

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS



**Características bioquímicas, nutricionales y funcionales
del fruto Calafate (*Berberis microphylla*):
Una revisión actualizada**

AFE a Tesis presentada a la Universidad de Chile para optar al Grado de Magíster en
Ciencia de los Alimentos y Memoria para optar al Título de Ingeniera en Alimentos, por:

Constanza Daniela Barrera Valencia

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Roberto Lemus Mondaca

CO-DIRECTORES DE TESIS: Dr. Kong Ah-Hen – Dr. Luis Puente Díaz

Santiago - Chile

Mayo, 2021

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INFORME DE APROBACIÓN DE AFE A TESIS DE MAGÍSTER.

Se informa a la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que la AFE a Tesis de Magíster y Memoria de Título presentada por la candidata:

Constanza Barrera Valencia

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluadora de AFE a Tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias de los Alimentos, en el examen público rendido el día

Director de Tesis:

Roberto Lemus Mondaca

Co-director de Tesis:

Kong Ah-Hen

Luis Puente Díaz

Comisión Evaluadora de Tesis:

Lilian Abugoch James

Loreto Muñoz Hernández

Mario Pérez Won

“Características químicas, nutricionales y bioactivas del Calafate (Berberis microphylla): una revisión actualizada”

I. DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, Nelson y Ana María, por haberme criado con reglas y libertades, que al final lograron formar la persona que soy hoy en día. También se lo dedico a mi hermano Sebastián por siempre creer en mí y ser un pilar fundamental en mi vida.

Finalmente, se lo dedico a mis abuelitos por siempre darme amor en todas las formas posibles.

Sé que no pudo estar físicamente conmigo en este día, pero sé que celebra y disfruta de este logro desde el cielo.

Ojito de Gato.

II. AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a mi familia por apoyarme, ayudarme, guiarme para ser una mejor versión de mí misma y por impulsarme a seguir en el camino del aprendizaje.

Gracias a Sebastián y Tobías por los consejos y por la contención emocional.

Agradecer a mi abuelita por ser incondicional conmigo y a mi abuelito que siempre me cuidó desde el cielo.

También agradecer a los profesores de la Facultad, especialmente a Luis Puente y Roberto Lemus por ser profesores muy presentes durante toda mi carrera universitaria. Gracias por su apoyo y confianza incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. DEDICATORIA	ii
II. AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Arbusto Calafate (<i>Berberis microphylla</i> G. Forst.).....	3
1.1.1 Compuestos Primarios y Secundarios en el Arbusto de Calafate	6
1.1.2 Efecto de Patógenos en el Arbusto de Calafate	8
1.1.3 Cultivo y Germinación del Arbusto de Calafate.....	8
1.2 Baya de Calafate (<i>Berberis microphylla</i>).....	12
1.3 Compuesto Fenólicos.....	13
1.3.1 Antocianinas.....	14
1.3.2 Principales antocianinas presentes en la baya de calafate.....	17
1.3.3 Estrés Oxidativo.....	21
1.3.4 Actividad Antioxidante.....	25
1.4 Encapsulación	26
1.5 Digestión <i>in vitro</i>	33
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y APORTE DE CONOCIMIENTO.....	38
3. OBJETIVOS	40
3.1 Objetivo General.....	40
3.2 Objetivos Específicos.....	40
4. METODOLOGÍA	41
4.1 Búsqueda de la Información	41
5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN.....	45
5.1 Características generales del calafate (<i>Berberis microphylla</i>).....	45
5.1.1 Información Nutricional.....	45
5.1.2 Compuestos Bioactivos relacionados con Beneficios a la Salud.....	49
5.2 Calafate y sus Efectos en la Salud	60
5.3 Encapsulación de Berries.....	67
5.4 Digestión <i>in vitro</i> de berries.....	73
6. CONCLUSIÓN.....	81
7. PERSPECTIVA PARA EL FUTURO.....	84
8. BIBLIOGRAFÍA	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Arbusto Calafate (<i>Berberis microphylla</i> G. Forst).....	4
Figura 2. Distribución de las hojas en Calafate (<i>Berberis microphylla</i>)	4
Figura 3. Estructura de: A) berberina; B) berbamina.	7
Figura 4. Evolución del crecimiento y madurez del fruto de calafate (<i>Berberis microphylla</i>).....	11
Figura 5. Fruto Calafate (<i>Berberis microphylla</i>).....	12
Figura 6. Clasificación de compuestos fitoquímicos.....	14
Figura 7. Estructura básica de las antocianidinas	15
Figura 8. Mecanismo auto-oxidación en lípidos.	22
Figura 9. Posibles interacciones de los antioxidantes en la oxidación lipídica.	23
Figura 10. Resonancia de radical fenoxilo de un antioxidante fenólico.....	24
Figura 11. Métodos de encapsulación	28
Figura 12. Diagrama del método de digestión según INFOGEST	34
Figura 13. Número de publicaciones por Fuente de Publicación.....	42
Figura 14. Número de publicaciones por País.....	42
Figura 15. Número de Publicaciones por Año.	43
Figura 16. Distribución de bayas de calafate por lo estudios recopilados (A mayor diámetro del círculo, mayor cantidad de estudios utilizaron bayas de esa localidad).	44
Figura 17. Métodos más utilizados para cuantificar y detectar antocianinas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en extractos de bayas de Calafate.	50
Figura 18. Productos elaborados a partir de calafate.....	53
Figura 19. Contenido de polifenoles en distintas localidades	58
Figura 20. Índice de recuperación (%) de compuestos fenólicos durante la digestión <i>in vitro</i>	74
Figura 21. Porcentaje de bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en berries en distintos formatos: encapsulados y liofilizados.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica	3
Tabla 2. Valores promedios de principales antocianinas identificadas en el Calafate y otros berries.	19
Tabla 3. Características de métodos físicos de encapsulación.	29
Tabla 4. Análisis proximal de la baya de calafate fresca.	49
Tabla 5. Contenido de Polifenoles y Antocianinas totales, y actividad antioxidante en extractos de Calafate (<i>Berberis microphylla</i>).	56
Tabla 6. Propiedades demostradas por extractos de la baya de calafate.	66
Tabla 7. Encapsulación de compuestos bioactivos de diferentes berries.	72

RESUMEN

En este trabajo se realizó una recopilación y análisis exhaustivo sobre la baya de calafate (*Berberis microphylla*) y de sus propiedades funcionales. Para esto, se buscó información sobre el arbusto de calafate, identificando las principales localidades de cosecha de su fruto entre la ciudad de Punta Arenas (Chile) y Neuquén (Argentina). Las características físicas y químicas de la baya dependen del lugar y temporada de cosecha, así como del estado de madurez del fruto. La baya de calafate presenta una elevada capacidad antioxidante, junto con un alto contenido de antocianinas, lo que se traduce en una buena fuente de colorantes naturales. Sin embargo, estos compuestos son muy inestables al oxígeno, luz, temperatura, pH y enzimas digestivas, por lo que la técnica de encapsulación es una eficaz alternativa para protegerlos y así poder ejercer su función en el cuerpo humano. Ha quedado demostrado tanto *in vitro* como *in vivo* los efectos beneficiosos del calafate para la salud humana como la propiedad antiinflamatoria, hipoglucémica, anticancerígena y antioxidante. No se encontraron estudios sobre encapsulación y digestión *in vitro* de calafate, por lo que se realizó una investigación sobre otros berries demostrando la eficiencia de la encapsulación en compuestos fenólicos a través de secado spray y liofilización, evidenciando un elevado índice de recuperación de compuestos fenólicos en la etapa gástrica, favoreciendo a su bioaccesibilidad y biodisponibilidad. El objetivo de este trabajo fue difundir las características químicas y nutricionales de calafate (*Berberis microphylla*), junto con sus propiedades bioactivas, para explotar este superfruto nativo chileno. Se realizó una revisión bibliográfica con un total de 102 publicaciones, considerando información publicada en los últimos 20 años.

ABSTRACT

In this work, an exhaustive compilation and analysis were carried out on the calafate berry (*Berberis microphylla*) and its functional properties. For that, information on the calafate bush was sought, identifying the main harvest locations for its fruit between the city of Punta Arenas (Chile) and Neuquén (Argentina). The physical and chemical characteristics of the berry depend on the place and harvest season, as well as the ripeness of the fruit. The calafate berry has a high antioxidant capacity, together with a high content of anthocyanins, which translates into a good source of natural colorants. However, these compounds are very unstable to oxygen, light, temperature, pH, and digestive enzymes, so the encapsulation technique is an effective alternative to protect them and thus be able to exert their function in the human body. The beneficial effects of calafate for human health such as anti-inflammatory, hypoglycemic, anti-cancer, and antioxidant properties have been shown through both *in vitro* and *in vivo* assays. No studies were found on encapsulation and *in vitro* digestion of calafate, so the investigation was carried out on other berries demonstrating the efficiency of encapsulation of phenolic compounds through spray drying and freeze-drying, which revealed a high recovery index of phenolic compounds in the gastric phase, favoring their bioaccessibility and bioavailability. The objective of this work was to disseminate the chemical and nutritional characteristics of calafate (*Berberis microphylla*), together with its bioactive properties, to exploit this native Chilean superfruit.

A bibliographic review was carried out with a total of 102 publications, considering information published in the last 20 years.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Arbusto Calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.)

La familia Berberidaceae posee alrededor de 15 géneros y 650 especies (Chamorro et al., 2019), con dos grandes centros de diversidad en ambos hemisferios: los Septentrionales de Eurasia con alrededor de 300 especies, y las Australes de Sudamérica con 200 especies, la mayoría de las cuales son andinas. Cabe destacar, que de los géneros de la familia Berberidaceae, *Berberis* es el único que se extiende en el hemisferio Sur (Dalzotto, Boeri, & Piñuel, 2019).

La **Tabla 1** presenta la clasificación taxonómica de *Berberis microphylla* G. Forst, donde se puede ver la división, que se refiere a la categoría que agrupa a los seres vivos por su mismo sistema de organización. La división se subdivide en clase por las características que tienen en común. El orden es una división de la clase, que también se basa en las características comunes de los seres vivos dentro de una misma clase. Luego, la familia es el resultado de la subdivisión del orden. Finalmente, el género agrupa a las especies relacionadas entre sí por medio de la evolución.

Tabla 1. Clasificación taxonómica (Cárdenas, 2012).

Clasificación	Nombre
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Magnoliidae
Orden	Ranunculales
Familia	Berberidaceae
Género	<i>Berberis</i>

Las especies del género *Berberis* se caracterizan por ser arbustos de hoja caduca o perenne con una altura de hasta 5 metros de altura y tallos espinosos. Son nativos de las regiones templadas y subtropicales de Europa, África, América del Norte y del Sur (Furrianca, Alvear, Zambrano, Fajardo, & Salazar, 2017). La Cordillera de los Andes, que se extiende por la Patagonia, determina en gran medida las condiciones ambientales de la región y ocasiona un contraste climático entre el este y el oeste de la misma. Las características climáticas influyen en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Dalzotto et al., 2019).

En la Patagonia chilena y argentina, el género *Berberis* está representado por 16 especies de arbustos nativos, entre los que destaca *Berberis microphylla* G. Forst. (Domínguez et al., 2017) por su amplia abundancia en la región (Furrianca et al., 2017). El nombre común de *Berberis microphylla* G. Forst. es calafate (**Figura 1**). Sus flores (**Figura 2**) son amarillas de 4 a 5 milímetros de longitud (Salinas, Acuña, Uribe, & Diaz, 2013), simples, hermafroditas (Dalzotto et al., 2019) y están compuestas por un perianto de 6 pétalos aterciopelados (Arena et al., 2018). Además, este arbusto tiene un importante valor ornamental (Radice, Alonso, & Arena, 2018). Cabe destacar que el arbusto florece desde noviembre hasta diciembre, y fructifica desde enero hasta marzo (Salinas et al., 2013).



Figura 1. Arbusto calafate (*Berberis microphylla* G. Forst).



Figura 2. Distribución de las hojas en calafate (*Berberis microphylla*) (Salinas et al., 2013).

Es frecuente encontrar en los bosques subantárticos de Chile y Argentina el arbusto de calafate que crece en terrenos abiertos a orillas de cursos de aguas y también en los bordes del bosque. Puede desarrollarse en diferentes altitudes sobre el nivel del mar (Salinas et al., 2013). El calafate crece desde Curicó hasta Tierra del Fuego en Chile (Reyes-Farias et al., 2016). Sin embargo, su mayor expresión en términos de diversidad genética y calidad de fruta se concentra entre las regiones de Aysén y de Magallanes y de La Antártica Chilena (Mc Lead, Pino, Aguila, & Ojeda, 2017). La Región de Aysén, es la región de mejores características para el desarrollo del arbusto (Valdebenito, 2012).

Su fruto, también llamado calafate (*Berberis microphylla*), es una baya de alto valor comestible, de color azul negruzco de 7- 11 mm de diámetro, que posee de 6 a 10 semillas marrones o negras, de 4-6 mm de largo (Dalzotto et al., 2019) y tienen un alto contenido en carbohidratos, fenoles y antioxidantes (Radice et al., 2018). Se recolecta entre los meses de enero a marzo. Este período depende de la zona geográfica donde se realice la recolección (Valdebenito, 2012). El rendimiento de fructificación está relacionado con la fisiología ambiental donde se desarrollan los arbustos. La radiación solar es de gran importancia debido a su papel como fuente de energía en la fotosíntesis, regulando la producción de materia seca y, en consecuencia, la producción de fruta (Arena, Pastur, Lencinas, Soler, & Bustamante, 2020). Además, la orientación, la altura y la edad del arbusto afectan significativamente a la productividad de la planta. Es decir, existe un mayor número relativo de brotes fructíferos, un aumento en el número de frutos y un peso más elevado de los frutos en el lado norte de los arbustos, seguido por las orientaciones este, oeste y sur. En un estudio, el número relativo

de frutos y el peso de los frutos fueron significativamente mayores en los brotes de 1 año que en los de 2 y 3 años (Arena, Vater, & Peri, 2003).

Además de utilizar el fruto del arbusto, también se le da uso a las hojas y corteza, esta última principalmente para el teñido de lanas (Salinas, Moya, & Gómez, 2012).

1.1.1 Compuestos Primarios y Secundarios en el Arbusto de Calafate

Los compuestos primarios comprenden los hidratos de carbono, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos. Son esenciales para el desarrollo fisiológico de las plantas y son precursores de la síntesis de metabolitos secundarios. La información entregada sobre el arbusto de calafate es un poco limitada, por lo que no se encontró información sobre los compuestos primarios presentes en él, como en las raíces, tallo, hojas y flores, pero sí se informó en la baya de calafate que se detallará más adelante.

Los metabolitos secundarios son sintetizados por las plantas de acuerdo a las condiciones ambientales entre las que se encuentren y son de importancia ecológica, ya que participan en los procesos adaptativos. Pueden actuar como atrayentes o repelentes de animales, o tener una función protectora. Se clasifican en cuatro grupos: terpenos, compuestos fenólicos, glucósidos y alcaloides o compuestos nitrogenados (Dalzotto et al., 2019).

Un estudio reciente mostró que los extractos de raíz de *B. microphylla* G. Forst. contienen importantes metabolitos secundarios bioactivos (Furrián et al., 2017).

Los taninos serían el grupo principal, por lo que su presencia apoyaría el uso tradicional de la planta en el tratamiento de diversas enfermedades (Furrián et al., 2017). Adicionalmente,

distintos autores han destacado el papel que desempeñan las saponinas y los taninos en el control y tratamiento de la hiperglucemia, que parece ser similar a los alcaloides (Furrianca et al., 2017).

Desde la antigüedad se ha utilizado *Berberis microphylla* G. Forst. en el tratamiento de ictericia, diarrea y otras dolencias (Vidal et al., 2013) por los pueblos originarios de la Patagonia por sus propiedades astringentes, antipiréticas, analgésicas, antibacterianas y antivirales (Furrianca et al., 2017). Esto se explica ya que la mayoría de las especies del género *Berberis* presentan alcaloides llamados berberina y berbamina (**Figura 3**) (Radice et al., 2018). Cabe destacar que diferentes informes destacan a *Berberis microphylla* G. Forst. como una fuente importante de compuestos alcaloides. La berberina ha sido citada como un agente tóxico para insectos y vertebrados, inhibe el crecimiento de bacterias, hongos y virus. Además, tiene importantes actividades antitumorales contra muchos tipos de células cancerosas (Radice et al., 2018).

En la actualidad, estas especies se han utilizado como medicina por sus propiedades antiinflamatorias, antibacterianas, antihipertensivas, anticancerígenas, anti-arritmicas, hipoglucémicas y hepato-protectoras (Furrianca et al., 2017).

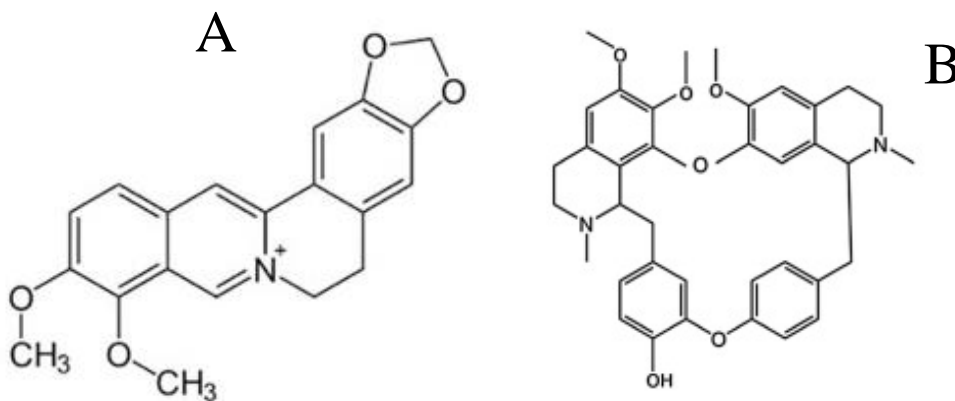


Figura 3. Estructura de: A) berberina; B) berbamina.

1.1.2 Efecto de Patógenos en el Arbusto de Calafate

Los Uredinales son conocidos como royas por la inducción de pústulas que contienen esporas con apariencia de polvillo sobre los tejidos de sus hospedantes.

