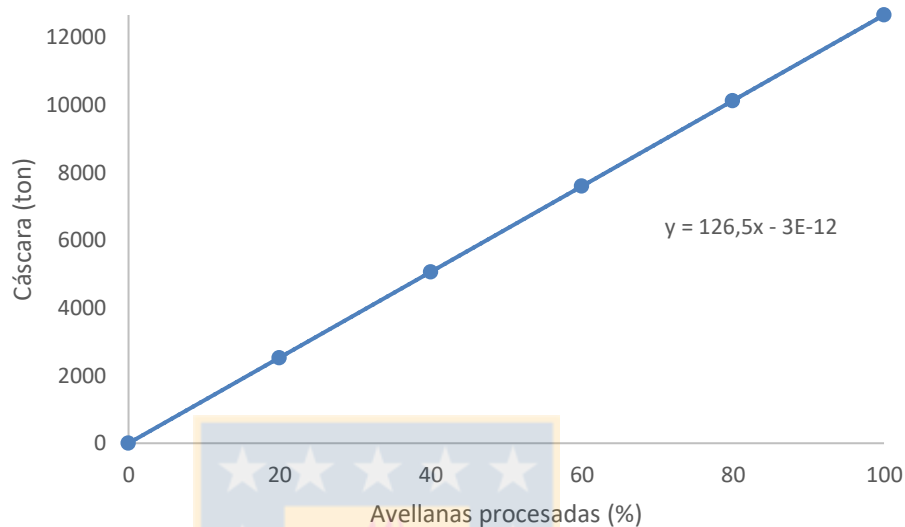


Figura 7. Estimación de la producción de cáscara según porcentaje de avellanas procesadas, asumiendo producción total de 23.000 ton y porcentaje de cáscara de 55 % de la masa total.

El interés por reducir la contaminación y promover energías naturales se encuentra a favor del desarrollo de biogás a partir de cáscara de avellana y material vegetal que envuelve a ésta antes de su cosecha (Senol, 2019). Otras alternativas que se encuentran en investigación es la aplicación de las cenizas de cáscara de avellana en cemento mezclado, resultando éstas como acelerador por la presencia de cloruro y de iones alcalinos, disminuyendo los tiempos de fraguado dado el aumento de la demanda de agua. Sin embargo, la aplicación de ésta es máximo un 5 % en masa de la mezcla dado que disminuye la resistencia mecánica del material (Baran *et al.*, 2020). Estas son

algunas de las alternativas que se encuentran en estudios las cuales se puede sumar la extracción de compuestos químicos aprovechando la capacidad antioxidante que posee ésta, la cual se presenta en puntos más adelante.

Las dimensiones ecuatoriales y polar para el fruto y núcleo de las variedades presentan diferencia significativa donde la variedad Barcelona presentó mayores diámetros en fruto entero con 21,52 mm (polar), 22,77 mm (ecuatorial 1) y 19,57 mm (ecuatorial 2) y en el núcleo 16,02 mm, 15,93 mm, 14,22 mm, respectivamente. Resultados coincidentes con los valores de Milošević (2017) de 17,76 – 26,85 mm en la longitud de fruto (polar), 17,25 – 24,64 mm ancho (ecuatorial 1) y 11,37 – 21,29 mm grosor (ecuatorial 2). El espesor de la cáscara no presenta diferencia significativa con 1,63, 1,67, 1,55 mm para las variedades Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni respectivamente, concordando con los valores de Milošević (2017) de 0,95 – 2,41 mm.

Existe diferencia significativa entre las variedades Lewis y Barcelona para la densidad aparente del fruto entero con 0,48 y 0,43 g cm⁻³, respectivamente. Lo cual difiere con Wang (2018) que reporta densidad aparente entre 0,85 – 1,25 g cm⁻³, pero similar a Pliestic (2006) con 0,53 – 0,454 g cm⁻³ en densidad aparente del fruto y densidad real del fruto y grano con valores entre 0,907 – 0,829 g cm⁻³ y 1,016 – 0,937 g cm⁻³, respectivamente.

En las propiedades mecánicas de la cáscara (Figura 8), no existe diferencia estadística significativa en dureza con valores de 208,27, 242,05, 175,16 N

mm⁻¹ para Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni respectivamente, del mismo modo en el módulo de elasticidad con valores 137 MPa para Lewis, 113 MPa para Barcelona y 126 MPa para Tonda di Giffoni. Sin embargo, para la fuerza máxima (Figura 8) existe diferencia estadística significativa entre las variedades Barcelona y Tonda di Giffoni con 441,69 y 342,78 N, respectivamente. Resultados similares a los obtenidos por Pliestic (2006) con 300 N donde hace referencia a que ésta depende del contenido de humedad de la cáscara dado que, a mayor contenido de humedad, menor es la fuerza requerida para romper la cáscara. Delprete (2014) expone una fuerza máxima entre 286,25 - 346,18 N para muestras con 6 % de humedad y dureza entre 251,10 – 374,90 N mm⁻¹, obteniendo una diferencia en la relación humedad – fuerza máxima que cita el autor. Respecto al módulo de elasticidad los valores son inferiores a los de Delprete (2014) que oscilan entre 4203 – 73007 MPa, la variación de valores del módulo elástico obtenidos puede atribuirse a la naturaleza mixta de la cáscara, tales como la distribución de fibras, contenido de humedad, espesor de las cáscaras y colaterales que contribuyen en el comportamiento de la medición.

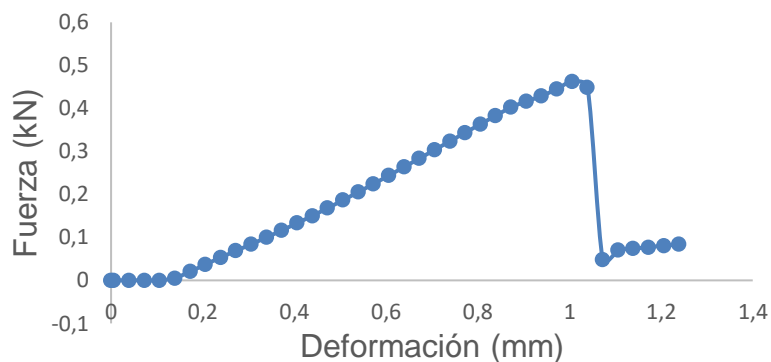


Figura 8. Gráfico de fuerza – deformación, medición realizada sobre la cáscara de avellana europea.

La evaluación de color para cada fracción del fruto de avellana (Tabla 10), no presenta diferencia estadística significativa en color de la cáscara. Para el núcleo con cutícula se encontró diferencia significativa para la coordenada b^* entre las variedades Lewis y Tonda di Giffoni con valor de 19,67 y 18,57. Existe diferencia significativa en el atributo H^* (o tono) entre Lewis y Barcelona con valores de $34,03^\circ$ y $37,29^\circ$. Para el núcleo sin cutícula se obtuvo diferencia significativa en la coordenada L^* donde Barcelona adquiere mayor luminosidad respecto a las otras dos variedades. Özdemir (2014) logró coordenadas L^* a^* y b^* para polvo de piel de avellana con valores de 55,8, 8,4 y 11,1 que trazaron mayor luminosidad, menor enrojecimiento y amarillez en comparación a las coordenadas del núcleo con cutícula.

Tabla 10. Resultados de la medición de parámetros de color en fracciones del fruto para variedades de avellana europea Lewis, Barcelona y Tonda de Giffoni.

Fracción		Lewis		Barcelona		Tonda di Giffoni	
				Promedio \pm DS			
Cáscara	L*	32,16 \pm 2,13	a	29,81 \pm 7,70	a	34,94 \pm 2,57	a
	a*	13,66 \pm 4,74	a	9,42 \pm 1,80	a	12,21 \pm 2,60	a
	b*	20,03 \pm 4,74	a	15,61 \pm 1,42	a	17,84 \pm 1,70	a
	C*	24,34 \pm 4,94	a	18,31 \pm 1,18	a	21,64 \pm 2,83	a
	H* (°)	33,49 \pm 6,56	a	31,13 \pm 6,06	a	34,13 \pm 3,28	a
Núcleo, con cutícula	L*	33,45 \pm 2,63	a	33,37 \pm 1,94	a	32,40 \pm 0,56	a
	a*	13,30 \pm 0,93	a	14,68 \pm 0,87	a	12,91 \pm 0,09	a
	b*	19,67 \pm 0,33	b	19,27 \pm 0,48	ab	18,57 \pm 0,24	a
	C*	23,75 \pm 0,72	a	24,23 \pm 0,89	a	22,62 \pm 0,21	a
	H* (°)	34,03 \pm 1,66	a	37,29 \pm 1,04	b	34,81 \pm 0,39	ab
Núcleo, sin cutícula	L*	57,81 \pm 0,85	a	61,63 \pm 0,41	c	59,60 \pm 0,57	b
	a*	5,35 \pm 0,70	a	4,75 \pm 0,19	a	5,27 \pm 0,55	a
	b*	25,23 \pm 1,60	a	25,03 \pm 0,53	a	24,94 \pm 1,24	a
	C*	25,79 \pm 1,71	a	25,48 \pm 0,55	a	25,49 \pm 1,33	a
	H* (°)	11,94 \pm 0,82	a	10,75 \pm 0,29	a	11,90 \pm 0,66	a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

7.2. Caracterización química de variedades de avellanas europeas

Con la caracterización química (Tabla 11) es posible conocer cada uno de sus componentes nutricionales y como éstos pueden diferenciarse según la variedad disponible.

Tabla 11. Resultados de análisis proximal de variedades de avellana europea, expresado en base húmeda (%) Lewis, Barcelona y Tonda de Giffoni.

Componente	Lewis		Barcelona		Tonda di Giffoni	
			Promedio \pm DS (%)			
Humedad	7,09 \pm 0,62	a	6,45 \pm 0,08	a	6,90 \pm 0,07	a
Lípidos	57,36 \pm 0,15	a	58,22 \pm 0,04	c	57,83 \pm 0,04	b
Carbohidratos	15,41 \pm 0,48	a	14,39 \pm 0,50	a	15,46 \pm 0,54	a
Proteína	13,21 \pm 0,07	ab	13,97 \pm 0,38	b	13,11 \pm 0,38	a
Fibras	3,67 \pm 0,09	a	4,06 \pm 0,07	b	3,84 \pm 0,12	ab
Cenizas	2,53 \pm 0,02	b	2,18 \pm 0,04	a	2,11 \pm 0,03	a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Existe diferencia estadísticamente significativa para los componentes de lípidos, proteínas, fibras y cenizas con valores entre 57,36 – 58,22 %, 13,11 – 13,97 %, 3,67 – 4,06 % y 2,11 – 2,53 % respectivamente, entre variedades Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni. La avellana es una importante fuente de lípidos, carbohidratos y proteínas, la cual utiliza la industria alimentaria principalmente chocolatera, igualmente consumida de forma fresca o tostada, donde al extraer el contenido de humedad persiste una concentración de los componentes (Tabla 12) (Dobhal, 2018). Los resultados obtenidos se asemejan a Tuncil (2020) obteniendo 57,9 % lípidos, 15,8 % proteínas, 2,57 % cenizas y 17,78 % fibras para la variedad Tombul fresca.

Tabla 12. Resultados de análisis proximal de variedades de avellana europea, expresado en base seca (%) Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni.

Componente	Lewis		Barcelona		Tonda di Giffoni	
	Promedio ± DS (%)					
Lípidos	61,74 ± 0,30	a	62,23 ± 0,09	b	62,12 ± 0,02	ab
Carbohidratos	17,37 ± 0,42	a	16,17 ± 0,51	a	17,41 ± 0,54	a
Proteínas	14,21 ± 0,16	a	14,93 ± 0,42	a	14,08 ± 0,42	a
Fibras	3,95 ± 0,08	a	4,34 ± 0,08	b	4,12 ± 0,13	ab
Cenizas	2,72 ± 0,02	b	2,33 ± 0,05	a	2,27 ± 0,03	a

Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

7.3. Extracción mecánica de aceites de avellana europea

Durante los ensayos preliminares se descartó la extracción mediante prensa hidráulica dado que no se obtuvieron resultados esperados cuantificables. Los rendimientos obtenidos en el proceso de extracción mecánica (Tabla 13) mediante tornillo, se utilizó la variedad Lewis en la evaluación de los pretratamientos de secado aplicados. Se definió como temperatura de secado

para retirar la cutícula a 100 °C por 25 min. Para el caso de prensado con cutícula se definió pretratamiento de 70 °C por 25 min.