Los ataques de las royas pueden dar lugar a modificaciones fisiológicas y morfológicas del hospedante. Por ejemplo, en la fotosíntesis, producen síntomas de clorosis, lesiones necróticas en las partes verdes de la planta, repercutiendo en la reducción del crecimiento y cantidades de frutos (Cárdenas, 2012).

La principal amenaza para el arbusto de calafate es la roya *Aecidium magellanicum*, un hongo parásito que ataca las hojas. Puede observarse en la cara inferior unas manchas de color amarillo, anaranjado e incluso rojizo, de las que surgen numerosas esporas que son dispersadas por el viento (Domínguez et al., 2017). También pueden atacar los tallos en ocasiones a los frutos y flores. La mayoría de las infecciones por royas son manchas locales, pero algunas pueden extenderse internamente hasta un grado más o menos limitado (Cárdenas, 2012).

Por otro lado, también es posible observar en el interior de algunos frutos, la presencia de larvas blancas que consumen los frutos por dentro (Tacón, 2017).

1.1.3 Cultivo y Germinación del Arbusto de Calafate

Hoy en día, la oferta de superberries como lo es el calafate, no alcanza a satisfacer la demanda en términos de volumen, fundamentalmente porque la fruta proviene de una recolección heterogénea, en la cual no existen protocolos de extracción, programas de manejo o de protección que impidan la sobreexplotación de estas especies (Mc Lead et al., 2017).

La oferta de fruta cada vez es más escasa, la explotación del calafate es irregular, no existe oferta formal establecida, y su cosecha es desarrollada por recolectores ocasionales dentro de los meses de enero y febrero, existiendo mucha diferencia en los volúmenes ofertados entre un año y otro (INIA, 2018), por lo que INIA ha indicado que es necesario trabajar en el manejo agronómico y de conservación en el calafate (INIA, 2017).

INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias) fue el impulsor de un programa llamado “Recuperación y explotación del calafate en la región de Magallanes” con el fin de domesticar el calafate en la zona para proyectarlo como materia prima en la industria de antioxidantes y en la elaboración de alimentos procesados (Mc Leod et al., 2017). Para ello, primero establecieron programas de manejo y protección *in situ* como el sistema de poda, fertilización, manejo fitosanitario, y establecimientos de áreas de exclusión, y también de como domesticar este cultivo a través de la implementación de plantaciones pilotos y estableciendo las bases de un programa de mejoramiento genético en especies del género *Berberis* (Mc Lead et al., 2017).

Dentro de la líneas de acción del programa se encuentra (Mc Leod et al., 2017):

- Identificar y seleccionar el material de calafate de alta producción y características de calidad industrial para pigmentos naturales y alimentos procesados.
- Estudiar la propagación, manejo, sistema de conducción y respuesta a diferentes intensidades de poda en plantas de *Berberis microphylla* G. Forst., tanto *in situ* como en plantaciones comerciales. Esto es con el objetivo de estudiar si es posible rejuvenecerlas en campo para mejorar su estado sanitario y mantener la productividad en el tiempo.

- Limpieza y propagación de plantas sanas con alto contenido de antioxidantes y buen calibre de fruto seleccionados en la región.
- Evaluar el potencial del calafate como materia prima a nivel industrial, tanto para la producción de antioxidantes como para la elaboración de alimentos procesados, ya que el calafate posee altos contenidos de antocianinas y excelentes propiedades para ser incluido en una matriz de alimentos procesados como jugos con antioxidantes.
- Establecer las bases de un programa de mejoramiento genético del calafate, con el objetivo de mejorar calibre de fruto con menor número de semillas por fruto y menor número de espinas.
- Determinar las necesidades nutricionales de la especie (Ojeda et al., 2017).

Cabe destacar que el mayor costo para establecer una hectárea de calafate, es el cosechar y enraizar estacas, las que pueden ser propagadas en un invernadero. Posteriormente viene la labor de plantación y manejo general, el cual consiste en controlar plagas y enfermedades, y realizar todos los años una poda de rejuvenecimiento, es decir, eliminar material improductivo, favoreciendo o estimulando un nuevo brote (Arribillaga, 2000).

Con respecto al modo de germinación, las aves son las encargadas de dispersar las semillas. También puede reproducirse vegetativamente mediante estolones que brotan cada cierta distancia. El fruto que no es recolectado, sirve como alimento para aves que dispersan su semilla (Tacón, 2017). Este proceso se llama endozoocoria, en el cual las aves expulsan la semilla a través de las heces, lejos de la planta madre. Las semillas del calafate deben pasar por el tracto digestivo necesariamente, para debilitar la cubierta dura de la semilla (testa) y así tener una mejor capacidad de germinación (Domínguez et al., 2017).

Luego, las flores del calafate son fecundadas por diversos insectos. El inicio y la duración del período de floración están estrechamente relacionados con el germoplasma y las condiciones climáticas. Florece en la primavera y sus frutos maduran hacia mediados del verano (Arena et al., 2018). El aumento en la humedad y fertilidad del suelo mejora la calidad y cantidad del fruto, sin embargo, debe estar asociado a una poda adecuada (Tacón, 2017). Estudios indican que el inicio de la floración ocurre a mediados de octubre y el ciclo completo se cumple en 21 días, mientras que el periodo de fructificación (**Figura 4**), puede alcanzar un máximo de 126 días. Esta variación se debe a la zona geográfica y al punto de madurez seleccionado según el destino de los frutos (Arena et al., 2018).

La **Figura 4** indica el proceso de maduración del calafate. El número 1 da cuenta del fruto pequeño verde en la primera fase de crecimiento. El número 2 se refiere al fruto mediano verde en la primera fase de crecimiento. El número 3 indica el estado del fruto grande verde en el término de la primera fase de crecimiento. El número 4 representa el fruto en la segunda fase de crecimiento rápido. El número 5 hace referencia al fruto maduro, mientras que el número 6 al fruto sobre-maduro.

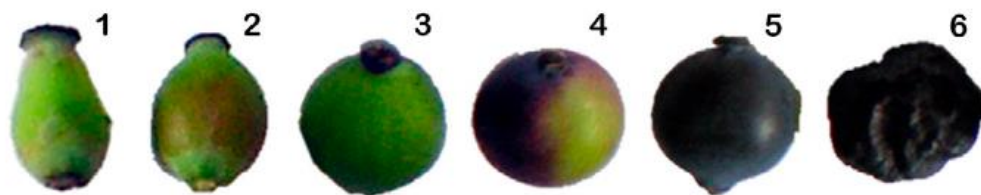


Figura 4. Evolución del crecimiento y madurez del fruto de calafate (*Berberis microphylla*) (Arena et al., 2018).

1.2 Baya de Calafate (*Berberis microphylla*)

El calafate (*Berberis microphylla*), como se puede observar en la **Figura 5**, es una baya de color azul-negrusco de 1 cm de ancho, muy rico en antocianinas y polifenoles, con propiedades funcionales (Mc Lead, Pino, Aguila, & Ojeda, 2017). Su alto contenido de antocianinas representa un alto contenido de pigmentos naturales que le confieren dicho color al fruto. Por lo mismo, es una muy buena fuente de colorantes naturales, los cuales se están empleando cada vez más en jugos y otras bebidas en reemplazo de los colorantes sintéticos que médicamente se ha comprobado que producen alergias en las personas (INIA, 2015).



Figura 5. Fruto calafate (*Berberis microphylla*) (Valdebenito, 2012).

Las antocianinas son compuestos que, además de ser colorantes naturales, se caracterizan por su alta actividad antioxidante por lo que el consumo de calafate en la dieta se ha asociado a efectos beneficiosos para la salud como propiedades antitumorales, antiinflamatorios (Pino et al., 2018).

Además, se ha demostrado que el consumo de calafate fresco previene la resistencia a la insulina y la diabetes en los seres humanos (Pinto, Mc Cleod, Ojeda, & González, 2015).

Asimismo, se ha documentado que la actividad antioxidante del fruto de esta especie en Chile, supera las de otros berries de consumo frecuente, como los arándanos (*Vaccinium corymbosum*) (Dalzotto et al., 2019), frambuesas (*Rubus idaeus* L.), frutillas (*Fragaria × ananassa*) y moras (*Rubus ulmifolius*).

Con respecto a las formas de consumir el calafate, se destaca el consumo del fruto fresco, en mermeladas, en jaleas, jarabes (Valdebenito, 2012), jugos, postres, salsas y otras preparaciones culinarias (Pinto, Mc Cleod, Ojeda, & González, 2015).

1.3 Compuestos Fenólicos

Los fitoquímicos, es decir, compuestos fenólicos, terpenoides, alcaloides y compuestos que contienen nitrógeno, pueden definirse como sustancias químicas no nutritivas que se encuentran en las plantas y que demuestran actividad biológica contra enfermedades crónicas (Fredes, Parada, Salinas, & Robert, 2020).

Los compuestos fenólicos se definen como metabolitos naturales (Vuolo, Lima, & Maróstica Junior, 2018) y han sido ampliamente estudiados por sus múltiples beneficios para la salud humana debido a su capacidad para captar los radicales libres y, en consecuencia, retrasar las enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo como la diabetes, el cáncer (de Souza, Willems, & Low, 2019), la obesidad y enfermedades cardiovasculares (Vuolo et al., 2018). Además, debido a su capacidad de eliminar los radicales libres, los compuestos fenólicos tienen el potencial de extender la vida útil de los productos alimenticios al reducir las

consecuencias de la oxidación de los lípidos en la calidad nutricional, sabor, color, olor, textura y apariencia de los alimentos (de Souza et al., 2019).

Los compuestos fenólicos son uno de los fitoquímicos más importantes que se encuentran en las bayas debido a sus contribuciones a las cualidades de la fruta, como el color y el sabor (Coklar & Akbulut, 2017). Como se puede observar en la **Figura 6**, dentro de los compuestos fenólicos, se encuentran los flavonoides, y es a este grupo que pertenecen las antocianinas. Las antocianinas, consideradas compuestos bioactivos, son pigmentos hidrosolubles vegetales naturales que son responsables de los colores que van desde el rojo al color violeta (Coklar & Akbulut, 2017).

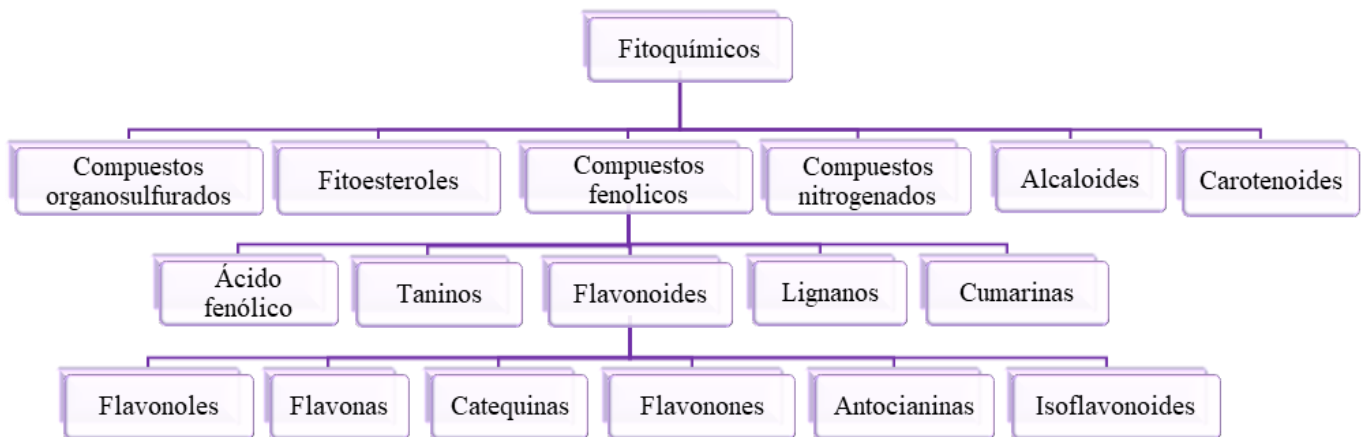


Figura 6. Clasificación de compuestos fitoquímicos (Liu, 2013).

1.3.1 Antocianinas

Químicamente, las antocianinas son compuestos fenólicos pertenecientes a la clase de los flavonoides, con dos anillos de benceno unidos por una cadena lineal de carbonos (Fredes et al., 2020).

En la naturaleza existen más de 600 antocianinas que derivan de seis antocianidinas comúnmente encontradas: cianidina, peonidina, petunidina, malvidina, pelargonidina, delphinidina.

Las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están compuestas por una molécula de antocianidina y un glicósido. Cuando el glicósido es hidrolizado de la antocianina, el resultado es la aglicona, conocida como antocianidina. Como se puede observar en la **Figura 7**, las antocianidinas comparten una estructura básica, y dependiendo del radical que tenga lugar en R1 y R2, es la antocianidina que se originará.

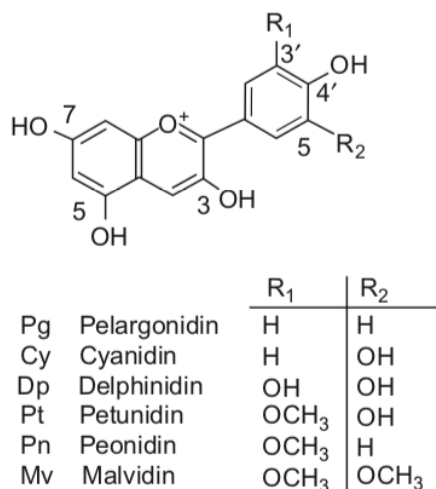


Figura 7. Estructura básica de las antocianidinas (Pomilio & Mercader, 2017).

Se ha demostrado que existen 23 antocianidinas encontradas en la naturaleza. Sin embargo, solo seis (cianidina, peonidina, petunidina, malvidina, pelargonidina, delphinidina) se encuentran comúnmente en plantas comestibles (Coklar & Akbulut, 2017). La cianidina y la peonidina son responsables de los colores rojo y anaranjado en las plantas, mientras que la malvidina, la delphinidina y la petunidina producen colores rojo-azules (Coklar & Akbulut, 2017). Por lo tanto, los niveles de antocianinas en los frutos son responsables de la diferencia

en la intensidad de color en el fruto (Ramirez, Zambrano, Sepúlveda, Kennelly, & Simirgiotis, 2015).

Con respecto a las antocianidinas principales que se encuentran en el calafate, Reyes-Farías et al., (2016) indican que son delfinidina y petunidina. La combinación de las antocianinas determinan las propiedades que tendrá el fruto (Reyes-Farias et al., 2015), como por ejemplo, la propiedad antiinflamatoria, antioxidante y antidiabética (Reyes-Farias et al., 2016). Cabe destacar que los efectos beneficiosos de las antocianinas en la salud, como sus efectos antiinflamatorios, antioxidantes (Garcia-Diaz, Jimenez, Reyes-Farias, Soto-Covasich, & Costa, 2019) y anticancerígenos, se han informado tanto en estudios *in vivo* como *in vitro* (Kim, Moon, Hur, & Lee, 2020).

Cabe mencionar que las variaciones en la estructura de las antocianinas, son responsables de los diferentes colores que otorgará a la fruta, lo que contribuirá a las variaciones en la actividad antioxidante (Coklar & Akbulut, 2017), que podrán eliminar las especies reactivas de oxígeno como oxígeno singlete, superóxido y peróxido de hidrógeno (Huang & Zhou, 2019).

La estructura y el color de las antocianinas, cambian de manera reversible con el cambio de pH (Koh, Xu, & Wicker, 2020). Además, condiciones de estrés como la luz, temperatura, oxígeno y pH causan la degradación de las antocianinas.

Asimismo, se han realizado varios estudios sobre la encapsulación y el aumento de la estabilidad de las antocianinas en arándanos, granada, zanahoria negra, berenjena y pétalos de azafrán. Por lo tanto, la encapsulación podría ser una estrategia efectiva y práctica para

mejorar la estabilidad y la bioaccesibilidad de las antocianinas (Mehran, Masoum, & Memarzadeh, 2020).

En ese sentido, se ha demostrado que berries nativos chilenos como el maqui (*Aristotelia chilensis*) y el calafate (*Berberis microphylla*) contienen un alto contenido de antocianinas (Reyes-Farias et al., 2016), compuestos fenólicos y una elevada capacidad antioxidante (Mariangel et al., 2013).

1.3.2 Principales antocianinas presentes en la baya de calafate

Distintos autores han identificado las principales antocianinas presentes en la baya de calafate mediante HPLC y espectroscopia de masa, junto a otros berries.

En el calafate se han encontrado 14 antocianinas distintas, que son derivados glicosilados de delfinidina, petunidina, peonidina, cianidina y malvidina (Ramirez et al., 2015). Calderón-Reyes et al., (2020) sugiere que la diversidad de las antocianinas presentes en el calafate, es el factor responsable de la alta capacidad antioxidante. Por otro lado, se ha informado que la alta capacidad antioxidante se debe principalmente a la delfinidina por su estructura química (Lazze et al., 2004).







La **Tabla 2**, muestra las principales antocianinas presentes en la baya de calafate junto a otros berries, evidenciando que la mayoría de las bayas contienen petunidina-3-glucósido y malvidina-3-glucósido, y que arándano, calafate, calafatillo, maqui y murta presentan delfinidina-3-glucósido. Este último compuesto se ha señalado como el responsable de la actividad antioxidante debido a su estructura.

Calderón-Reyes et al., (2020) obtuvo que la antocianina presente en mayor proporción en extractos de calafate fue delfinidina, seguido de malvidina, petunidina, cianidina y finalmente peonidina, con bajas concentraciones. Esto concuerda con lo expuesto por Ruiz et al., (2013), que observó un predominio de antocianinas basadas en delfinidina y petunidina, siendo delfinidin-3-glucósido el compuesto dominante. Por otro lado, Brito et al., (2014) obtuvo como principal antocianina delfinidina-3-galactósido, seguido de petunidina-3-glucósido y malvidina-3-glucósido. Boeri et al., (2020) indicó que el 57% del contenido total de antocianinas pertenece a delfinidina-3-glucósido, siendo la antocianina principal en la baya. Según Brito et al., (2014), el calafate presenta una mayor cantidad de antocianinas que el arándano, arrayán, murta y chequén, en cuanto a las principales antocianinas cuantificadas mediante HPLC-DAD.