Tabla 13. Rendimiento de extracción de aceites mediante prensa de tornillo, para 200 g de muestra, pretratamiento de secado tratamiento de extracción con cutícula (T1) y tratamiento de extracción sin cutícula (T2).

	T1	T2	
Fracción	Promedio \pm DS (%)		
Aceites	50,07 \pm 0,03	51,03 \pm 0,33	**
Torta desgrasada	35,67 \pm 0,48	33,39 \pm 0,63	**
Sedimento	11,13 \pm 1,23	11,75 \pm 0,88	--
Merma	3,13 \pm 1,36	3,83 \pm 0,33	--

(**) indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Se obtuvieron rendimientos de 50,07 % para T1 y 51,03 % para T2, respecto a la masa de cada muestra, porcentaje que corresponde a la extracción del 87,38 % del total de lípidos que contienen las avellanas para T1 y 89,06 % para T2. Estos resultados se encuentran en el rango superior y son similares a los reportados por Jokić (2015), quien obtuvo un porcentaje de aceites extraídos entre 72,2 % y 89,51 %, utilizando la extracción por prensa de tornillo. Entre los pretratamientos existe diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de lípidos extraídos lo cual podría atribuirse a dos factores: (1) la presencia de la cutícula que se encuentra en T1 que representa 3,4 % de la masa de la avellana y (2) la temperatura aplicada durante el proceso de presecado que es posiblemente la causa de la destrucción celular y la desnaturalización de proteínas que podrían mejorar la capacidad de extracción de lípidos (Tuncil, 2020). En la torta desgrasada, el rendimiento fue

de 35,67 - 33,39 %, respectivamente para T1 y T2, donde existe diferencia estadísticamente significativa.

Durante el proceso de extracción se formaron dos fracciones: (1) sedimento debido a la centrifugación de los aceites que es 11,13 – 11,75 %, (2) merma, restos de masa que se pierden durante el proceso de extracción que corresponde al 3,13 – 3,83 %. Ambas fracciones no fueron consideradas para análisis.

7.4. Índices de aceite extraído por prensa de tornillo

Extraídos los aceites fueron mantenidos en cámaras de refrigeración a 6 °C, libres de exposición a la luz en frascos de color ámbar. A continuación, se presentan resultados de evaluaciones realizadas a los aceites bajo normas internacionales del Codex Alimentarius, para grasas y aceites (Tabla 14).

Tabla 14. Resultados de índices de calidad de aceites obtenidos mediante extracción por prensa de tornillo, para pretratamiento T1 (con cutícula) y T2 (sin cutícula).

	Aceites extraídos (%)	Índice de acidez (% ac. Oleico)	Índice de acidez (mg KOH/g de aceite)	Índice de peróxidos (meq O ₂ /kg de grasa)
	Promedio ± DS			
T1	87,38 ± 0,05	0,188 ± 0,016	0,37 ± 0,03	1,328 ± 0,575
T2	89,06 ± 0,57	0,131 ± 0,016	0,26 ± 0,03	0,830 ± 0,286
	**	**	**	--

(**) indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

El Codex Alimentarius expresa la tolerancia del índice de acidez en mg de KOH, con valores de tolerancia de 4,0 mg de KOH/ g de aceite para aceites vírgenes y prensados en frío, obteniendo una acidez de 0,37 mg KOH para T1

(con cutícula) y 0,26 mg KOH para T2 (sin cutícula) estando por debajo de los límites permitidos. En cuanto al índice de peróxidos se obtuvieron 1,32 y 0,83 meq O₂ kg⁻¹ respectivamente, inferior al máximo permitido de 15 meq O₂ kg⁻¹.

Tabla 15. Resultados de índice de peróxidos aceites extraídos, después de 3 meses de mantención en refrigeración.

Tratamiento	Índice de peróxidos (meq O ₂ /kg)	
	Promedio ± DS	
T1	1,328 ± 0,149	--
T2	0,996 ± 0,003	--

(**) indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Transcurrido tres meses se midió nuevamente el índice de peróxidos (Tabla 15) a los aceites y se pudo apreciar que no hubo cambios en el índice de peróxidos, siendo cercanos a los presentados por Özkan (2016), quien en avellanas tostadas a 114,24 °C por 27,21 min obtuvo índice de peróxidos de 1,48 meq O₂/ kg.

7.4.1. Perfil de ácidos grasos en variedades de avellana europea

Se determinó el perfil de ácidos grasos para los aceites obtenidos con la aplicación de los pretratamientos T1 (con cutícula) y T2 (sin cutícula) en variedad Lewis. Para Barcelona y Tonda di Giffoni se aplicó el pretratamiento T2, definido como mejor pretratamiento, dado que los índices de acidez y peróxidos obtenidos (punto 7.4), el mayor rendimiento en la extracción de lípidos (punto 7.3) y la diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos.

En el perfil de ácidos grasos realizado para cada aceite obtenido (Tabla 16), se encontraron ácidos grasos monoinsaturados en mayor cantidad en cada aceite entre 71,54 – 74,77 %, seguido de poliinsaturados 10,58 – 15,31 %, por último, los saturados entre 9,39 – 12,30 %. Entre los ácidos grasos más abundantes que se encuentran son el ácido oleico (74,77 %) en avellana Lewis aplicando T2, ácido linoleico (13,47 %) en avellana Barcelona aplicando T2 y palmítico junto a esteárico con 7,47 % y 5,08 %, respectivamente para avellana Giffoni y Lewis aplicando tratamiento T2. Lo anterior es similar a Göncüoğlu (2015) quien presenta el perfil de ácidos grasos con contenido de monoinsaturados (ácido oleico) entre 74,0 - 83,5%, poliinsaturado (ácido linoleico) entre 6,39 - 16,0%, por último, ácido palmítico (4,59 – 7,08%) y ácido esteárico (2,08 – 4,61%) fueron los ácidos grasos saturados que constituyeron el 8,86% del total de ácidos grasos.

En el contenido de ácidos grasos se encuentra la presencia de los saturados los cuales son perjudiciales para la salud por contribuir en la formación de LDL. Sin embargo, su contenido se encuentra entre 9,39 % para Barcelona y 12,30 % para Lewis, valores inferiores con respecto a los monoinsaturados y poliinsaturados (omega-3, 6 y 9) con valores máximos de 74,77 % y 15,31 % respectivamente (Cabezas *et al.*, 2016).