Las diferencias entre las antocianinas están relacionadas con el número de grupos hidroxilo, la naturaleza y el número de azúcares y la posición de estas uniones (Lazze et al., 2004). Lazze et al., (2004) estudió el efecto de las antocianinas delfinidina y cianidina en células cancerígenas, concluyendo que la delfinidina tiene una actividad biológica más efectiva que la cianidina debido a sus grupos hidroxilos en su anillo (**Figura 7**).

La variación en la cantidad de antocianinas en las bayas, explica las diferentes capacidades antioxidantes que presenten (Ramirez et al., 2015). Cabe destacar que las propiedades antioxidantes de las antocianinas se han demostrado tanto *in vitro* como *in vivo* y se ha sugerido que las antocianinas muestran efectos inhibidores sobre el crecimiento de algunas células cancerosas (Lazze et al., 2004).

Tabla 2. Valores promedios de principales antocianinas identificadas en el calafate y otros berries.

Baya	Antocianinas (mg/100g peso fresco)					Referencia
	Delfinidina-3-glucósido	Petunidina-3-glucósido	Malvidina-3-glucósido	Cianidina-3-glucósido	Peonidina-3-glucósido	
Arándano 	18,0 ± 0,1	9,3 ± 2,2	16,4 ± 1,4	0,9 ± 0,1	(-)	(Brito et al., 2014; Correa-Betanzo et al., 2014; Ramirez et al., 2015; Reyes-Farias et al., 2015)
Arrayán 	(-)	48,2 ± 2,2	44,7 ± 3,3	9,4 ± 0,1	N.C	(Brito, Areche, Sepúlveda, Kennelly, & Simirgiotis, 2014; Ramirez et al., 2015)
Calafate 	384,2 ± 2,8	267 ± 0,6	150,5 ± 1,3	43,8 ± 1,6	38,9 ± 0,0	(Boeri et al., 2020; Brito et al., 2014; Chamorro., et al 2019 Fredes et al., 2020; Ramirez et al., 2015; Reyes-Farias et al., 2015; Ruiz et al., 2013)
Calafatillo 	243,9 ± 0,4	156,1 ± 0,6	132,9 ± 0,7	88,7 ± 0,2	(-)	(Ruiz et al., 2013)
Maqui 	745 ± 0,1	(-)	(-)	192 ± 0,1	(-)	(Lucas-Gonzalez et al., 2016; Viuda-Martos et al., 2018)
Murta 	N.C	N.C	N.C	3,4 ± 1,2	24,5 ± 2,4	(Brito et al., 2014; Fredes et al., 2020; García et al., 2019; Ramirez et al., 2015)

*N.C: No se cuantificó el valor, pero se identificó; (-): No se informó la presencia de dicha antocianina en la baya.

En cuanto a la cuantificación de las principales antocianinas encontradas en el calafate, Chamorro et al., (2019) determinó que delfinidina-3-glucósido es la antocianina más abundante en la baya. Los resultados mostraron un variación en los valores de acuerdo a la localidad de recolección del fruto (78,6 mg/100g peso fresco – 621,7 mg/100g peso fresco). Además, Calfío et al., (2019) obtuvo 404 mg/100g peso fresco, y Ruiz et al., (2013) 426,4 mg/100g peso fresco, encontrándose en el rango de otros autores. Por otro lado, la cuantificación de petunidina-3-glucósido varió desde 51,4 mg/100g peso fresco (Brito et al., 2014) hasta 381 mg/100g peso fresco (Calfío., 2019). Con respecto a la malvidina-3-glucósido se encontraron valores registrados desde 11,5 mg/100g peso fresco a 247 mg/100g peso fresco (Boeri et al., 2020; Brito et al., 2014; Calfío & Huidobro-Toro, 2019; Chamorro et al., 2019; Ruiz et al., 2013). En el caso de cianidina-3-glucósido, se encontraron valores desde 1,2 mg/100g peso seco (Chamorro et al., 2019) hasta 92,1 mg/100g peso seco fresco (Calfío., 2019). Finalmente, los valores de peonidina-3-glucósido se encuentran entre 3,96 mg/100g peso fresco (Brito et al., 2014) y 69 mg/100g peso fresco (Boeri et al., 2020). Cabe mencionar que las diferencias entre los valores de cada antocianina se pueden deber a factores ambientales y genéticos.

Viuda-Martos et al., (2018) indicó que el maqui presentaba 745 mg/100 mg peso fresco de delfinidina-3-glucósido. Ruiz et al., (2013) determinó que en el calafate y en el calafatillo se encontraba en mayor proporción delfinidina-3-glucósido (384,2 mg/100g peso fresco; 243,9 mg/100g peso fresco respectivamente), seguido de petunidina-3-glucósido (267,1 mg/100g peso fresco; 156,1 mg/100g peso fresco respectivamente), malvidina-3-glucósido (150,3 mg/100g peso fresco; 132,9 mg/100g peso fresco respectivamente) y cianidina-3-glucósido

(43,8 mg/100g peso fresco; 88,7 mg/100g peso fresco respectivamente). Es importante destacar que los valores de las antocianinas mencionadas son similares para ambas bayas.

Por otro lado, Brito et al., (2014) comparó la cantidad de las principales antocianinas detectadas en calafate, murta y arándano, observándose valores semejantes de petunidina-3-galactósido entre calafate y murta, y superiores al arándano (6,45 mg/100g de peso fresco; 4,87 mg/100g de peso fresco; 1,87 mg/100g de peso fresco respectivamente). Con respecto a los valores de petunidina-3-glucósido fueron consistentemente mayores en el calafate que en el arándano (51,39 mg/100g de peso fresco; 9,27 mg/100g de peso fresco respectivamente). Para el caso de la peonidina-3-glucósido, no se detectó en la baya de arándano, pero si se logró identificar y cuantificar en calafate y murta (3,96 mg/100g de peso fresco; 61,48 mg/100g de peso fresco respectivamente), obteniendo un elevado valor en murta. De hecho, dicha antocianinas es la que se encuentra en mayor proporción en esta baya. De acuerdo con Brito et al., (2014), en el calafate predomina la delfinidina-3-galactósido, sin embargo, este compuesto no se detectó en la baya de murta en su estudio.

1.3.3 Estrés Oxidativo

En cuanto al estrés oxidativo, aparece cuando las defensas del sistema antioxidante natural (enzimático y no enzimático) se ven abrumadas por una generación excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS) o pro-oxidantes, lo que daña las macromoléculas celulares y extracelulares.

El poder antioxidante de los compuestos fenólicos está relacionado con sus propiedades reductoras como agentes donadores de hidrógeno o electrones, que da cuenta de su potencial

de acción como captadores de radicales libres (antioxidantes). Asimismo, tienen la capacidad de quelar metales, particularmente hierro y cobre, eliminando la formación de radicales libres catalizados por metales. El número de grupos hidroxilo y su posición en relación con el grupo funcional carboxilo influye en la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos (Vuolo et al., 2018).

A modo de ejemplificar el mecanismo de oxidación, la **Figura 8** muestra las reacciones de auto-oxidación que tiene lugar en los lípidos. La primera reacción corresponde a la etapa de iniciación, donde el hidrógeno se separa del lípido insaturado para generar un radical lipídico. Este radical es altamente reactivo, que al reaccionar con oxígeno, produce un radical peroxilo. Así, este radical reacciona con otra molécula de lípido insaturada para formar un hidroperóxido y un radical lipídico. Los hidroperóxidos son inestables y pueden dar origen a radicales que aceleran la etapa de propagación. Estas reacciones en cadena proceden hasta que dos radicales se combinen para formar un producto no radicalario. La degradación de los hidroperóxidos puede generar nuevas moléculas que tienen olores y sabores desagradables, asociada a la rancidez oxidativa de lípidos insaturados. Tales cambios sensoriales son notados cuando la oxidación de los lípidos ha avanzado hasta etapas avanzadas.

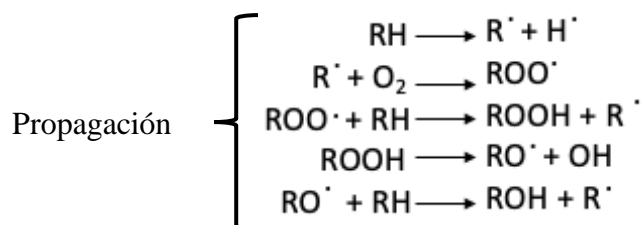


Figura 8. Mecanismo auto-oxidación en lípidos.

La mayoría de los antioxidantes primarios son fenoles mono y poli-hidroxilados. El radical antioxidante que se forma es estabilizado por deslocalización del electrón desapareado alrededor del anillo fenólico para formar un híbrido estabilizado por resonancia tal como lo muestra la **Figura 10**.

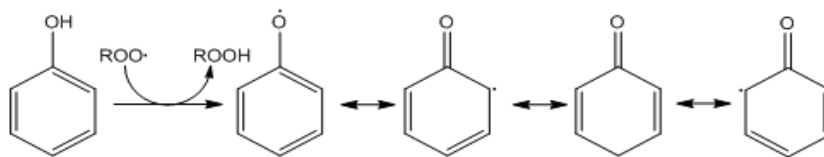


Figura 10. Resonancia de radical fenoxilo de un antioxidante fenólico.

Se ha estimado que el 2% del oxígeno consumido por un organismo normal contribuye a la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), de las cuales varias son radicales libres. Cuando la generación de ROS supera las defensas antioxidantes del organismo, independientemente del mecanismo (radiación ultravioleta, contaminación ambiental, actividad física intensa, u otros), las estructuras biológicas sufren daños provocados por lesiones químicas en un proceso de estrés oxidativo que interviene en el desarrollo de patologías degenerativas (Vidal et al., 2013).

Debido a su capacidad de eliminar los radicales libres, los compuestos fenólicos tienen el potencial de extender la vida útil de los productos alimenticios al reducir las consecuencias de la oxidación de los lípidos en la calidad nutricional, sabor, color, olor, textura y apariencia de los alimentos (de Souza et al., 2019). Los compuestos fenólicos son uno de los fitoquímicos más importantes que se encuentran en las bayas debido a sus contribuciones a las cualidades de la fruta, como el color y el sabor (Coklar & Akbulut, 2017). Cabe destacar

que en los géneros *Berberis* los polifenoles se encuentran en la pulpa de la baya (Ruiz et al., 2013).

1.3.4 Actividad Antioxidante

Las capacidades de los compuestos fenólicos para eliminar los radicales libres se pueden evaluar para una variedad de ensayos. Se pueden dividir en categorías en las que se evalúa una única reacción de transferencia de electrones o una reacción de transferencia de átomos de hidrógeno. La mayoría de los ensayos que se han utilizado para evaluar el potencial antioxidante de los compuestos fenólicos se basan en una reacción de transferencia de electrón o de un átomo de hidrogeno.

Con respecto a la transferencia del electrón, son reacciones del tipo Redox que presenta variaciones de color que está correlacionado con la concentración del antioxidante en la muestra. Los ensayos utilizados son el ensayo de reducción de cobre (CUPRAC), el ensayo de capacidad antioxidante equivalente Trolox (ABTS o TEAC), el ensayo de capacidad de reducción férrica del plasma (FRAP) y el ensayo de capacidad de captación de radicales 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH).

Por otra parte, los ensayos que utilizan la reacción de transferencia de átomos de hidrogeno están basados sobre la competencia termodinámica entre el sustrato y el antioxidante por el radical peróxido. Estos ensayos son el ensayo de capacidad de absorbanza de radicales de oxígeno (ORAC), capacidad de eliminación de peroxilos (PSC) y el ensayo del parámetro de antioxidante atrapador de radicales peroxil (TRAP).

Dichos ensayos tienen algunas limitaciones con respecto a las diferencias en el radical utilizado o incluso en el uso de radicales que no se encuentran en el cuerpo humano. Además, a menudo los efectos antioxidantes observados en los ensayos *in vitro* no corresponden cuando están *in vivo* (Vuolo et al., 2018).

El método CUPRAC se realiza en condiciones similares a las de un ser vivo (pH: 7 y a 37°C) por lo que es bastante realista. Los ensayos que ocupan el radical ABTS, se utilizan para evaluar la capacidad antioxidante total de los fluidos corporales y fármacos. El método FRAP se realiza bajo condiciones ácidas poco realistas (pH: 3,6) y es apto para evaluar la actividad antioxidante de los alimentos vegetales. El ensayo con DPPH es utilizado para determinar el poder antioxidante de compuestos fenólicos y alimentos vegetales. Finalmente, el método ORAC utiliza radicales peroxilo, una especie de oxígeno reactivo. Es la más abundante en el cuerpo humano, siendo la molécula responsable del daño oxidativo. De esta forma, ORAC es uno de los métodos mas realistas (Vuolo et al., 2018).

1.4 Encapsulación

La encapsulación es una técnica para contener materiales, como colorantes naturales. La encapsulación puede proteger los materiales sensibles de la humedad, el calor, la luz y/o la oxidación (Mahdavee, Jafari, Ghorbani, & Hemmati, 2014) lo que contribuye a un aumento en la vida útil del producto y promueve una liberación controlada del suministro de agente bioactivo (Akhavan, Jafari, Assadpoor, & Dehnad, 2016). Además, la encapsulación tiene una importancia vital para mejorar la biodisponibilidad y la estabilidad de los productos (Tolun, Altintas, & Artik, 2016).

Para la preparación de las cápsulas existen distintos métodos y su selección para encapsular depende de los costos, el tamaño deseado de la cápsula, las propiedades físicas y químicas del agente encapsulante, la aplicación y el mecanismo de liberación deseado.

La **Figura 11** indica los métodos más utilizados de encapsulación: métodos químicos y métodos físicos. Estos últimos métodos se muestran en la **Tabla 3**, donde se especifica los compuestos que se puede encapsular, sus ventajas y desventajas. El secado spray es el método más común para encapsular debido a sus múltiples ventajas. Sin embargo, parte del compuesto activo puede quedar en la superficie de la cápsula, al igual que el secado por enfriamiento. Para esto, se puede utilizar el método de cobertura por lecho fluidizado para recubrir el compuesto activo que haya quedado expuesto, y así, se cubre completamente. La extrusión se refiere a la encapsulación de sabores volátiles en matrices de carbohidratos como el jarabe de maíz o almidón modificado (Parra, 2011). Finalmente, la liofilización es un método en el cual se logra una mejor retención de compuestos bioactivos, especialmente en componentes sensibles al calor como las antocianinas, pero el tiempo del proceso es largo, lo que se traduce en mayores costos de energía.

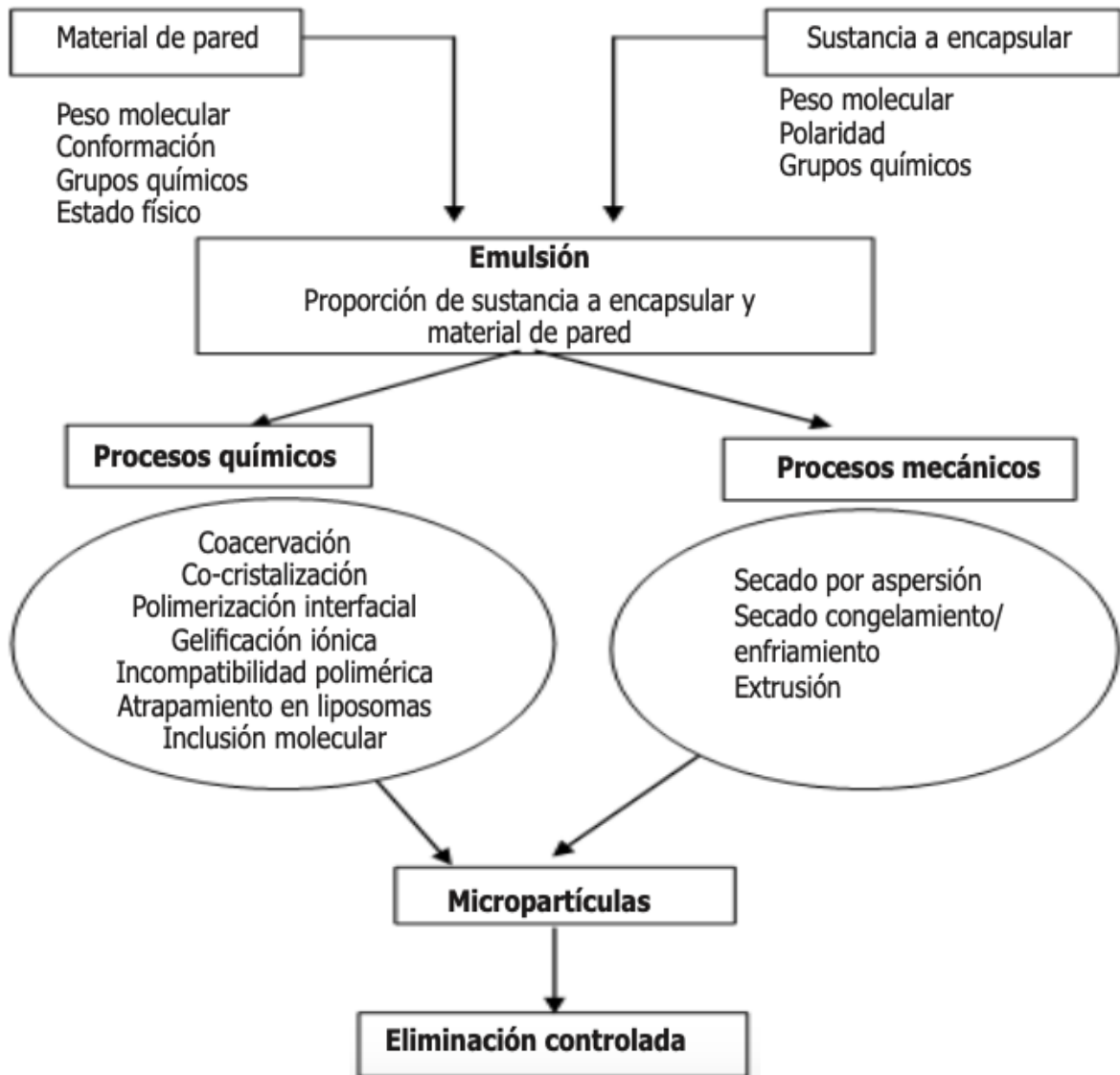


Figura 11. Métodos de encapsulación (Parra, 2011).

Tabla 3. Características de métodos físicos de encapsulación.

Método encapsulación	Compuestos/productos en lo que se utiliza	Ventajas	Desventajas	Referencias
Secado Spray	Materiales hidrosolubles, aceites de pescado, pigmentos naturales y concentrado de células prebióticas.	Fácil disponibilidad de equipos, costos de procesamiento bajo, buena estabilidad del producto final, proporciona una eficiencia de encapsulación relativamente alta y buena retención de volátiles.	Compuesto activo puede quedar en la superficie del material encapsulaste.	(Parra, 2011)
Secado por enfriamiento	Compuestos activos cubiertos por lípidos.	Mejora la estabilidad térmica.	Compuesto activo queda en la superficie de la cápsula.	(Noshirvani 2014)
Cobertura por lecho fluidizado	Recubrir sólidos.	Se puede utilizar material de pared en solución acuosa o en lípidos fundidos.	El método utiliza altas temperaturas.	(Noshirvani 2014)
Extrusión	Es el segundo método más utilizado luego del secado spray para la encapsulación de sabores volátiles.	Producto muy estable durante el almacenamiento.	Selección limitada del material de pared y difícil de producir a gran escala por lenta formación de micro-cápsulas.	(Pérez-leonard, Bueno-garcía, & Brizuela-herrada, 2013)
Liofilización	Utilizado para compuesto sensibles al calor.	Logra una mejor retención de compuestos bioactivos.	Largos tiempos de proceso.	(Busso Casati, Baeza, & Sánchez, 2019).

Por otro lado, se han utilizado diferentes tipos de materiales de pared para la encapsulación, incluidos los polisacáridos (almidones, maltodextrinas, jarabes de maíz y goma arábiga), lípidos (ácido esteárico, mono y diglicéridos) y proteínas (gelatina, caseína, suero de leche, soja y trigo). El uso de diferentes agentes de recubrimiento puede dar lugar a diferentes propiedades fisicoquímicas (Akhavan et al., 2016) como la actividad del agua, el contenido de humedad, la vida útil y la higroscopicidad (Pieczykolan & Kurek, 2019). Estos parámetros dependen de la estructura y las características de cada material de recubrimiento (Akhavan et al., 2016).

Las antocianinas son colorantes hidrofílicos y específicamente compatibles con una formulación de gel a base de agua como goma, o maltodextrina y almidones como moléculas de recubrimiento para matrices sólidas polares (Akhavan Mahdavi et al., 2016).

La maltodextrina es un almidón hidrolizado producido por hidrólisis parcial de almidón con ácido o enzimas (De Barros Fernandes, Vilela Borges, & Alvarenga Botrel, 2014). Dependiendo del grado de hidrólisis, se obtienen maltodextrinas con diferentes pesos moleculares. Las maltodextrinas con grados de equivalencia de dextrosa (DE) entre 10 y 20 se utilizan con mayor frecuencia en la encapsulación de antocianinas. Sin embargo, varios estudios demuestran que el uso de una combinación de maltodextrina e hidrocoloide aumenta la eficiencia del proceso (Pieczykolan & Kurek, 2019).

Se usan comúnmente como material de pared por su alta solubilidad en agua, baja viscosidad, bajo contenido de azúcar y sus soluciones son incoloras (Akhavan et al., 2016). Otras ventajas que ofrece son el costo relativamente bajo, aroma y sabor neutros, y buena protección de sabores contra la oxidación. Sin embargo, la mayor limitación de este material de pared es

su baja capacidad emulsionante y la retención marginal de los volátiles, por lo que generalmente se usa en mezclas con otros materiales de pared (De Barros Fernandes et al., 2014). Estas propiedades convierten a las maltodextrinas en los materiales de pared más utilizados en la encapsulación (Akhavan et al., 2016).

La inulina, que pertenece al grupo de los fructanos (Pacheco, González, Robert, & Parada, 2018), está compuesta de unidades de fructosa con enlaces β glucosídicos al final de la cadena (De Barros Fernandes et al., 2014). Los ejemplos de aplicaciones incluyen como edulcorante bajo en calorías, como sustancia que proporciona dispersión sólida para aumentar la velocidad de disolución, como agente para formar geles y aumentar la viscosidad de las soluciones, y como fibra no digerible (Silva, Zabot, Bargas, & Meireles, 2016).

Para determinar el potencial de los materiales de pared para encapsular o retener el material del núcleo dentro de la cápsula existe la eficiencia de encapsulación, que es un indicador importante para las partículas encapsuladas (Akhavan Mahdavi et al., 2016). La eficiencia de encapsulación (y la cinética de liberación) dependerá de la adecuada mezcla y dispersión del agente encapsulante dentro de la matriz (Zuidam & Nedovic, 2010).

La encapsulación es una tecnología viable para la protección de compuestos fenólicos durante el almacenamiento y el paso gastrointestinal, permitiendo su liberación en sitios específicos del tracto gastrointestinal donde se pretende su absorción o acción (González et al., 2020).

González et al., (2020) sugieren que las interacciones de polisacárido-polifenol dificultan la degradación microbiana de oleuropeína durante la digestión del colon, lo que se traduce en

un efecto protector. Takahama & Hirota, (2018) informaron que, por interacciones no covalentes, complejos de almidón-flavonoide resistieron a la digestión. González et al. (2019) demostraron que la encapsulación de extracto de hojas de olivo con oleuropeína protegido con alginato de sodio en condiciones gástricas, permitió su liberación controlada en condiciones intestinales, junto con una mayor bioaccesibilidad y biodisponibilidad potencial, en comparación con el extracto de hojas de olivo no encapsulado (González et al., 2019).

Los biopolímeros utilizados como agentes de encapsulación pueden influir significativamente tanto en la bioaccesibilidad como en la biodisponibilidad de los polifenoles (González et al., 2020).

En cuanto a la maltodextrina en las condiciones de digestión *in vitro*, es un polímero digerible y los compuestos bioactivos encapsulados pueden liberarse rápidamente durante la digestión, dejándolos expuestos a las condiciones gastrointestinales (González et al., 2020). Con respecto a la inulina es moderadamente soluble en agua, sus enlaces β -1,4-glicosídicos hacen que no sea digerible por los humanos, en contraste con la maltodextrina, pero en gran medida por ciertos microorganismos en el intestino, ya que se ha informado que la inulina es un biopolímero de liberación de colon debido a que puede pasar relativamente intacto a través de la parte superior del tracto gastrointestinal, llegando al colon donde se pueden liberar los compuestos bioactivos (González et al., 2020).

1.5 Digestión *in vitro*

Cuando se pretende evaluar la digestión de los alimentos, las metodologías disponibles incluyen procedimientos de digestión *in vitro* (Calvo-Lerma, Fornés-Ferrer, Heredia, & Andrés, 2019) debido a que el proceso digestivo de un ser humano o animal es técnicamente difícil, costoso y éticamente limitado (Yuan et al., 2019). La digestión simulada artificial es un medio eficaz para explorar y comprender los cambios, las interacciones, así como la bioaccesibilidad de nutrientes y medicamentos mediante la simulación de las condiciones fisiológicas. La digestión se ve afectada por la microbiota intestinal y la acumulación excesiva de metabolitos. A pesar de estas limitaciones, algunos estudios concluyeron que es útil para predecir la digestión *in vivo* (Yuan et al., 2019).

En un principio, existía una variedad de condiciones experimentales que no eran del todo adecuadas para digerir los alimentos debido a la complejidad y variabilidad de las estructuras de los alimentos. Esto resultó en el uso de una gran cantidad de métodos de digestión, con ligeras pero importantes variaciones en parámetros tales como pH, tiempo, concentración y actividad enzimática, y composición de fluidos digestivos simulados. Esto llevó a realizar una armonización de las condiciones de digestión. Uno de los principales resultados fue un consenso internacional sobre un conjunto de parámetros de digestión para una simulación estática *in vitro* de la digestión de adultos adecuada para alimentos. El método, generalmente denominado método INFOGEST (**Figura 12**) (Brodkorb et al., 2019).

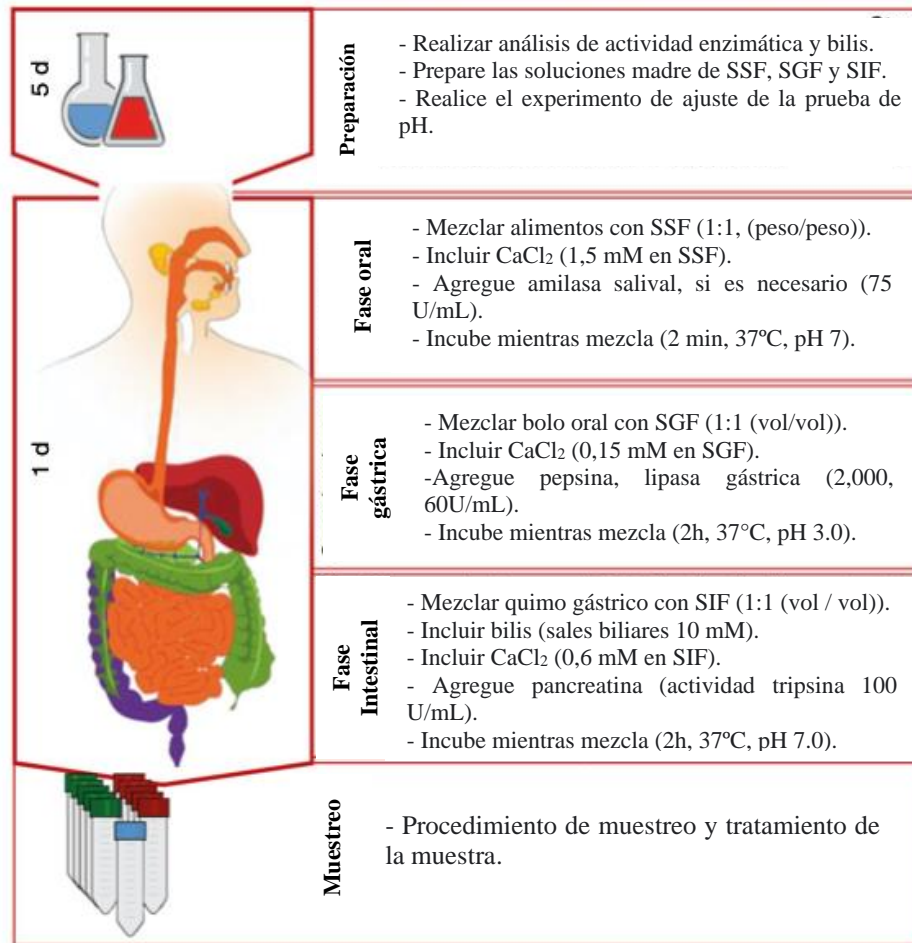


Figura 12. Diagrama del método de digestión según INFOGEST (Brodkorb et al., 2019).

Los métodos de digestión *in vitro* son una metodología alternativa a los estudios *in vivo* y se ha demostrado su eficacia para determinar la estabilidad de los fitoquímicos en condiciones gastrointestinales (Pinto et al., 2017). Este método es simple, económico y reproducible (da Silva Fernandes et al., 2017). La digestión *in vitro* es un modelo muy realista para evaluar las actividades biológicas de las muestras y se ha utilizado ampliamente en el estudio de los cambios estructurales, la eficiencia de la liberación, la digestibilidad y la biodisponibilidad de los nutrientes de los alimentos (Qin et al., 2018).

Los métodos de digestión *in vitro* pueden imitar la digestión fisiológica *in vivo* teniendo en cuenta las enzimas digestivas, el pH, el tiempo de digestión y la concentración de sales de los fluidos digestivos (Calvo-Lerma et al., 2019). Aunque los sistemas *in vitro* se ven obstaculizados por su incapacidad para reproducir efectivamente la complejidad del tracto gastrointestinal, estos modelos se han utilizado cada vez más para estudiar los cambios en los componentes de la dieta durante la digestión (Pinto et al., 2017) y en la actividad antioxidante de los compuestos bioactivos después de la digestión (Yuan et al., 2019). A pesar de sus limitaciones, los resultados obtenidos por modelos *in vitro* pueden correlacionarse generalmente con los de estudio en humanos y modelos animales (Pinto et al., 2017).

Durante la digestión gastrointestinal, los compuestos bioactivos pueden sufrir alteraciones (da Silva Fernandes et al., 2017). La digestión se utiliza para la digestión y absorción de compuestos activos. Estos compuestos pueden degradarse por tratamiento con pH bajo y enzimas digestivas, seguido de absorción en el epitelio intestinal (Yuan et al., 2019). En particular, la estructura de las antocianinas se puede ver afectada por diversos factores como el pH, la temperatura y la microbiota intestinal en el colon (Kim et al., 2020). Ha quedado demostrado que las antocianinas son menos estables al pH elevado del intestino delgado que al pH estomacal (McDougall, Fyffe, Dobson, & Stewart, 2007). Se informó que la tasa de degradación de las antocianinas es mayor a un pH de 6.0 que a un pH de 2.2 (Kim et al., 2020).

Los compuestos fenólicos deben estar biodisponibles para ejercer su función sistémica, y la biodisponibilidad requiere de su digestión, absorción y metabolismo. Los compuestos

fenólicos, incluidas las antocianinas, pueden ser absorbidos por el intestino delgado. Es importante destacar que las antocianidinas pueden ser absorbidas por el estómago y alcanzar la circulación sistémica como glucósidos (Iglesias-Carres et al., 2019). Además, no todos los compuestos fenólicos y antioxidantes ingeridos son absorbidos en el estómago y el intestino delgado. Algunos, pasarán al intestino grueso, donde sus estructuras pueden modificarse debido a la microbiota intestinal y conducir a la producción de algunos metabolitos activos específicos (Zheng et al., 2018).

Por ejemplo, es poco probable que las pro-antocianidinas de alto peso molecular se absorban en el intestino delgado, en su lugar, llegarán al colon. Cuando estos compuestos fenólicos no absorbidos llegan al intestino, la microbiota puede hidrolizarlos. De hecho, los estudios *in vitro* muestran que la biodisponibilidad de polifenoles del colon se ve afectada por la digestión gastrointestinal (Iglesias-Carres et al., 2019).

La bioaccesibilidad se puede medir mediante la simulación *in vitro* de las etapas de digestión en el tracto gastrointestinal, utilizando tratamientos sucesivos con enzimas que están presentes en cada paso de digestión, más las condiciones de temperatura y pH adecuadas.

La bioaccesibilidad de nutrientes, se define como la cantidad de compuesto liberado de la matriz después de la digestión y disponible para la absorción (Pacheco et al., 2018).

Respecto a la liberación de los compuestos bioactivos desde la matriz en el tracto gastrointestinal, existen varias etapas por las que debe atravesar el alimento luego de ser ingerido, las que pueden afectar en mayor o menor proporción las propiedades de los compuestos bioactivos, principalmente en el caso de las antocianinas, ya que el pH es uno de los factores que más afecta a su estabilidad.

Un estudio *in vivo* ha informado que las antocianinas se metabolizan a antocianidinas mediante la eliminación de azúcares en el intestino, seguido de la degradación a compuestos más pequeños. Un estudio *in vitro* ha revelado que la microbiota intestinal en el colon metaboliza las antocianinas cianidina-3-O-glucósido, delphinidina-3-O-glucósido y malvidina-3-O-glucósido en ácidos fenólicos como el ácido protocatepúico, ácido gálico y ácido siríngico (Kim et al., 2020).

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y APORTE DE CONOCIMIENTO

Chile cuenta con una gran variedad de berries nativos como el maqui y arándano que son considerados como una rica fuente de compuestos fenólicos lo cuales presentan propiedades bioactivas influyendo de forma positiva en la salud humana. Otro de esos frutos es el Calafate (*Berberis microphylla*), una baya que contiene una alta cantidad de antocianinas, compuesto encargado del color en las frutas, por lo que el fruto tiene una doble función: sirve como colorante natural y como antioxidante.

Se estima que la cosecha anual de calafate fluctúa entre 20.000 a 30.000 kg/añual (Arribillaga, 2000), pero la cantidad mínima de fruta para justificar su procesamiento y poder comercializarla es de 100.000 kg de fruta fresca al año.

El mercado de las “superfrutas” y/o “superberries” a nivel mundial aumentaría desde los US\$38 mil millones en 2015 a US\$70 mil millones en 2026, con una tasa de crecimiento anual proyectada cercana al 6%. Este aumento en la demanda se puede explicar por el crecimiento sostenido de la demanda por antioxidantes, el aumento del ingreso per cápita y una mayor valorización del consumidor respecto a los atributos nutricionales de las “superfrutas” (Mc Leod & Pino, n.d.).

Es claro que existe una tendencia a mejorar los hábitos alimenticios y que cada vez los consumidores están mostrando una mayor preferencia por productos alimenticios naturales,

principalmente por los problemas de salud que han sido asociados con aditivos e ingredientes artificiales en alimentos procesados (Mc Leod & Pino, n.d.).

Existe mayor conciencia y preocupación por parte de las personas en conocer los alimentos que consumen diariamente. De hecho, existe una tendencia mundial por parte de la industria alimentaria en reemplazar los colorantes sintéticos por pigmentos naturales en la coloración de sus productos. En efecto, el mercado de los pigmentos naturales está creciendo a una tasa del 10-15% anual (INIA, 2017).

Sin embargo, la información existente sobre el calafate es dispersa, desde lo agronómico hasta conceptos biomédicos, por lo que realizar una recopilación analítica, estructurada y actualizada desde diferentes fuentes de información, principalmente desde artículos científicos publicados en revistas de corriente principal, informes técnicos de centros gubernamentales, y/o artículos de revistas y periódicos, debiese ser un aporte tanto para la comunidad científica, como para la sociedad e industria alimentaria, y así de esta manera poder explotar, masificar y dar conocimiento de las propiedades beneficiosas de este superberry para incentivar su consumo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Recopilar, actualizar y divulgar las características más importantes desde el punto de vista bioquímico, nutricional y funcional del fruto Calafate (*Berberis microphylla*), así como aspectos de bioaccesibilidad y encapsulación de compuestos bioactivos en berries.