Tabla 16. Resultados de perfil de ácidos grasos en aceites de avellana europea obtenido mediante prensa de tornillo para las variedades Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni.

Aceite	C14:0 (%)		C16:0 (%)		C18:0 (%)		C20:0 (%)	
T1	0,07	a	6,65	a	3,13	b	0,50	c
T2	0,07	a	6,41	a	5,08	c	0,51	bc
BT2	0,06	a	6,90	ab	1,92	a	0,37	ab
TGT2	0,07	a	7,47	b	2,85	b	0,24	a
	C24:0 (%)		C18:1 (%)		C18:2 (%)		C18:3 (%)	
T1	0,38	d	73,09	a	10,29	a	0,44	ab
T2	0,23	b	74,77	a	10,65	ab	0,53	b
BT2	0,16	a	71,54	a	13,47	b	1,03	c
TGT2	0,31	c	74,63	a	10,28	a	0,30	a
	Saturados		Monoinsaturados		Poliinsaturados			
T1	10,73		73,09		10,73			
T2	12,30		74,77		11,18			
BT2	9,39		71,54		15,31			
TGT2	10,94		74,63		10,58			

Letras distintas en la misma columna indica diferencia significativa ($p < 0,05$) T1: aceite Lewis pretratamiento 1, T2: aceite Lewis pretratamiento 2, BT2: aceite Barcelona pretratamiento 2, TGT2: aceite Tonda di Giffoni tratamiento 2.

El aceite de avellana posee componentes importantes como tocoferoles que aportan a la salud humana como antioxidantes. Dentro de estos el principal tocoferol es el α -tocoferol encontrándose entre $512,75 \text{ mg kg}^{-1}$ en aceites extraídos por prensado y $479,44 \text{ mg kg}^{-1}$ extraídos mediante solvente seguido de γ -tocoferol con $108,73 \text{ mg kg}^{-1}$ y $106,62 \text{ mg kg}^{-1}$ mediante cada mecanismo de extracción respectivamente (Alasalvar *et al.*, 2003, Durmaz, 2019). Lo cual muestra la calidad superior que puede llegar a tener un aceite extraído de forma mecánica.

7.5. Caracterización fisicoquímica de materia desgrasada

Las mediciones de color para los aceites y material desgrasado (Tabla 17) obtenidos aplicando los pretratamientos T1 y T2 permiten evidenciar diferencia estadísticamente significativa entre las muestras obtenidas para cada uno de

las coordenadas y atributos. Esto se atribuye al retiro de la cutícula aplicando en el tratamiento T2 lo que produjo una mayor luminosidad (L^*), un menor enrojecimiento y más amarillez (a^*), un aumento en la saturación (C^*) y el tono (H^*) en el material desgrasado. En los aceites el retiro de la cutícula no produjo diferencia significativa en la luminosidad (L^*) de éstos, sin embargo, si existe diferencia significativa para a^* y b^* notando un menor enrojecimiento, amarillez, menor saturación y tono de los aceites. Entre las muestras de material desgrasado y aceites se observa una diferencia de color entre las muestras de material desgrasado siendo apreciable a la vista. Por otro lado, la diferencia de color (ΔE) para los aceites tuvo un menor valor, lo que a simple vista por el ojo humano no es apreciable.

Lo anterior difiere con Donno (2013) que presenta valores para coordenadas L^* , a^* , y b^* , entre 52,19 – 58,93, 5,23 – 6,64 y 19,64 – 22,42 respectivamente, dado que aplica mecanismo de tostados a temperaturas mayores (122 – 148°C) y para C^* valores entre 20,39 – 23,33 para avellanas picadas y pasta de avellana.

Tabla 17. Medición de parámetros de color, torta desgrasada y aceites para pretratamientos T1 y T2.

Muestra		T1	T2	
		Promedio \pm DS		
MD	L*	37,16 \pm 1,84	49,33 \pm 1,68	**
	a*	6,41 \pm 0,41	3,82 \pm 0,26	**
	b*	12,68 \pm 1,66	18,22 \pm 1,21	**
	C*	14,24 \pm 1,35	18,62 \pm 1,24	**
	H* (°)	80,19 \pm 1,09	85,58 \pm 0,17	**
	ΔE	13,63 \pm 1,13		
Aceite	L*	19,84 \pm 2,50	18,09 \pm 2,40	
	a*	0,12 \pm 0,11	-0,84 \pm 1,73	**
	b*	29,99 \pm 2,40	25,71 \pm 1,99	**
	C*	29,99 \pm 2,40	25,72 \pm 0,50	**
	H* (°)	89,62 \pm 0,35	92,66 \pm 0,60	**
	ΔE	4,89 \pm 3,18		

(**) indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$);
MD: material parcialmente desgrasado.

El material desgrasado obtenido, se caracterizó de forma química mediante análisis proximal (Tabla 18). Éste contiene 12,66 % de lípidos aplicando T1 (con cutícula) y 12,40 % para T2 (sin cutícula) donde no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre las muestras ensayadas. Se produjo una concentración en los componentes presentando diferencia estadísticamente significativa para proteínas, carbohidratos y cenizas. En cenizas aumentó de 2,72 a 5,18 % para el tratamiento 1 y 5,48 % para tratamiento 2, en proteínas de 14,21 % a 39,65 % para tratamiento 1 y 42,01 % en tratamiento 2, la fibra disminuyó de 10,33 % a 8,44 % para tratamiento 1 y 8,29 % en tratamiento 2, por último, carbohidratos aumentó de 17,37 % a 27,64 % y 25,49 % respectivamente para tratamiento 1 y 2. Los resultados anteriores dependen de la extracción de lípidos, sin embargo en fibra hay una disminución para ambos tratamientos, lo cual se atribuye al retiro de la cutícula

en el tratamiento 2 y el sedimento que permanece luego de la centrifugación siendo éste un porcentaje no menor de 11 %.

Tabla 18. Resultados de análisis proximal del material parcialmente desgrasado obtenido por extracción con pretratamientos T1 y T2, base húmeda (%).