3.2 Objetivos Específicos

- Recopilar y analizar las diversas características bioquímicas y nutricionales de las semillas y pulpa del fruto calafate (*Berberis microphylla*).
- Identificar los diversos compuestos bioactivos y propiedades funcionales del fruto calafate (*Berberis microphylla*) enfocados en la salud humana.
- Describir y analizar el efecto de las técnicas de encapsulación sobre los compuestos bioactivos de berries con el fin de demostrar que sería posible encapsular la baya de calafate (*Berberis microphylla*).
- Explicar y comparar el comportamiento de los compuestos fenólicos durante la digestión *in vitro* de distintos berries para predecir el comportamiento de la baya de calafate (*Berberis microphylla*).

4. METODOLOGÍA

4.1 Búsqueda de la Información

Se realizó una búsqueda de información sobre el arbusto calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) y su fruto *Berberis microphylla*, con especial enfoque en las características nutricionales y propiedades bioactivas. La información analizada y recopilada se obtuvo utilizando como base de datos: ScienceDirect, Springer, Wiley, Taylor & Francis, MDPI, ACS Publications, Scielo, y que en su gran mayoría están dentro de la red mundial de categorización Web of Science y Scopus. Los trabajos encontrados fueron buscados con palabras claves como “*Berberis myrophylla*”, “*Berberis myrophylla* G. Forst.”, “bioactive properties”, “antioxidant capacity/activity”, “Berries nativos chilenos”, “*in vitro* digestion” y “Encapsulation”.

El criterio de exclusión utilizado implica descartar material bibliográfico que haya sido publicado hace más de 20 años. Sin embargo, se utilizaron dos trabajos de investigación publicados años antes del límite establecido debido a la calidad de información entregada.

Este trabajo se realizó basándose en más 100 trabajos científicos, de los cuales 76 corresponden a artículos científicos, 12 a informes técnicos, 7 a revisiones, 2 a tesis, 3 a capítulos de un libro, un protocolo para ayudar a realizar la parte de digestión *in vitro* y un libro. Un 62% de estos artículos fueron buscados en Science Direct (**Figura 13**), y de 43 revistas distintas utilizadas, un 14,5% son artículos pertenecientes a la revista Food Chemistry, que uno de sus enfoques son los compuestos bioactivos, incluyendo antioxidantes y compuestos fitoquímicos.

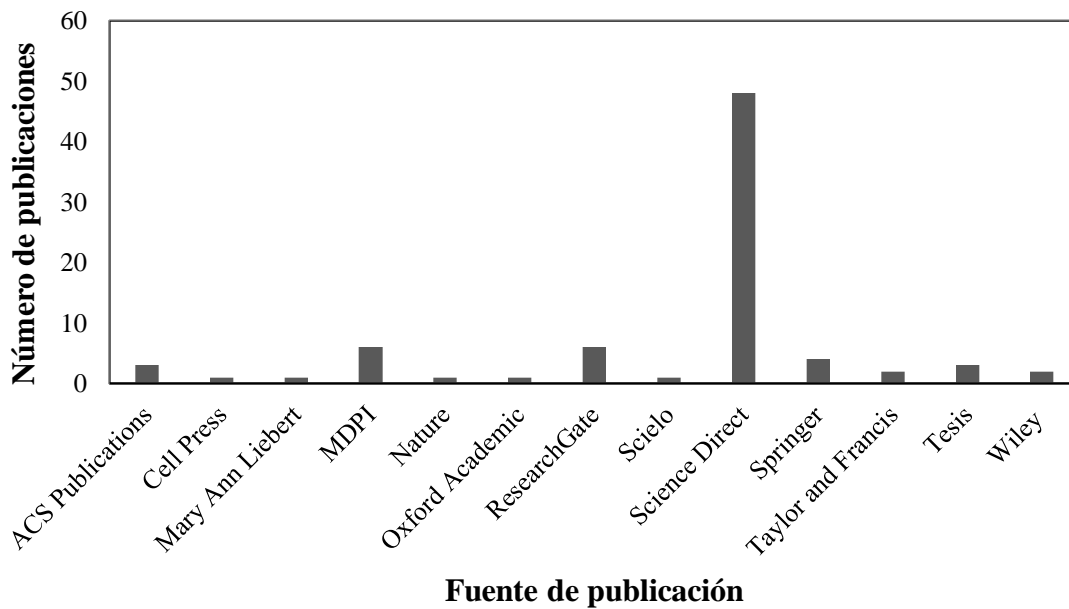


Figura 13. Número de publicaciones por Fuente de Publicación.

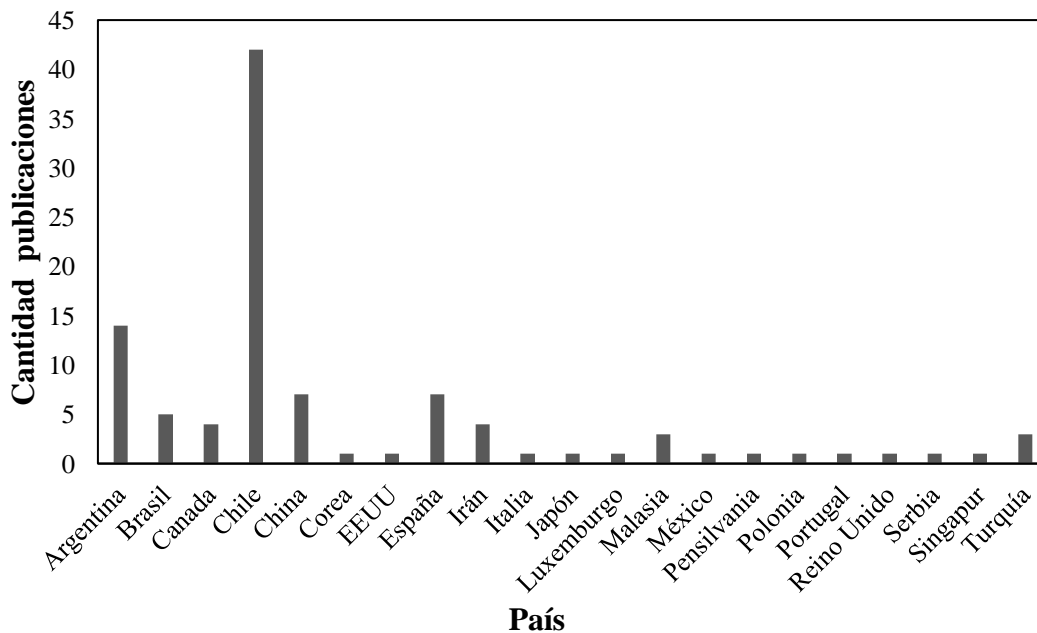


Figura 14. Número de publicaciones por País.

La **Figura 14** indica el número de publicaciones por país revisadas en este trabajo. Como se puede ver, la gran mayoría de los trabajos pertenecen a Chile. Esto es esperable ya que el

principal foco de búsqueda fue el calafate, que es un fruto nativo de Chile y Argentina. Cabe destacar que se estudiaron 30 trabajos sobre el calafate acordes a esta investigación, de los cuales 18 fueron realizados en Chile y el resto en Argentina.

Por otra parte, es importante recalcar los años de las publicaciones revisadas para asegurar el grado de actualidad de este trabajo. Como se puede observar en la **Figura 15**, el 66% de las publicaciones revisadas son desde el año 2017 hasta el presente año.

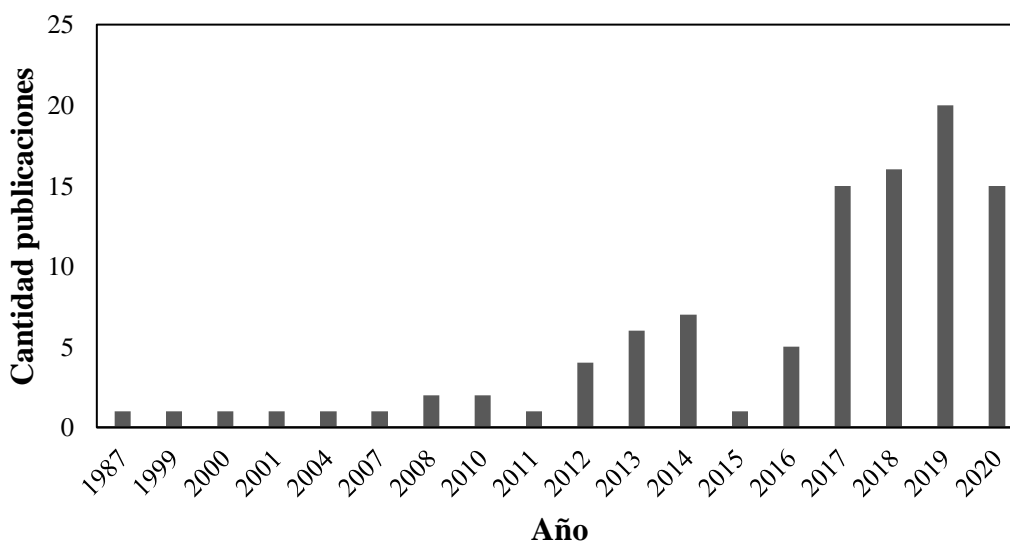


Figura 15. Número de Publicaciones por Año.

Finalmente, se observa en la **Figura 16** el mapa con la distribución de las bayas de calafate utilizadas en los estudios recopilados por esta investigación. La gran mayoría de los estudios se realizaron con bayas recolectadas en Chile y una menor parte de Argentina, dado que el calafate es un fruto nativo de estos dos países. Principalmente las bayas fueron recolectadas en la ciudad de Punta Arenas para Chile y de Neuquén para Argentina. Esto puede deberse a que las propiedades del fruto cambian respecto a la zona geográfica, de hecho, su mayor

expresión en términos de diversidad genética y calidad de fruta se concentra entre las regiones de Aysén y de Magallanes y de la Antártica Chilena.

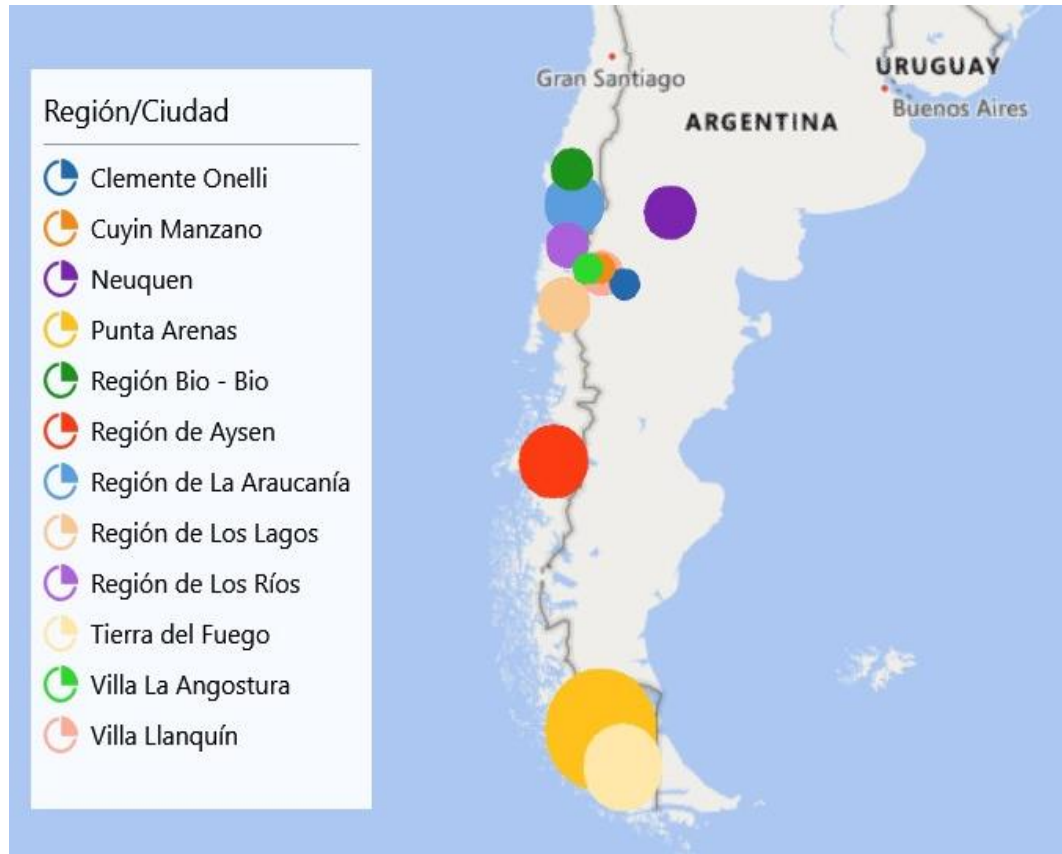


Figura 16. Distribución de bayas de calafate por lo estudios recopilados (A mayor diámetro del círculo, mayor cantidad de estudios utilizaron bayas de esa localidad).

5. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

5.1 Características generales del calafate (*Berberis microphylla*)

5.1.1 Información Nutricional

A continuación, se detalla el análisis proximal del calafate (*Berberis microphylla*). Como se puede observar en la **Tabla 4** el aporte energético es de 98,5 kcal/100g, mientras que el maqui (*Aristotelia chilensis*) presenta 150 kcal/100 g (Group, 2020) y el arándano (*Vaccinium corymbosum*) 41,7 kcal/100 g. Con respecto al aporte de proteínas, el calafate fresco contiene un 2,8%, mientras que el arándano presenta solo un 0,63% (Alimentos, 2020).

La humedad que posee un alimento impacta sobre su calidad, ya que influye en la conservación y posible contaminación del mismo. Por lo tanto, el gran porcentaje de humedad que posee la pulpa de esta especie lo convierte en un fruto muy susceptible a la podredumbre y a la pérdida de agua, con el consecuente deterioro organoléptico, relevante para mantener la calidad de los frutos post-cosecha (Dalzotto et al., 2019). Tal como se observa en la **Tabla 4**, Pino et al., (2018) y Ruiz et al., (2010) presentaron valores de humedad cercanos para la pulpa de calafate.

Los carbohidratos son sustancias involucradas en los mecanismos de defensa de las plantas. Estudios ecológicos y agronómicos han revelado una fuerte correlación entre la concentración de azúcares solubles y la tolerancia al estrés (Boeri et al., 2020). La acumulación de carbohidratos limita la colonización fúngica y desempeña un papel clave en el control del potencial osmótico en las células vegetales (Dalzotto et al., 2019). Los azúcares son los principales nutrientes hallados en la pulpa del fruto para Pino et al., (2018). Se ha descrito que éstos contribuyen con la calidad del fruto, en relación al peso, la firmeza, color

y sabor (Dalzotto et al., 2019). Al observar la **Tabla 4**, se puede apreciar que existen diferencias no menores en los valores de hidratos de carbono. Estas diferencias se podrían explicar por el área de recolección, las condiciones climáticas y al grado de madurez del fruto al momento de realizar los análisis (Mariangel et al., 2013). Por otro lado, se ha descrito que la concentración de glucosa y fructosa en el calafate varía de 0,3% a 5% del peso fresco (Ruiz et al., 2010).

Con respecto a los °Brix, el calafate presenta 26,4 °Brix (Pino et al., 2019). Sin embargo, Pino et al., (2018) indica que el rango de °Brix que presenta el calafate varía entre 8 y 20 °Brix. Para la industria de jugos o colorantes, es deseable un alto valor de grados °Brix, porque permitirá llegar más fácilmente a la concentración deseada a nivel industrial.

En relación al contenido proteico, la **Tabla 4** indica que las semillas realizan el mayor aporte proteico al fruto, más que la propia pulpa. El contenido de proteínas en las semillas es 10 veces mayor que en la pulpa, y que, además representan aproximadamente el 70% del fruto completo, considerándose como una fuente prometedora de proteínas (Dalzotto et al., 2019). Al comparar la cantidad de proteínas de *Berberis microphylla* con los valores obtenidos para frutos de otras especies de *Berberis*, muestra que los niveles de proteína de calafate son 3-4 veces más bajos que los descritos para *Berberis vulgaris* y *Berberis pimana* en peso fresco (Ruiz et al., 2010).

Es importante destacar el bajo contenido de materia grasa presente en la pulpa del calafate, ya que demuestra la casi nula oxidación lipídica que podría ocurrir en el fruto. Acerca del contenido lipídico presente en las semillas del calafate, es significativamente superior al de la pulpa, mostrando valores similares a los de la pulpa de la palta (15,39 %) publicados por

Bora et al., (2001).

En cuanto a las vitaminas, el fruto es muy rico en vitamina C (Varas et al., 2013). Los niveles de vitamina C en el calafate varían entre 41,2 y 117,5 mg Ac. ascórbico/100 g de fruta. Es importante considerar que este compuesto también contribuye a la actividad antioxidante de la baya (Ruiz et al., 2010). El calafate presenta un nivel de ácido ascórbico mucho mayor respecto a las otras bayas consumidas comúnmente como arándanos (entre 4 y 8 mg Ac. Ascórbico/100 g de fruta), mora (entre 6 y 19 mg Ac. Ascórbico/100 g de fruta) o frambuesa (entre 18 y 40 mg Ac. Ascórbico/100 g de fruta) (Ruiz et al., 2013).

Finalmente, la **Tabla 4** muestra los bajos valores de ceniza en el fruto. Los minerales presentes en mayor proporción en el calafate son el hierro (58,07 mg/100 g peso seco), sodio (29,33 mg/100 g peso seco) y zinc (20,53 mg/100 g peso seco), mientras los que se encuentran en menores niveles son cesio (0,02 mg/100 g peso seco), bromo (0,07 mg/100 g peso seco) y cobalto (0,09 mg/100 g peso seco) (Damascos et al., 2008).