Medición	T1	T2	
	Promedio \pm DS		
Humedad	6,43 \pm 0,31	6,33 \pm 0,16	--
Proteínas	37,10 \pm 0,34	39,35 \pm 0,48	**
Carbohidratos	32,33 \pm 0,79	30,24 \pm 0,21	**
Lípidos	11,85 \pm 0,24	11,62 \pm 0,56	--
Fibras	7,44 \pm 0,14	7,32 \pm 0,13	--
Cenizas	4,85 \pm 0,05	5,13 \pm 0,01	**

(**) indican diferencias significativas entre las medias ($p < 0,05$).

Los resultados superan a los publicados por Saricaoglu (2018) quien estudia la proteína de la harina de avellana obtenida mediante extracción en frío de los aceites, con 25,20 % en proteína y 17,38 % en carbohidratos. También son inferiores al estudio de Aydemir (2014) para harina de avellana que contiene 54,4 % proteínas, 3,1 % lípidos, 7,0 % cenizas y 35,5 % carbohidratos. Lo cual demuestra la posibilidad del material desgrasado para ser aprovechado como ingrediente funcional contribuyendo al sabor y textura de formulaciones en panadería, confitería, cereal, ensalada, salsa, postre y productos lácteos (Turan et al., 2015).

7.6. Contenido de polifenoles y capacidad antioxidante

La disponibilidad de polifenoles (Tabla 19) que se puede encontrar en las avellanas puede depender de factores como variedad, cultivo, temporada, entre otros (Slatnar *et al.*, 2014).

Tabla 19. Resultados de contenido de polifenoles totales en fracciones del fruto de avellana europea expresado en mg ácido gálico en 100g de muestra.

	Lewis		Barcelona		Tonda di Giffoni	
Fracción	Promedio \pm DS					
Cáscara	<1	a	<1	a	<1	a
Núcleo	<1	a	<1	a	<1	a
Cutícula	524 \pm 40,5	b	736 \pm 26,3	c	374 \pm 27,9	a
TCC	<1	--	----		----	
TSC	<1	--	----		----	

Para fracciones analizadas, letras distintas entre variedades indican diferencia significativa ($p < 0,05$).

Solo se realizó análisis en material desgrasado para la variedad Lewis.

TCC: material desgrasado con cutícula

TSC: material desgrasado sin cutícula

Para las variedades estudiadas no se encontró presencia significativa de polifenoles en las fracciones de cáscara y núcleo en las avellanas, de igual forma en el material parcialmente desgrasado obtenido para ambos tratamientos de secado. Sin embargo, hay diferencia estadísticamente significativa en la cutícula que envuelve la avellana para las variedades Barcelona, Lewis y Tonda di Giffoni con 736, 524 y 374 mg ácido gálico 100 g⁻¹, respectivamente. Estos valores son mayores a lo obtenido por Slatnar (2014) en gránulos de avellana, considerando que estos compuestos contienen principalmente piel (cutícula) de avellana, con valores entre 84,84 a 114,85 mg GAE (equivalentes de ácido gálico) 100 g⁻¹, en cambio Pelvan (2018) menciona valores de 171 para avellana fresca, 17 para avellana tostada y 7225 para cutícula de avellana tostada en mg GAE por 100 g de muestra mencionada. Las fracciones restantes al contrario de Arcan (2009) este presenta un contenido de polifenoles en el grano de avellana con cutícula es

de 256 – 425 mg ácido gálico 100 g⁻¹ de muestra. La diferencia en resultados de ácidos fenólicos presentados por los diferentes autores se puede atribuir por una multiplicidad de factores tales como variedades, lugar de producción y manejos agronómicos, cuidados de postcosecha, métodos de extracción utilizados, entre otros (Pelvan *et al.* 2018).

La capacidad antioxidante mediante método FRAP en fracciones del fruto (Tabla 20) para cáscara se aprecia diferencia significativa con 681, 246 y 177 $\mu\text{mol Trolox}$ en 100 g de muestra para Barcelona, Lewis y Tonda di Giffoni respectivamente. En el núcleo, mediante el método ABTS hubo mayor capacidad antioxidante con valores de 532, 574 y 527 $\mu\text{mol Trolox}$ en 100 g para Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni, respectivamente donde no hubo diferencia estadísticamente significativa. La cutícula fue la porción que presentó mayor capacidad antioxidante mediante DPPH existiendo diferencia estadísticamente significativa con 3768, 4669 y 3118 $\mu\text{mol Trolox}$ en 100 g para Lewis, Barcelona y Tonda di Giffoni, respectivamente.

La presencia de estos componentes en la avellana genera importancia en el beneficio que puede aportar a la salud y organismo del consumidor, disminución del envejecimiento celular, el estrés oxidativo de las células para la prevención de enfermedades que son desencadenadas por el déficit de antioxidantes en el organismo (Coronado *et al.*, 2015). Es por ello que resulta interesante realizar estimaciones para la cantidad de cutícula que se puede obtener en un escenario donde ésta es el 3,29 % de la masa total del núcleo

y una producción de 23.000 ton por temporada al año 2018 la cual se encuentran en aumento, es posible estimar la cantidad de compuestos fenólicos que se podría llegar a extraer dependiendo del porcentaje de avellanas procesadas (avellanas peladas) (Figura 9) como alternativa de valor agregado.

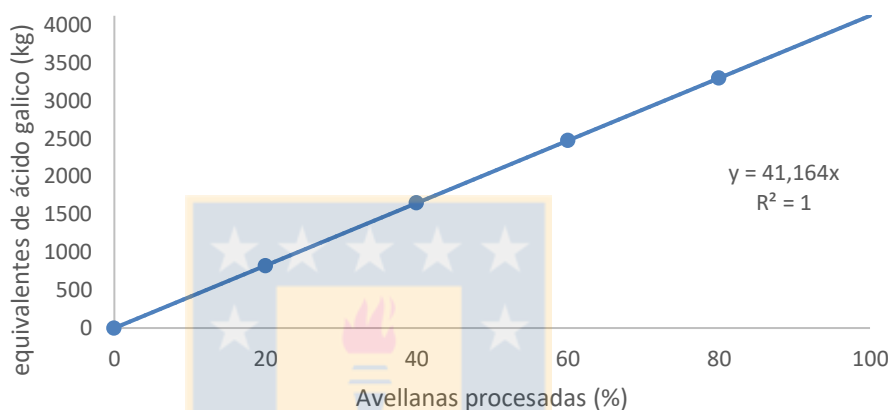


Figura 9. Estimación de la extracción de polifenoles totales en la cutícula según porcentaje de avellanas procesadas, asumiendo producción total de 23.000 ton, porcentaje de cutícula de 3,29 % de la masa total del fruto y una eficiencia del 100 % de extracción.