La **Tabla 4** que se presenta a continuación, fue realizada basándose en publicaciones encontradas en bases de datos científicas como Science Direct, Springer, Web of Science y Scopus. Llama profundamente la atención la unidireccionalidad en la mayoría de los estudios de calafate (*Berberis microphylla*). La gran parte de los estudios científicos encontrados se trata la actividad antioxidante, medición e identificación de los compuestos bioactivos, abarcando de manera muy general las características del fruto. Esto da cuenta del interés por parte de los autores en investigar y clarificar este tema de manera completa y exhaustiva. Sin embargo, la caracterización de la materia prima es un tema que se ha dejado de lado,

restándole importancia a la realización del análisis proximal al fruto e ignorando la valiosa información que se puede obtener. Esto se ve reflejado en la **Tabla 4**, en la cual, solo cuatro estudios incluyeron en sus resultados información nutricional.

Una de las razones que podrían provocar la escasa información de análisis proximal al fruto es la acotada región de crecimiento del arbusto. La ubicación geográfica del calafate tiene lugar en la Patagonia argentina y chilena, por lo que no es un arbusto y fruto conocido mundialmente como es en el caso de otros berries como frambuesas y arándanos, que se dan de manera más masiva, y son exportados a múltiples países. En el caso del calafate, los volúmenes de cosecha son insuficientes para exportar, la explotación es irregular, no existe una oferta formal establecida y su cosecha es desarrollada por recolectores ocasionales dentro de los meses de enero y febrero, existiendo mucha diferencia en los volúmenes ofertados en cada temporada (TiempoSur, 2018).

Tabla 4. Análisis proximal de la baya de calafate fresca.

Referencias	(Pino et al., 2018) Punta Arenas, Chile	(Boeri et al., 2020) Patagonia argentina		(Dalzotto et al., 2019) Río Negro, Argentina		(Ruiz et al., 2010) Región de Aysén, Chile
Información nutricional	Pulpa	Pulpa	Semillas	Pulpa	Semillas	Pulpa
Energía (kcal/100g)	98,5	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m
Humedad (%)	75,9	93,3	n.m	93,3	n.m	75
HC disponibles (%)	14,5	0,07	0,06	0,07	0,06	n.m
Azúcares totales (%)	9,8	0,07	n.m	n.m	n.m	n.m
Azúcares reductores (%)	n.m	0,003	n.m	n.m	n.m	n.m
Proteínas (%)	2,8	1,33	13,65	1,33	13,65	2,6
Materia Grasa (%)	0,9	1,7	18,9	1,7	18,9	n.m
Cenizas (%)	0,6	3,95	2,21	3,65	2,21	0,9
Fibra cruda (%)	0,1	n.m	n.m	n.m	n.m	7
Fibra Dietaria total (%)	5,3	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m
Fibra Dietaria soluble (%)	0,75	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m
Fibra Dietaria insoluble (%)	4,55	n.m	n.m	n.m	n.m	n.m

*n.m: no mencionado.

5.1.2 Compuestos Bioactivos relacionados con Beneficios a la Salud

La **Figura 17** muestra los principales métodos utilizados para medir la capacidad antioxidante, y para cuantificar y detectar los compuestos bioactivos de la baya de calafate como lo son los polifenoles y las antocianinas.

Con respecto a la medición de actividad antioxidante, DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) fue la técnica más utilizada seguido de FRAP (capacidad de reducción férrica del plasma) y TEAC (capacidad antioxidante equivalente Trolox). Estos ensayos se basan en la transferencia del electrón, son reacciones del tipo Redox que presenta variaciones de color que está

correlacionado con la concentración del antioxidante en la muestra. Cabe destacar que los ensayos de actividad antioxidante *in vitro* miden solo la actividad antioxidante contra un radical, y no contra todas las especies reactivas de oxígeno.

En cuanto a la medición de polifenoles, se realiza mediante el método de Folin-Ciocalteu. Finalmente, para la cuantificación de antocianinas, se utiliza el método diferencial de pH ya que la estructura y el color de las antocianinas cambian de manera reversible con el cambio de pH (Koh et al., 2020). Es importante señalar que los estudios *in vitro* no toman en cuenta los parámetros bioquímicos, metabólicos y fisiológicos. Los compuestos fenólicos pasan por distintas reacciones bioquímicas durante la ingestión, digestión y absorción en el organismo (Vuolo et al., 2018).

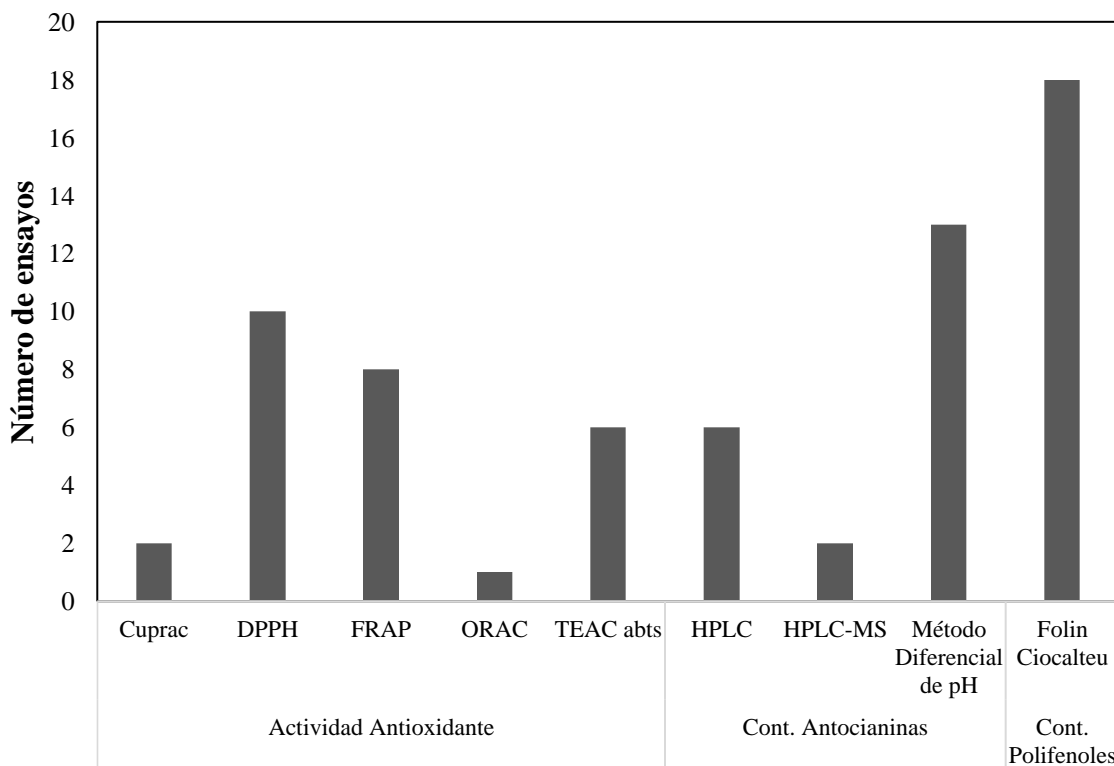


Figura 17. Métodos más utilizados para cuantificar y detectar antocianinas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en extractos de bayas de Calafate.

En relación a la detección de las antocianinas, se utiliza HPLC y HPLC-MS. HPLC se destaca por su facilidad de operación. Además, la tecnología de columna que normalmente se opera en sistemas de micro y nano flujo son sensibles a las pérdidas en la eficiencia de separación asociadas debido a las contribuciones de ensanchamiento extra-columna. HPLC-MS combina el poder de separación de los materiales de gran peso molecular de HPLC y la capacidad de detección selectiva y confirmación de la identidad molecular del espectrómetro de masas.

Las características químicas y la capacidad antioxidante del calafate, y de otros frutos nativos dependen de las diferencias genéticas entre las diferentes especies (Ramírez et al., 2015), de las condiciones climáticas, de la localización de la planta (Mariangel et al., 2013) y del estado de madurez del fruto, por lo que estas variaciones afectará a la capacidad antioxidante de dicho fruto (Mariangel et al., 2013).

Estudios han demostrados que el calafate es una rica fuente de antioxidantes fenólicos (Rodoni et al., 2014). Los principales compuestos fenólicos presentes en el calafate son ácido gálico, ácido clorogénico y rutina (Mariangel et al., 2013).

En un estudio, se concluyó que la actividad antioxidante muestra una correlación débil con las antocianinas, pero una correlación más alta con los compuestos fenólicos, lo que sugiere que otros compuestos aromáticos contribuyen a la actividad antioxidante total (Rodoni et al., 2014).

Las antocianinas, consideradas compuestos bioactivos (Colak et al., 2017), son pigmentos hidrosolubles vegetales naturales que son responsables de los colores que van desde el rojo

al color violeta (Coklar & Akbulut, 2017). Las antocianinas son compuestos que, además de ser colorantes naturales, se caracterizan por su alta actividad antioxidante por lo que su consumo de calafate en la dieta se ha asociado a efectos antitumorales, antiinflamatorios, antidiabéticos en células humanas, además del mejoramiento de la agudeza visual y del comportamiento cognitivo (Mc Lead et al., 2017). También se ha demostrado que el consumo de calafate fresco previene la resistencia a la insulina y la diabetes en los seres humanos (INIA, 2015).

Los niveles más altos de antocianinas se encuentran en el género *Berberis*, siendo mayores en *B. microphylla* (calafate), seguido de *B. empetrifolia* (calafatillo) y *B. ilicifolia* (michay). Las principales antocianinas presentes en el calafate son delfinidina-3-glucósido, petunidina-3-glucósido, malvidina-3-glucósido, cianidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido, delfinidina-3-rutinosido, petunidina-3-rutinosido, malvidina-3-rutinosido, cianidina-3-rutinosido, peonidina-3-rutinosido, petunidina-3,5-dihexósido (Ruiz et al., 2013; Schmeda-Hirschmann et al., 2019).

Los niveles de antocianinas totales detectados en el género *Berberis* fue más alto que los niveles detectados en otras frutas consumidas, como los arándanos, frutillas, moras, frambuesas o murtilla (Ruiz et al., 2013). Las frutillas mostraron siete veces menos antioxidantes que el calafate e incluso los arándanos, que se ha demostrado que ocupan el primer lugar entre las frutas en los valores de ORAC (Rodoni et al., 2014).

Por otro lado, *B. microphylla* (calafate) tiene una capacidad de captación de radicales 10 veces mayor que la de la manzana, la naranja y la pera (Rodoni et al., 2014). Reyes-Farías et

al., (2015) estudiaron tres berries: maqui, calafate y arándano, concluyendo que el contenido de polifenoles y de antocianinas, y la actividad antioxidante es mayor en el maqui (1906,5 mg GAE/100 g peso seco; 72,7 mg c.3.G E/ 100 g peso seco; 38,9 mmol Fe⁺²/100 g peso seco, respectivamente), seguido del calafate (1344,2 mg GAE/100 g peso seco; 31,5 mg c.3.G E/ 100 g peso seco; 11,7 mmol Fe⁺²/100 g peso seco, respectivamente) y luego el arándano (1229,6 mg GAE/100 g peso seco; 20,1 mg c.3.G E/ 100 g peso seco; 5,9 mmol Fe⁺²/100 g peso seco, respectivamente).

Los polifenoles son compuestos bioactivos que se destacan por su capacidad para captar los radicales libres, es decir, actúan como antioxidantes naturales, por lo que es lógico que, a un mayor contenido de polifenoles, mayor será la actividad antioxidante que presente el fruto.

Hoy en día, el calafate se vende en distintos formatos como capsulas, liofilizado en polvo, té, mermelada, helados, bebidas alcohólicas de manera artesanal, entre otros (**Figura 18**), debido a sus propiedades y a sus compuestos bioactivos.



Figura 18. Productos elaborados a partir de calafate.

Es importante recalcar y destacar las propiedades que tienen los frutos nativos chilenos y así estar conscientes del potencial uso que se les podría dar para aprovechar al máximo todos sus

beneficios. En este sentido, los frutos de *B. microphylla* constituirían una potencial alternativa en la formulación de alimentos o suplementos dietarios (Dalzotto et al., 2019).

Como se puede observar en la **Tabla 5**, el rango de polifenoles en extractos de calafate va desde $1344,2 \pm 10,50$ a $6553 \pm 1,35$ mg GAE/100 g peso seco. El contenido de antocianinas se encuentra entre $26,5 \pm 0,00$ y $66 \pm 0,30$ mg c-3-G/ 100g peso seco. Estas diferencias en los valores se pueden deber a las distintas condiciones del proceso, al estado de madurez del fruto en el momento de realizar la extracción, al tipo de extracción, el lugar donde se cosechó el fruto, entre otras.

Si se comparan estos valores con otros berries nativos chilenos, el maqui presenta entre $1906,5 \pm 73,20$ a $5944,9 \pm 793,80$ mg GAE/100 g peso seco (Busso Casati, Baeza, & Sánchez, 2019; Reyes-Farias et al., 2015) y el arándano $1229,6 \pm 20,90$ a $4586 \pm 3,46$ mg GAE/100 g peso seco (Ramirez et al., 2015; Reyes-Farias et al., 2015).

Cabe destacar que los principales factores que afectan al contenido de polifenoles en las plantas son el genotipo, el ambiente, la etapa de cosecha de la fruta, el almacenamiento y el procesamiento (Fredes et al., 2020).

Con respecto a los valores de antocianinas presentes en el maqui, se han reportado valores alrededor de $72,7 \pm 0,10$ mg c-3- G/ 100g peso seco (Reyes-Farias et al., 2015), mientras que para el arándano $20,1 \pm 1,65$ mg c-3-G/ 100g peso seco (Ramirez et al., 2015; Reyes-Farias et al., 2015). Esto indica que el calafate se encuentra dentro de los valores reportados para estos berries que son más conocidos por la población chilena.

En cuanto a la actividad antioxidante, el maqui presentó $38,9 \pm 1,70$ mmol Fe⁺²/100 g peso seco (Reyes-Farias et al., 2015) y el arándano $5,9 \pm 0,10$ mmol Fe⁺²/100 g peso seco (Reyes-Farias et al., 2015), mientras que el calafate obtuvo $38,44 \pm 0,08$ mmol Fe⁺²/100 g peso seco. Este método mide la reducción de Fe⁺³ a Fe⁺² por lo que a mayor cantidad de Fe⁺² formado, mayor es el poder antioxidante de la muestra. Es decir, el calafate y el maqui tendrían un poder antioxidante similar y superior al del arándano utilizando esta metodología.

Al apreciar la **Tabla 5**, el extracto de calafate presenta entre $2,33 \pm 0,21$ a $12,6 \pm 0,38$ µg/ml. Esta diferencia se puede deber a las distintas localidades donde fueron recolectadas las muestras de fruta. Ramirez et al., (2015) informó para el arándano $3,32 \pm 0,18$ µg/ml. Estos valores indican la cantidad necesaria de muestra para reducir el 50% de radicales libres de DPPH, es decir, menor cantidad de muestra, mayor es el poder antioxidante que presenta la muestra.

Tabla 5. Contenido de Polifenoles y Antocianinas totales, y actividad antioxidante en extractos de calafate (*Berberis microphylla*).

Propiedad bioactiva	Calafate					
	(Reyes-Farías et al., 2015) Valdivia, Chile	(Soto-Covasich et al., 2020) Chile	(Ramírez et al., 2015) Santa Bárbara, Chile	(Chamorro et al., 2019) Patagonia Argentina	(Ruiz et al., 2013) Región de Magallanes, Chile	(Mariangel et al., 2013) Región de Araucanía y Aysén, Chile
Polifenoles totales (mg GAE/100 g peso seco)	1344,2±10,50	2233±6,39	6553 ±1,35	-	-	2537,5±0,22
Antocianinas totales (mg C.3.G E/ 100 g peso seco)	31,5±0,80	66±0,30	51,62 ± 1,78	-	-	26,5±0,00
Actividad antioxidante (mmol Fe ²⁺ /100 g peso seco)	11,7±1,80	38,44±0,08	-	-	-	-.
Actividad antioxidante (IC ₅₀ , µg/ml)	-	-	2,33 ± 0,21	12,6 ±0,38	-	-
Actividad antioxidante (µmol TE/g peso seco)	-	-	124,46 ± 6,54	-	62,75±3,10	-

Cabe destacar que, en su mayoría, los estudios siguieron un procedimiento similar para la obtención del extracto de calafate. Reyes-Farias et al., (2015) y Soto-Covasich et al., (2020) utilizaron las mismas condiciones de proceso e iguales proporciones de solvente. Por otro lado, Chamorro et al., (2015) y Ramírez et al., (2015) decidieron utilizar la fruta liofilizada, y finalmente, Mariangel et al., (2013) y Ruiz et al., (2013) obtuvieron el extracto a partir de la fruta fresca. Cabe mencionar que solo Mariangel et al., (2013) utilizó etanol como solvente, mientras que los otros estudios usaron metanol.

Con respecto a los métodos de determinación de polifenoles y antocianinas, todos los autores mencionados en la **Tabla 5** siguieron el método de Folin ciocalteu y el método de pH diferencial respectivamente. Sin embargo, las actividades antioxidantes fueron determinadas por métodos distintos.

La **Figura 19** muestra la cantidad de polifenoles en la baya de calafate en distintas localidades de donde se recolectó el fruto para realizar los estudios respectivos.

Como se puede observar, el contenido de polifenoles varía de acuerdo a la ciudad/región. Esto principalmente se debe a que las características químicas del fruto dependen de varios factores como la fecha de recolección, la tierra de cultivo, la fisiología ambiental, la radiación solar, entre otros.

La ciudad de Santa Bárbara y la Región de Magallanes y la Antártica Chilena mostraron los valores más altos en el contenido de polifenoles con 65,53 mg GAE/g peso seco y 46,8 mg GAE/g peso seco respectivamente, por lo que se puede deducir que las características de cultivo y cosecha fueron óptimas con respecto a las otras localidades. También es de esperar

que los frutos de estas zonas tengan un mayor poder antioxidante ya que los polifenoles se relacionan directamente con esta capacidad en los frutos.

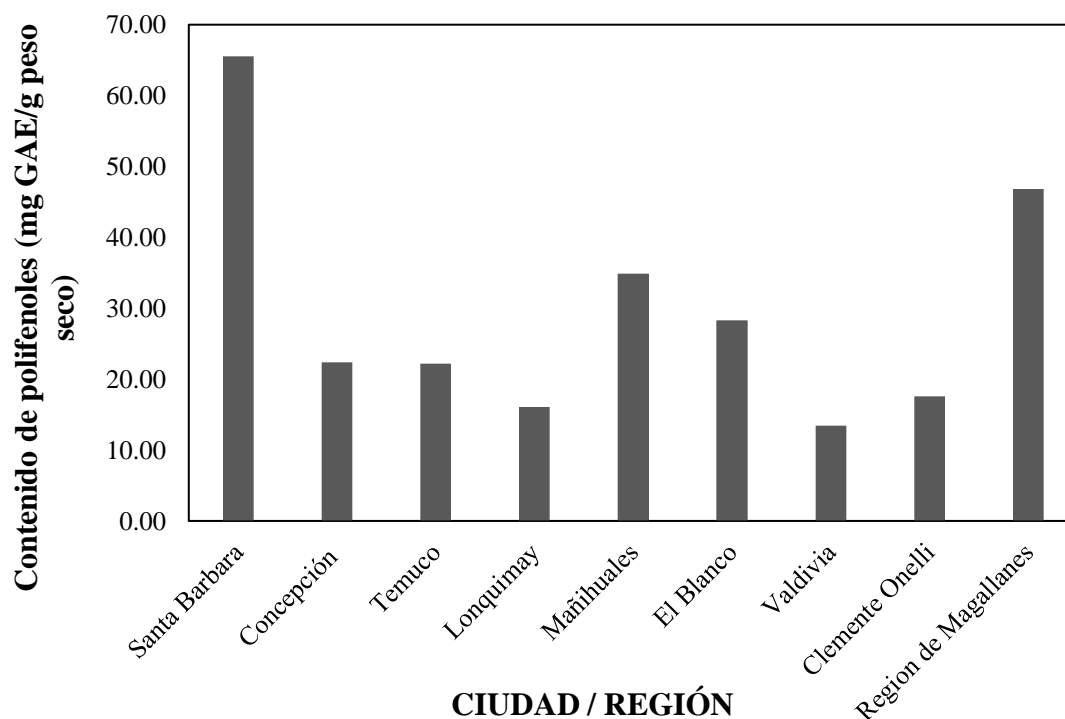


Figura 19. Contenido de polifenoles en distintas localidades (Dalzotto et al., 2019; Mariangel et al., 2013; Pino et al., 2018; Ramirez et al., 2015; Reyes-Farias et al., 2015; Soto-Covasich et al., 2020).

Finalmente, existen compuestos menos estudiados como los alcaloides, que son metabolitos secundarios sintetizados por la planta. La berberina es un componente fitoquímico encontrado en las raíces y corteza de los tallos de algunas hierbas medicinales chinas, encontrándose con mayor frecuencia en *Berberis vulgaris* (Shan et al., 2020). A la berberina, se le han asociado muchos efectos terapéuticos que incluyen efectos antivirales, antimicrobianos, antidiarreicos, antiinflamatorios y antitumorales (Mirhadi et al., 2018).

Por otro lado, la calafatina es una base no cuaternaria (Buck, 1987) y solo se ha aislado de dos especies de *berberis* (Schiff, 1999), específicamente de las raíces de *Berberis buxifolia* (*Berberis microphylla* G. Forst.) (Buck, 1987).

Durante la recopilación de información acerca de las propiedades y características del calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) y de su fruto (*Berberis microphylla*), se pudo notar que el enfoque de los estudios fue determinar e identificar los compuestos bioactivos y su capacidad antioxidante presentes en la pulpa del fruto, pasando por alto los posibles compuestos presentes en las hojas, flores, raíces y tallo del arbusto, y las semillas y piel del fruto. Lograr estudiar y obtener con mayor claridad información sobre los compuestos bioactivos que podrían tener estas partes del arbusto y baya, sería una gran oportunidad para otorgarles un valor agregado y ampliar el conocimiento en el área de los alimentos.

Se observaron estudios donde analizaban hojas de arándano y se lograba apreciar el alto contenido de antocianinas y polifenoles presentes en ellas (Debnath-Canning et al., 2020); hojas de varonía amarga que demostraron tener actividad antimicrobiana y antioxidante (Tunasamy et al., 2019); desde hojas de mora se extrajo moracina que presentó actividad antioxidante (Tu et al., 2019), al igual que hojas de stevia (Lemus-Mondaca et al., 2012) y de eucalipto (Li et al., 2020). Además, se revisó un estudio en el que trabajaron con hojas y raíces de *codonopsis pilosula* (Yang et al., 2019) presentando una alta cantidad de polifenoles y flavonoides.

Por lo anterior, estudiar los compuestos bioactivos presentes en las partes del arbusto de calafate y de su fruto, podría arrojar interesantes resultados.

5.2 Calafate y sus Efectos en la Salud

Los compuestos fenólicos se definen como metabolitos naturales (Vuolo et al., 2018) y han sido ampliamente estudiados por sus múltiples beneficios para la salud humana debido a su capacidad para captar los radicales libres y, en consecuencia, retrasar las enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo como lo es la diabetes, el cáncer (de Souza et al., 2019), la obesidad y enfermedades cardiovasculares (Vuolo et al., 2018).

Además, se sabe que las antocianinas poseen extraordinarias propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antiadipogénicas y lipolíticas (Reyes-Farias et al., 2016).

El consumo de bayas y frutas frescas promueve la salud debido al alto contenido de polifenoles antioxidantes asociados con la protección de enfermedades cardiovasculares {Formatting Citation}. El calafate es considerado una superfruta por su alto contenido de vitamina C y por sus niveles de polifenoles como antocianinas, flavonoles y ácidos fenólicos. Los niveles de polifenoles son superiores a los registrados en otras bayas como arándanos, moras y frambuesas. Se les denomina “superfrutas” a frutas que presentan beneficios para la salud. Los científicos de la nutrición consideran que las superfrutas son "súper" cuando las frutas tienen niveles extremadamente altos de antioxidantes, fibras, vitaminas, minerales y otros nutrientes que mejoran la salud (Chang et al., 2019).

El consumo de alimentos procesados induce un estado inflamatorio en roedores, que se asocia a una fuerte infiltración de macrófagos en el tejido adiposo. El aumento de adipocinas (moléculas secretadas por el tejido adiposo) se correlaciona positivamente con la adiposidad corporal, contribuyendo a la generación y mantenimiento de un estado inflamatorio crónico asociado a la obesidad (Soto-Covasich et al., 2020). Además, se ha reconocido que el

aumento de la adiposidad corporal se acompaña habitualmente de un aumento del estrés oxidativo sistémico y una condición de inflamación de bajo grado en el tejido adiposo (Reyes-Farias et al., 2015). El estado inflamatorio crónico en el tejido adiposo contribuye a la resistencia a la insulina asociada a la obesidad. La evidencia sugiere que interrumpir la respuesta inflamatoria provocada por la obesidad, permite recuperar la sensibilidad a la insulina (Soto-Covasich et al., 2020).

Se ha demostrado que los polifenoles mejoran el estado inflamatorio asociado a la obesidad y mejoran la sensibilidad a la insulina (Anhê et al., 2017). Bottini et al., (2007) indican que las hojas y raíces de calafate tienen propiedades antibióticas. Sin embargo, se sabe poco sobre las propiedades vasodilatadoras de los componentes de la fruta, excepto por su efecto antiinflamatorio o su valor nutricional, usados por los habitantes de la Patagonia. Existe evidencia que sugiere que interrumpir la respuesta inflamatoria provocada por la obesidad permite recuperar la sensibilidad a la insulina, utilizando un modelo de inflamación *in vitro*, lo que sugiere un papel sensibilizador de insulina para la baya de calafate (Reyes-Farias et al., 2016). Sin embargo, esto no se ha evaluado *in vivo*. Varios productos inflamatorios como el óxido nítrico (NO), se correlaciona con un aumento de la adiposidad corporal y al parecer participa en la inducción y mantenimiento del estado inflamatorio crónico asociado a la obesidad (Reyes-Farias et al., 2015).

Con respecto a la diabetes mellitus 2, es un trastorno metabólico caracterizado por niveles elevados de glucosa en sangre debido a una deficiencia en la acción y secreción de insulina. Varias especies del género *Berberis* describen como con potencial hipoglucémico, como *B.*

lycium, *B. aristata*, *B. asiatica*, *B. vulgaris*, *B. integerrima*, *B. ceratophylla*, *B. moranensis* y *B. crataegina* (Furrianca et al., 2017).

Al observar la **Tabla 6**, los resultados muestran que el extracto de calafate rico en polifenoles, atenúa la expresión de marcadores pro-inflamatorios, contribuyendo al equilibrio del peso corporal al disminuir los depósitos de grasa, y restaura la tolerancia a la glucosa en un modelo de obesidad inducida por la dieta, posicionando a la baya de calafate como una fuente natural de polifenoles que podrían usarse para el tratamiento de la resistencia a la insulina (Soto-Covasich et al., 2020).

Reyes-Farias et al., (2016) estudiaron *in vitro* la capacidad de absorción de glucosa de los adipocitos cuando se trataron con extractos de frutas en un entorno resistente a la insulina. Observaron que el tratamiento con calafate inhibió eficazmente la captación de glucosa por los adipocitos.

En la **Tabla 6** se puede apreciar que, en el estudio analizado, el extracto de calafate impidió significativamente la secreción de NO producida por los macrófagos inducida por LPS (lipopolisacáridos), modulando la expresión genética de citoquinas asociadas a vías inflamatorias encargadas de secretar NO, al igual que los extractos de maqui y arándano. Sin embargo, el extracto de calafate indujo el efecto más drástico (Reyes-Farias et al., 2015).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que los cánceres son actualmente la primera causa de muerte humana en el mundo (Calderón-Reyes et al., 2020). El consumo de frutas con alto nivel de antioxidantes, se ha propuesto como una buena opción para reducir

el riesgo de desarrollo de enfermedades crónicas. La **Tabla 6** da cuenta de los resultados obtenidos por Calderón-Reyes et al., (2020).

Las principales conclusiones de la investigación fueron que la actividad antioxidante aumentaba al incrementar las concentraciones de extracto y que los extractos de calafate indujeron una reducción en la viabilidad de células de cáncer gástrico y de vesícula biliar. Este resultado podría deberse principalmente a la gran concentración de delfinidina (antocianidina presente en mayor proporción) presente en este extracto que induce la apoptosis de células cancerígenas, reduciendo la viabilidad y migración de estas líneas celulares. Delfinidina es una molécula reconocida por su alto potencial antioxidante en comparación con otros compuestos fenólicos y antocianidínicos debido a su estructura química (Lazze et al., 2004).

Autores indican que la suplementación con delfinidina mejora la tolerancia a la glucosa en modelos de ratas con hiperglucemia y estudios en humanos, y tiene efectos antiinflamatorios *in vitro* (Reyes-Farias et al., 2016). Por otro lado, Bustamante et al., (2018) indica que la alta capacidad antioxidante detectada en las bayas de calafate, puede explicarse por su alta diversidad de antocianinas.

Por otro lado, Calfío & Huidobro-Toro., (2019) infirieron que la actividad vasodilatadora de las antocianinas glicosiladas probablemente no esté relacionada con su potencial antioxidante en células endoteliales. Además, revelaron que el potencial antioxidante de las antocianinas glicosiladas en un bioensayo es menor que en un ensayo *in vitro*, lo que sugiere que las antocianinas glicosiladas no contribuyen en gran medida al potencial antioxidante del extracto *in vivo*.

Con respecto a la inhibición de la peroxidación lipídica, los compuestos antioxidantes presentes en las frutas son cruciales para mitigar la propagación de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo. Ramirez et al., (2015) utilizaron eritrocitos humanos para realizar el ensayo de peroxidación de lípidos para explorar más a fondo las propiedades antioxidantes de bayas chilenas (arándano, calafate, murta, arrayán y chequén). La actividad más alta se encontró para los arándanos, seguidos de los frutos de calafate. Es decir, estas bayas evitaron la hemólisis provocada por la ruptura de las membranas celulares inducida por la peroxidación lipídica. La actividad inhibitoria que presentó el extracto de calafate fue cercana a la del ácido gálico y superior a la mostrada por la antocianina cianidina-3-O-glucósido. La actividad inhibidora de la peroxidación lipídica mostrada por los extractos de las bayas investigadas respalda aún más sus beneficios para la salud y su potencial uso terapéutico (Ramirez et al., 2015).

Furrianca et al., (2017) estudiaron el efecto del extracto (extracto en etanol) de la raíz del arbusto de calafate en la absorción de glucosa en un cultivo de células hepáticas, determinando que existe una correlación positiva entre la dosis de extracto de raíz de *B. microphylla* y la absorción de glucosa. Es por esto que, al mostrar un efecto hipoglucémico por parte de los extractos, se podría usar en el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2.

Brito et al., (2014) indicó que la actividad antimicrobiana de las raíces y brotes de calafate (tallos y hojas) contra bacterias gram-positivas como *S. aureus*, *B. cereus*, *S. epidermidis* y *B. subtilis*, se ha asociado con la presencia de alcaloides de isoquinolina, principalmente a la berberina (Pitta-Alvarez, Medina-Bolivar, Alvarez, Scambatto, & Marconi, 2008).

Cabe destacar que los autores utilizaron principalmente metanol como solvente de extracción, y en segundo lugar se encontró el etanol. Estos solventes polares se emplean para recuperar los polifenoles dentro de una matriz vegetal. El rendimiento de la extracción depende de la polaridad del solvente, la composición química de los compuestos a extraer, de la cantidad y posición de sus grupos hidroxilo, del tamaño molecular, así como de las condiciones de extracción como la concentración del solvente, temperatura, tiempo de contacto, tamaño de partícula y relación masa-solvente, entre otros.

Tabla 6. Propiedades demostradas por extractos de la baya de calafate.

Componente y Propiedad a demostrar	Metodología	Resultado	Referencia
Componente: Polifenoles. Propiedad: Antiinflamatoria y disminución de la resistencia a la insulina.	<i>In vivo</i> (Rata). Dieta: alimentos procesados y/o extracto de calafate rico en polifenoles. Extracto en metanol.	Atenúa la expresión de marcadores pro-inflamatorios y restaura la tolerancia a la glucosa.	(Soto-Covasich et al., 2020)
Componente: Polifenoles. Propiedad: Disminuir secreción de NO.	Pre-adipocitos y macrófagos de ratones. Extracto en metanol.	Impidió significativamente la secreción de NO inducida por LPS por los macrófagos.	(Reyes-Farias et al., 2015)
Componente: Antocianinas. Propiedad: Hipoglucémica.	<i>In vitro</i> : Pre-adipocitos (cultivos celulares). Extracto en metanol.	Inhibió eficazmente la captación de glucosa de los adipocitos.	(Reyes-Farias et al., 2016)
Componente: Antocianinas. Propiedad: Anticancerígeno.	<i>In vitro</i> : cultivo de células de cáncer gástrico y de vesícula biliar. Extracto en etanol.	Los extractos de calafate ricos en antocianinas redujeron la viabilidad <i>in vitro</i> de células de cáncer gástrico y de vesícula biliar.	(Calderón-Reyes et al., 2020)
Componente: Antocianinas. Propiedad: Vasodilatador.	<i>In vivo</i> (Ratones). Extracto en acetona.	Delfinidina-3 glucósido comercial provocó una respuesta vasodilatadora potente y dependiente de la concentración, que fue al menos 100 veces más potente que el extracto de calafate.	(Calfío & Huidobro-Toro, 2019)
Componente: Antocianinas. Propiedad: Actividad antioxidante.	<i>In vitro</i> : Células aisladas endoteliales de ratas. Extracto en acetona.	Quercetina comercial fue 60 veces más potente como antioxidante que el extracto de calafate en el ensayo de células endoteliales.	(Calfío & Huidobro-Toro, 2019)
Componente: Antocianinas. Propiedad: Inhibir peroxidación de lípidos en eritrocitos.	Glóbulos rojos donados por humanos. Extracto en metanol.	Inhibir la lipoperoxidación en eritrocitos.	(Ramirez et al., 2015)

5.3 Encapsulación de Berries

Hoy en día, existe una alta demanda por alimentos saludables sin conservantes sintéticos que brinden beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Una alternativa a estas demandas es incluir agentes activos naturales como antioxidantes y antimicrobianos que no solo protejan la fabricación de productos, sino que también puedan ejercer un efecto beneficioso sobre la salud humana (Vidal et al., 2013).

La tecnología de encapsulación se puede utilizar como una estrategia para proteger las antocianinas en nuevas formulaciones que utilizan frutas con una alta cantidad de estos compuestos como es el caso del maqui (Fredes, Osorio, Parada, & Robert, 2018), una baya nativa de Chile, reconocida mundialmente como una rica fuente de antocianinas promotoras de la salud con actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antidiabéticas e hipoglucemiantes (Fredes, Becerra, Parada, & Robert, 2018). Sin embargo, las antocianinas en general son susceptibles a degradarse cuando se exponen a condiciones ambientales como calor, oxígeno, cambios de pH, entre otras.

La selección del método de encapsulación juega un papel importante en las propiedades del polvo que influirían en la retención de antocianinas antes del consumo y la bioaccesibilidad (Fredes, Becerra, et al., 2018).

El secado por atomización ha sido el método más utilizado para encapsular las antocianinas. Es útil para encapsular materiales sensibles al calor debido a sus cortos tiempos de secado (5–30 s) (Fredes, Becerra, et al., 2018), permitiendo la obtención de micropartículas en polvo mediante un proceso de dos pasos (Fredes, Osorio, et al., 2018). Además, los secadores por

atomización están comúnmente disponibles en la industria alimentaria y farmacéutica. Sin embargo, la encapsulación por secado por atomización se considera una tecnología de inmovilización más que una verdadera tecnología de encapsulación porque algunos compuestos activos permanecen expuestos en la superficie de las micropartículas (Fredes, Becerra, et al., 2018).

Hoy en día existe un método alternativo para encapsular antocianinas: la liofilización (Fredes, Becerra, et al., 2018). El proceso de liofilización logra una mejor retención de compuestos bioactivos, especialmente en componentes sensibles al calor como las antocianinas, y una mejor conservación de la capacidad antioxidante. La liofilización permite la conservación a largo plazo de alimentos sensibles al calor y otros materiales biológicos basados en los fenómenos de sublimación (Busso Casati et al., 2019).