Tabla 20. Capacidad antioxidante de las fracciones del fruto de avellana europea, mediante análisis DPPH, ABTS y FRAP expresado en μmol Trolox en 100 g de muestra.

Fracción	Análisis	Lewis	Barcelona		Tonda di Giffoni		
		Promedio \pm DS			Promedio \pm DS		
Cáscara	FRAP	177 \pm 65,0	a	681 \pm 36,6	b	246 \pm 23,2	a
Núcleo	DPPH	478 \pm 89,6	a	389 \pm 90,1	a	382 \pm 69,6	a
	ABTS	532 \pm 7,37	a	574 \pm 59,4	a	527 \pm 7,39	a
	FRAP	77 \pm 11,2	a	100 \pm 25,0	a	94 \pm 11,4	a
Cutícula	DPPH	3768 \pm 215,6	b	4669 \pm 213,2	c	3118 \pm 141,7	a
	ABTS	2361 \pm 179,1	a	6942 \pm 136,3	b	4120 \pm 11,6	a
	FRAP	937 \pm 22,6	a	1666 \pm 129,3	b	720 \pm 109,5	a

Letras distintas indican diferencia significativa ($p < 0,05$)

La capacidad antioxidante en la cáscara está por sobre los valores de Yuan (2018) mediante FRAP con 95 – 110 μmol Trolox en 100 g. En el núcleo estos valores son menores a lo expresado por Arcan (2009) quien presenta resultados entre 3063 – 3573 μmol Trolox en 100 g para avellana tostada mediante ABTS. En la cutícula es similar a Pelvan (2018) que mediante DPPH expresado en el valor IC_{50} (cantidad de extracto necesaria para eliminar el 50% de la concentración inicial de radical DPPH) cuanto más bajo el valor de IC_{50} mayor es la actividad antioxidante indicando valores de 1,01 para cutícula de avellana tostada y 350 para avellana tostada.

Dada las estimaciones realizadas anteriormente se aprecia el potencial que se puede aprovechar tanto de la cutícula como de la cáscara en cuanto a los compuestos fenólicos y capacidad antioxidantes, siendo menor en la cáscara. Sin embargo, la cantidad de cáscara que se puede producir es alta en el caso de ser la avellana procesada, la cual se puede aprovechar en la extracción y aplicación de estos compuestos. Mientras que en la cutícula es mayor la presencia de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidantes y la cantidad de masa que se puede obtener es más reducido.

Tabla 21. Resultados de capacidad antioxidante de material desgrasado obtenido en la extracción de aceite para tratamiento 1 y tratamiento 2, mediante análisis DPPH, ABTS y FRAP μmol Trolox en 100 g de muestra. Variedad Lewis.

Muestra	DPPH	ABTS	FRAP
	Promedio \pm DS		
TCC	3332 \pm 193,0	530 \pm 11,6	646 \pm 105,8
TSC	440 \pm 95,6	524 \pm 44,9	127 \pm 41,7
	**	--	**

TCC: material desgrasado con cutícula

TSC: material desgrasado sin cutícula

(**) indica diferencia significativa ($p < 0,05$)

Para el material desgrasado existe diferencia estadísticamente significativa en la capacidad antioxidante (Tabla 21) donde destacan los valores mediante DPPH con 3332 y 440 para T1 (con cutícula) y T2 (sin cutícula), respectivamente expresado en μmol Trolox en 100 g de muestra. Este resultado, muestra el potencial que podría tener este subproducto de transformarse en ingrediente o aditivo en la preparación de alimentos funcionales (Aydemir *et al*, 2014; Saricaoglu *et al*, 2018).

8. CONCLUSIONES

En las evaluaciones físico químicas de las variedades de avellano europeo ensayadas existe diferencia entre las variedades en sus características físicas principalmente en masa del fruto entero y núcleo destacando Barcelona por su mayor tamaño. Por otro lado, los parámetros de color, densidades y propiedades mecánicas no presentaron diferencia significativa entre las variedades. Asimismo, en sus características químicas existe diferencia significativa según la variedad de avellanas en contenido de lípidos, carbohidratos y proteínas. El contenido de compuestos bioactivos se encuentra principalmente en la cutícula.

La aplicación de los tratamientos de presecado y extracción mecánica demostraron que el retiro de la cutícula con el presecado previo a la extracción por tornillo resultó en mejores rendimientos de extracción de aceite. La aplicación de la extracción mecánica mediante prensado batch no generó rendimientos medibles.

La caracterización química de productos y subproductos obtenidos de la extracción mecánica aplicando el tratamiento 2, demostró que se obtiene aceite de calidad que cumple con estándares de normas internacionales, atractivo por su contenido de ácidos mono y poliinsaturados. La torta de material parcialmente desgrasado concentra los componentes nativos de la avellana con altos niveles de proteínas y carbohidratos. La cáscara, es el

principal desecho con componentes lignocelulósicos y compuestos fenólicos, ofrece la oportunidad en futuras aplicaciones con la extracción y uso de éstos.



9. BIBLIOGRAFÍA

1. Alasalvar, C., F. Shaidi, C.M. Liyanapathirana and T. Ohshima. 2003. Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.). 1. Compositional characteristics. J. Agric. Food Chem. 51(13): 3790-3796.
2. Amaral, J.S., S. Casal, R.M. Seabra and B.P.P. Oliveira. 2006. Effects of roasting on hazelnut lipids. J. Agric. Food Chem. 54(4): 1315-1321.
3. AOAC (USA). 1990. Official methods of analysis. Agricultural chemicals; contaminants; drugs. Volume One. (15th. ed.). AOAC. Washington D.C., USA.
4. Arcan, I., A. Yemenicioğlu. 2009. Antioxidant activity and phenolic content of fresh and dry nuts with or without the seed coat. J. Food Compos. Anal. 22(3): 184-188.
5. Arce, A.Y. 2015. Diseño de una prensa tipo Expeller para el proceso de extracción de aceite a partir de semillas oleaginosas, mediante la metodología de ingeniería inversa. Proyecto de grado, Ingeniero Mecánico. Universidad Eafit, Escuela de Ingeniería. Medellín, Colombia.
6. Arslan, Y., S. Takaç and N. Eken-Saraçoğlu. 2012. Kinetic study of hemicellulosic sugar production from hazelnut shells. Chem. Eng. J. 185–186: 23-28.

7. ASAE (USA). 1991. Standards 1991: Standard engineering practices, and data. (38th. ed.). ASAE. Washington D.C., USA.
8. Aydemir, L.Y., A.A. Gökbulut, Y. Baran and A. Yemenicioğlu. 2014. Bioactive, functional and edible film-forming properties of isolated hazelnut (*Corylus avellana* L.) meal proteins. Food Hydrocoll. 36: 130-142.
9. Badui, S.D. 2006. Química de los alimentos. (4a. ed.). Pearson Educación. México D.F., México.
10. Baran, Y., H.S. Gökçe and M. Durmaz. 2020. Physical and mechanical properties of cement containing regional hazelnut shell ash wastes [en línea] J. Clean. Prod. 259. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262031012X?via%3Dihub>>. [Consulta: 20 junio 2019].
11. Belviso, S., B. Dal Bello, S. Giacosa, M. Bertolino, D. Ghirardello, M. Giordano, L. Rolle, V. Gerbi and G. Zeppa. 2017. Chemical, mechanical and sensory monitoring of hot air- and infrared- roasted hazelnuts (*Corylus avellana* L.) during nine months of storage. Food Chem. 217: 398–408.
12. Cabezas-Zábala, C.C., B.C. Hernández-Torres y M. Vargas-Zárate. 2016. Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. Rev. Fac. Med. 64(4): 761-768.

13. Cefla, K.O. 2015. Diseño de una planta para la extracción del aceite vegetal comestible de las semillas de chía (*Salvia hispanica* L.) mediante prensado. Proyecto de título, Ingeniero Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito, Ecuador.
14. Coronado, M., S. Vega y León, R. Gutiérrez, M. Vázquez y C. Radilla. 2015. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Rev. Chil. Nutr.* 42(2): 206-212.
15. Delpretre, C., R. Sesana. 2014. Mechanical characterization of kernel and shell of hazelnuts: Proposal of an experimental procedure. *J. Food Eng.* 124: 28–34.
16. Díaz, P. 2018. Mayores rendimientos y precios estables para las avellanas europeas [en línea]. *El Mercurio*, Chile. <<http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2018/04/18/Mayores-rendimientos-y-precios-estables-para-las-avellanas-europeas.aspx>>. [Consulta: 12 agosto 2019].
17. Dobhal, K., N. Singh, A. Semwal and A. Negi. 2018. A brief review on: hazelnuts. *Int. J. Recent Sci. Res.* 9(1): 23680-23684.
18. Donno, D., G.L. Beccaro, G.M. Mellano, S. Di Prima, M. Cavicchioli, A.K. Cerutti and G. Bounous. 2013. Setting a protocol for hazelnut roasting using sensory and colorimetric analysis: influence of the roasting

temperature on the quality of Tonda Gentile delle Langhe Cv. hazelnut. Czech J. Food Sci. 31(4): 390-400.

19. Durmaz, G., V. Gökmen. 2019. Effect of refining on bioactive composition and oxidative stability of hazelnut oil. Food Res. Int. 116: 586-591.
20. Ellena, M., P. Sandoval, A. González, A. Montenegro, G. Azócar y L. Medina. 2013. Avellano europeo: establecimiento y formación de la estructura productiva. Boletín INIA N°274. INIA Carillanca. Temuco, Chile.
21. Ellena, M. 2018. El avellano europeo en Chile: una década de recopilación e investigación. INIA Carillanca. Temuco, Chile.
22. Espinoza, A., L. Zapata. 2010. Estudio de aceites vegetales comestibles: análisis de calidad, rotulación, información nutricional e imagen. Organización de Consumidores y Usuarios. Santiago, Chile.
23. FAO (Italia). 2015. Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. CODEX STAN 19-1981 [en línea]. FAO, Italia. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B19-1981%252FCXS_019s.pdf>. [Consulta: 25 julio 2019].

24. FAO (Italia). 2020. Crops [en línea]. FAOSTAT, Italia. <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. [Consulta: 21 abril 2020].
25. Fedefruta. 2018. Exportaciones de avellanas chilenas siguen al alza [en línea]. Fedefruta, Chile. <<https://fedefruta.cl/exportaciones-de-avellanas-chilenas-siguen-al-alza/>>. [Consulta: 12 agosto 2019].
26. Galagarra, Y.O. 2015. Diseño de una prensa de tornillo tipo *Expeller* para la extracción de aceite vegetal virgen de la semilla de maíz, para uso comestible. Trabajo de grado, Ingeniero Mecánico. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingeniería Mecánica. Pereira, Colombia.
27. Ghirardello, D., C. Contessa, N. Valentini, G. Zeppa, L. Rolle, V. Gerbi and R. Botta. 2013. Effect of storage conditions on chemical and physical characteristics of hazelnut (*Corylus avellana* L.). *Postharv. Biol. Technol.* 81: 37-43.
28. Göncüoğlu, N., V. Gökmen. 2015. Profiling triacylglycerols, fatty acids and tocopherols in hazelnut varieties grown in Turkey. *J. Food Compos. Anal.* 44: 115-121.
29. Göncüoğlu, N., V. Gökmen. 2017. Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: a multiresponse kinetic study. *Food Chem.* 221: 1911-1922.

30. Göncüoğlu N., C. Yılmaz and V. Gökmen. 2019. Investigation of serotonin, free and protein-bound tryptophan in Turkish hazelnut varieties and effect of roasting on serotonin content. *Food Res. Int.* 120: 865-871.
31. Guerra, E.G., M.E. Zúñiga. 2003. Tratamiento enzimático en la extracción de aceite de pipa de uva, *Vitis vinifera*, por prensado en frío. *Grasas Aceites* 54(1): 53-57.
32. Guerrero, J., C. Meriño-Gergichevich, K. Ogass, C. Alvarado 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. Fca. Univ. Cuyo* 47(2): 1-14.
33. Güner, M., E. Dursun and I.G. Dursun. 2003. Mechanical behaviour of hazelnut under compression loading. *Biosyst. Eng.* 85(4): 485–491.
34. Jil, P.R. 2006. Variación del contenido de los ácidos grasos en el aceite extruido en frío de nueve clones de *Gevuina avellana* Mol. Tesis, Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. Valdivia, Chile.
35. Jokić, S., T. Moslavac, K. Aladić, M. Bilić, Đ. Aćkar and D. Šubarić. 2015. Hazelnut oil production using pressing and supercritical CO₂ extraction [en línea]. ResearchGate, Germany. <https://www.researchgate.net/publication/282235286_Hazelnut_oil_pr

oduction_using_pressing_and_supercritical_CO2_extraction>.

[Consulta: 26 septiembre 2019].

36. Kuskoski, E.M., A.G. Asuero, A.M. Troncoso, J. Mancini y R. Fett. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* 25(4): 726-732.
37. Lafont, J.J., M.S. Páez y A.A. Portacio. 2011. Extracción y caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla (almendra) del marañón (*Anacardium occidentale* L). *Inf. Tecnol.* 22(1): 51-58.
38. Larrañaga, P., M.A. Osoreo. 2019. Catastro frutícola. Principales resultados. Región del Ñuble / Julio 2019 [en línea]. ODEPA, Chile. <<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/08/catastroNuble2019.pdf>>. [Consulta: 06 octubre 2019].
39. Lu, M., B. Yuan, M. Zeng and J. Chen. 2011. Antioxidant capacity and major phenolic compounds of spices commonly consumed in China. *Food Res. Int.* 44(2): 530-536.
40. Martínez-Valverde, I., M.J. Periago y G. Ros. 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Arch. Latinoam. Nutr.* 50(1): 5-18.

41. Mathias-Retting, K., K. Ah-Hen. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur* 42(2): 39-48.
42. Milošević, T., N. Milošević. 2017. Determination of size and shape features of hazelnuts using multivariate analysis. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 16(5): 49-61.
43. Ogass, K.M. 2012. Caracterización de la calidad de frutos de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) cultivar Barcelona, proveniente de plantaciones comerciales de la zona centro sur y sur de Chile, temporada 201. Tesis, Ingeniero Agrónomo. Universidad de La Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Temuco, Chile.
44. Özdemir, K.S., C. Yılmaz, G. Durmaz and V. Gökmen. 2014. Hazelnut skin powder: A new brown colored functional ingredient. *Food Res. Int.* 65: 291-297.
45. Özkan, G., M. Kiralan, E. Karacabey, G. Çalik, N. Özdemir, T. Tat, A. Bayrak and M. Fawzy. 2016. Effect of hazelnut roasting on the oil properties and stability under thermal and photooxidation. *Eur. Food Res. Technol.* 242: 2011-2019.
46. Pelvan, E., E.Öktem, A. Karadağ and C. Alasalvar. 2018. Phenolic profiles and antioxidant activity of Turkish Tombul hazelnut samples (natural, roasted, and roasted hazelnut skin). *Food Chem.* 244: 102-108.

47. Pliestic S., N. Dobricevic, D. Filipovic and Z. Gospodaric. 2006. Physical properties of filbert nut and kernel. *Biosyst. Eng.* 93(2): 173–178.
48. Portal Frutícola. 2017. ¡Nada los detiene! Avellanos europeos en Chile crecen en demanda y producción [en línea]. Portal Frutícola, Chile. <<https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/09/25/nada-los-detiene-avellanos-europeos-chile-crecen-demanda-produccion/>>. [Consulta: 12 agosto 2019].
49. Reyes, M., A. Lavín. 2014. Frutales de nuez: cinco alternativas no tradicionales para el secano interior del Maule. Boletín INIA N°301. INIA Raihuén. Cauquenes, Chile.
50. Saavedra, J. 2012. Diseño de una planta de aceite de semilla de tomate extra virgen. Proyecto de título, Ingeniero Civil Químico. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Valparaíso, Chile.
51. Saricaoglu, F.T., O. Gul, A. Besir and I. Atalar. 2018. Effect of high-pressure homogenization (HPH) on functional and rheological properties of hazelnut meal proteins obtained from hazelnut oil industry by-products. *J. Food Eng.* 233: 98-108.
52. Şenol, H. 2019. Biogas potential of hazelnut shells and hazelnut wastes in Giresun City [en línea]. *Biotechnol. Rep.* 24:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X19300748?via%3Dihub>>. [Consulta: 16 enero 2020].

53. Sirisomboon, P., M. Tanaka and T. Kojima. 2012. Evaluation of tomato textural mechanical properties. *J. Food Eng.* 111(4): 618-624.
54. Slatnar, A., M. Mikulic-Petkovsek, F. Stampar, R. Veberic and A. Solar. 2014. HPLC-MSn identification and quantification of phenolic compounds in hazelnut kernels, oil and bagasse pellets. *Food Res. Int.* 64: 783-789.
55. Tuncil, Y.E. 2020. Dietary fibre profiles of Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.) and hazelnut skin [en línea]. *Food Chem.* 316. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620301928>>. [Consulta: 16 julio 2020].
56. Turan, D., F. Altay and E. Çapanoğlu. 2015. The influence of thermal processing on emulsion properties of defatted hazelnut flour. *Food Chem.* 167: 100-106.
57. Turan, A. 2018. Effect of dry methods on nut quality of hazelnuts (*Corylus avellana* L.). *J Food Sci Technol.* 55: 1-12.
58. Uslar, M.A. 2006. Evaluación de los polinizantes azul y blanco en el cultivar Barcelona de avellano europeo (*Corylus avellana* L, Betulaceae). Tesis,

Licenciado en Agronomía. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. Valdivia, Chile.

59. Wang, W., J. Jung, R.J. McGorrin and Y. Zhao. 2018. Investigation of the mechanisms and strategies for reducing shell cracks of hazelnut (*Corylus avellana* L.) in hot-air drying. *Food Sci. Technol.* 98: 252-259.
60. Yuan, B., M. Lu, K.M. Eskridge, L.D. Isom and M.A. Hanna. 2018. Extraction, identification, and quantification of antioxidant phenolics from hazelnut (*Corylus avellana* L.) shells. *Food Chem.* 244: 7-15.