Por otro lado, el agente encapsulante tiene un papel fundamental en la eficiencia de encapsulación, en la estabilidad durante el almacenamiento y la liberación del compuesto activo en los alimentos y en el tracto gastrointestinal.

La inulina y el alginato de sodio son polisacáridos que están aprobados para su uso en alimentos (Fredes, Osorio, et al., 2018). Las maltodextrinas (MD) son biopolímeros utilizados como agentes encapsulantes en la encapsulación de antocianinas porque tienen baja viscosidad, sabor suave y provoca soluciones incoloras. La MD es soluble en agua y cuando se agrega a los alimentos líquidos (como el yogur) se liberan los compuestos activos y quedan expuestos a las condiciones alimentarias (Fredes, Becerra, et al., 2018).

Cuanto mayor es el contenido de agente encapsulante, mayor es la eficiencia de encapsulación de las antocianinas (Fredes, Osorio, et al., 2018), que representa la interacción antocianina-polímero, que debería resultar en un polvo que tiene un contenido mínimo de antocianina en la superficie de las micropartículas y una retención máxima de compuestos activos (Fredes, Becerra, et al., 2018).

Como se puede observar en la **Tabla 7**, el secado spray y liofilización fueron métodos eficaces para encapsular antocianinas extraídas desde maqui, frambuesa, grosella y arándano. Los estudios obtuvieron una eficiencia de encapsulación (EE) entre 60% - 93%, con una excepción de un 45%. Esto podría explicarse por la interacción antocianina-polímero que puede ocurrir por interacciones electrostáticas o puentes de hidrógeno (Fredes, Osorio, et al., 2018). En el estudio de Fredes et al., (2018), la EE de antocianinas no mostró diferencias significativas entre los métodos de liofilización y secado spray.

Fredes, Osorio, et al., (2018), Fredes, Becerra, et al., (2018) y Gagneten et al., (2019) utilizaron la tecnología de secado spray, y en todos los estudios mostraron valores de recuperación sobre el 90%. Esto quiere decir que el producto obtenido presentaba el 90% de los compuestos bioactivos de la muestra inicial, mostrando el efecto positivo del corto tiempo de exposición a altas temperaturas (Fredes, Osorio, et al., 2018).

Aparte de las tecnologías de procesamiento convencionales utilizadas para conservar los compuestos fenólicos, se ha reportado el uso de diferentes técnicas como coacervación, emulsiones, liposomas, micelas, nanopartículas y co-cristalización. Los liposomas han sido utilizados en las industrias farmacéutica y alimentaria. Debido a la naturaleza anfifílica de la

bicapa de fosfolípidos, tienen la capacidad de transportar compuestos bioactivos lipofílicos e hidrofílicos (Liović et al., 2019). En la **Tabla 7** se puede notar el uso de liposomas para la encapsulación de extractos de arándano, evidenciando un retraso en la oxidación lipídica del aceite de oliva, producto en el cual se probó.

Con respecto a los valores de a_w , todos los resultados mostrados en la **Tabla 7** estuvieron por debajo del máximo aceptado (0,60) para evitar el deterioro microbiano de los alimentos (Fredes, Osorio, et al., 2018).

Las soluciones de alimentación con alta viscosidad pueden hacer que se adhieran más sólidos a la pared de la cámara de secado, lo que resulta en menos polvo al final del proceso, por lo que, al utilizar alginato de sodio o aislado de proteína de soya, que presentan una alta viscosidad, afectaría al rendimiento del proceso de manera negativa (Fredes, Osorio, et al., 2018). Justamente cuando Fredes et al., (2018) utilizó solo alginato de sodio, mostró el valor más bajo de rendimiento (47,6%) con respecto a los otros valores de la **Tabla 7**, que superan el 64%. Estos resultados contribuyen al desarrollo de nuevos ingredientes para la salud alimentaria utilizando antocianinas de maqui.

El alto contenido de compuestos bioactivos en las muestras de polvos obtenidas, las hace interesantes para diversas aplicaciones como ingrediente funcional para el desarrollo de alimentos con beneficios para la salud humana (Busso Casati et al., 2019) y se pueden utilizar en la industria cosmética y farmacéutica (Gagneten et al., 2019).

La tendencia de los resultados de estos berries anteriormente mencionados, podría ser un indicativo para futuros resultados sobre la encapsulación de extractos del calafate. Hoy en día, no existen estudios publicados sobre encapsulación de esta baya, a pesar de existir estudios que demuestran el alto contenido de compuestos bioactivos, especialmente de antocianinas. Esto da cuenta del poco provecho que se obtiene de este berry nativo chileno, teniendo en cuenta todo su posible potencial.

Una aplicación de los polvos obtenidos de calafate podría ser utilizarlos tanto en la industria alimentaria como ingrediente para obtener un alimento funcional, como para la industria cosmética.

Tabla 7. Encapsulación de compuestos bioactivos de diferentes berries.

Fruta	Medio encapsulante	Método de encapsulación	Motivo para encapsular	Resultado	Referencia
Maqui (<i>Aristotela chilensis</i>)	Inulina; Alginato de sodio	Secado spray	Proteger antocianinas para agregarlo a formulaciones.	Ambos agentes encapsulantes protegieron a antocianinas.	(Fredes, Osorio, et al., 2018)
Maqui (<i>Aristotela chilensis</i>)	Proteína aislada de soja + maltodextrina	Secado spray y liofilización	Evaluar 2 métodos de encapsulación con respecto a la estabilidad de antocianinas y su bioaccesibilidad <i>in vitro</i> .	Ambas tecnologías protegen las antocianinas en jugo de maqui y mejoraron su bioaccesibilidad en un 9%.	(Fredes, Becerra, et al., 2018)
Frambuesa (<i>Rubus idaeus</i> L.); Grosella negra (<i>Ribes nigrum</i>)	Maltodextrina	Secado Spray	Usar como colorante alimentario saludable o ingrediente funcional.	Los polvos presentaron alta concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, lo que sugiere que podrían ser ingredientes en alimentos funcionales.	(Gagneten et al., 2019)
Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	Maltodextrina + goma arábica	Liofilización	Evaluar el efecto de la liofilización en el nivel de los compuestos bioactivos.	Los resultados mostraron altos niveles de retención de compuestos bioactivos.	(Busso Casati et al., 2019)
Maqui (<i>Aristotela chilensis</i>)	Maltodextrina; Inulina; Maltodextrina + Inulina	Liofilización	Averiguar si la retención de los compuestos bioactivos aumenta con la cantidad creciente de agente encapsulaste.	La retención de los compuestos bioactivos fue mayor en la mezcla de inulina-maltodextrina al 10% (la concentración más baja).	(Romero-González, Shun Ah-Hen, Lemus-Mondaca, & Muñoz-Fariña, 2020)
Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i>)	Lecitina de soja	Liposomas	Determinar el efecto del extracto encapsulado de arándano en la estabilidad oxidativa del aceite de oliva.	Los antioxidantes encapsulados del arándano pueden considerarse candidatos para preservar la estabilidad oxidativa de los alimentos que contienen lípidos.	(Liović et al., 2019)

5.4 Digestión *in vitro* de berries

Durante la digestión gastrointestinal, los compuestos bioactivos pueden sufrir alteraciones (da Silva Fernandes et al., 2017). La digestión se utiliza para la digestión y absorción de compuestos activos. Estos compuestos pueden degradarse por tratamiento con pH bajo y enzimas digestivas, seguido de absorción en el epitelio intestinal (Yuan et al., 2019).

En particular, la estructura de las antocianinas se puede ver afectada por diversos factores como el pH, la temperatura y la microbiota intestinal en el colon (Kim et al., 2020), y por lo tanto también afecta a su biodisponibilidad como a su bioaccesibilidad (Becerra, 2017), lo que limita su aplicación como ingredientes en alimentos saludables (Fredes, Osorio, et al., 2018).

El porcentaje de recuperación permite medir la cantidad de grupos fenólicos presente en la digestión completa después de la digestión oral, gástrica e intestinal del alimento de prueba (Lucas-Gonzalez et al., 2016), mientras que la bioaccesibilidad es un índice utilizado para determinar la cantidad de compuestos fenólicos liberados de la matriz alimentaria después de la digestión y que se encuentren disponibles para su absorción en el intestino, y así, poder ejercer su efecto biológico en el cuerpo humano (Pacheco et al., 2018)

La **Figura 20** muestra el índice de recuperación en tres etapas de la digestión *in vitro* (etapa bucal, gástrica e intestinal) de distintos berries.

En los estudios se consideró la etapa bucal, aunque autores han indicado que las antocianinas sufren modificaciones insignificantes debido al corto tiempo de exposición en la boca, lo que resulta en un efecto marginal de la α -amilasa (Fredes, Becerra, et al., 2018).

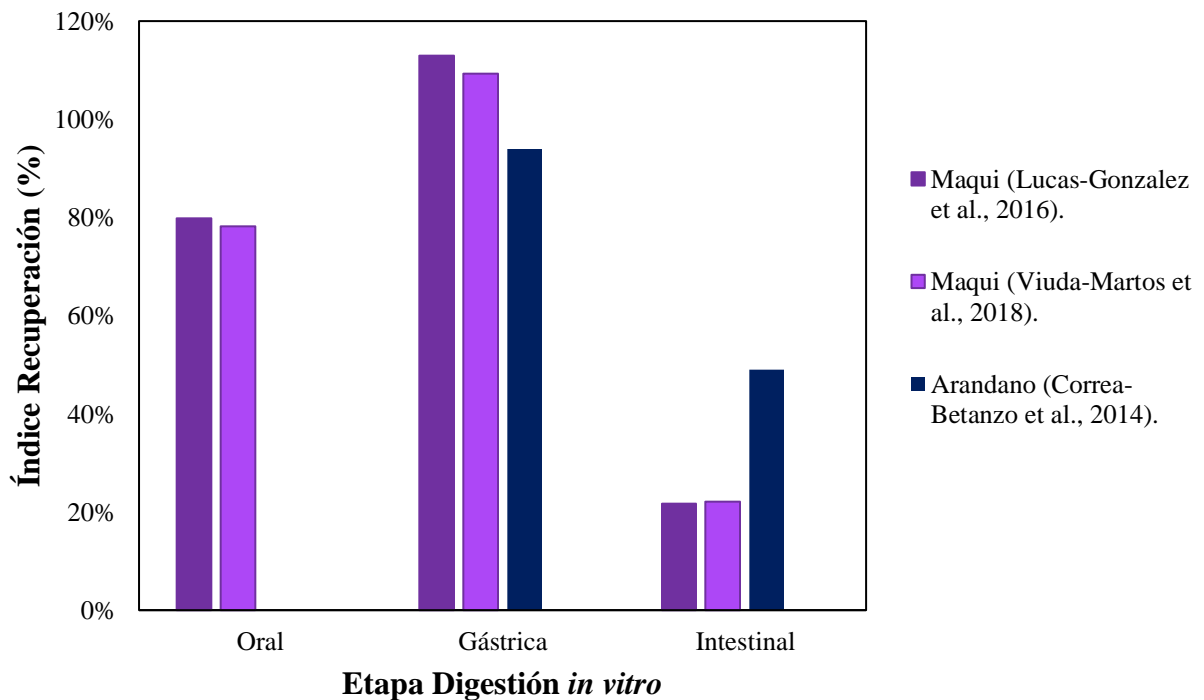


Figura 20. Índice de recuperación (%) de compuestos fenólicos durante la digestión *in vitro*.

En cuanto a la etapa gástrica, se puede notar un aumento de compuestos fenólicos presentes en el estómago a un porcentaje mayor al 100%. Esto se explica porque los autores asumieron que los valores obtenidos mediante la extracción, usando metanol/etanol, correspondía al 100% de compuestos fenólicos del fruto (Lucas-Gonzalez et al., 2016). El aumento en el índice de recuperación se debe principalmente al pH ácido y enzimas que aumentan la extracción de compuestos polifenólicos de la matriz alimentaria (Lucas-Gonzalez et al., 2016), rompiendo los enlaces entre estos compuestos con las proteínas, fibras o residuos de azúcar de la matriz alimentaria (Fredes, Becerra, et al., 2018), dejando expuestos algunos compuestos bioactivos a las condiciones del ambiente gastrointestinal, lo que favorecerá, principalmente, a la absorción de las antocianinas por un aumento de concentración local.

Con respecto al intestino, se nota una disminución en el índice de recuperación (**Figura 20**). Distintos autores mencionaron que la inestabilidad de estos compuestos en condiciones alcalinas, podría atribuirse a que estos compuestos sufren varios cambios, como oxidación, polimerización y transformación. Ha quedado demostrado que las antocianinas son más estables a las condiciones ácidas del estómago que al pH elevado del intestino delgado (McDougall et al., 2007), por lo que se degradan en el intestino. Se informó que la tasa de degradación de las antocianinas es mayor a un pH de 6.0 que a un pH de 2.2 (Kim et al., 2020). De hecho, autores han indicado que el cambio del pH ácido (pH 2) del estómago al pH casi neutro en el duodeno (pH 6) puede ser responsable de la hidrólisis y/o degradación de antocianinas (Fredes, Becerra, et al., 2018), transformándose en diferentes formas estructurales con distintas propiedades químicas, y con diferente biodisponibilidad y actividad biológica (Lucas-González et al., 2016). Por otro lado, Lucas-González et al., (2016) informaron que la absorción intestinal de antocianinas es solo el 1% de la cantidad ingerida por vía oral.

Distintos estudios han demostrado que la técnica de encapsulación ayuda a proteger los compuestos fenólicos mediante interacciones entre estos compuestos con el material encapsulante, lo que podría ayudar a proporcionar niveles suficientes para su absorción durante la digestión gastrointestinal, especialmente en las primeras fases de esta (Viuda-Martos et al., 2018).

Esto se confirma al comparar el índice de recuperación de extractos de fruta sin encapsular y encapsulados. Viuda-Martos et al., (2018) obtuvieron valores superiores en el índice de recuperación de compuestos fenólicos cuando los extractos estaban encapsulados. Esto da cuenta del efecto protector sobre la estabilidad de los compuestos fenólicos durante las

diferentes fases de la digestión gastrointestinal. Por el contrario, en el caso de los flavonoides, se vio una disminución en el índice de recuperación al estar encapsulados, dado que, posiblemente, se encuentren fuertemente ligados a la matriz del agente encapsulaste y no sean liberados por la acción de las enzimas digestivas o por el efecto del pH, lo que lleva a una disminución significativa de sus concentraciones después de la digestión gástrica (Viuda-Martos et al., 2018), influyendo tanto en la bioaccesibilidad como en la biodisponibilidad.

La **Figura 21** muestra el porcentaje de bioaccesibilidad al final de la digestión *in vitro* de distintos berries en distintos formatos: encapsulados, liofilizados y como extracto.

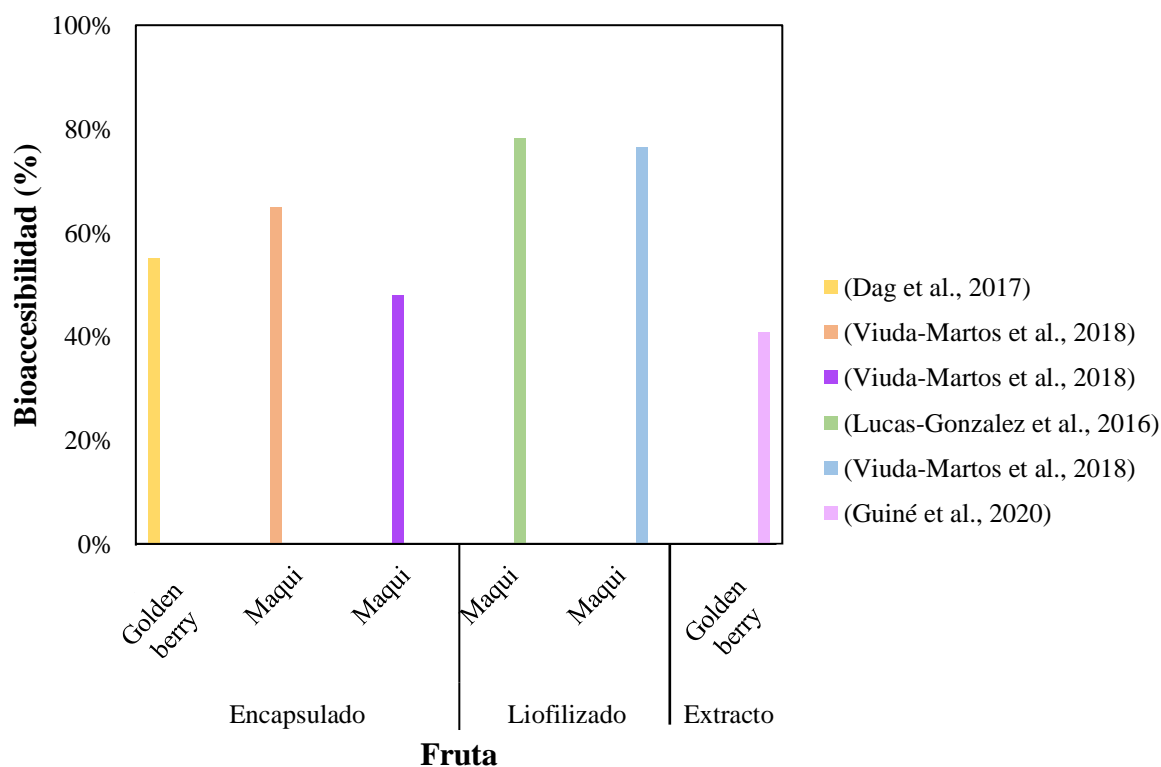


Figura 21. Porcentaje de bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en berries en distintos formatos: encapsulados, liofilizados y como extracto.

Los berries se encapsularon con maltodextrina en el caso del golden berry, obteniendo un índice de bioaccesibilidad del 55% (Dag, Kilercioglu, & Oztop, 2017), y para el maqui se utilizó inulina y goma guar, resultando en un 65% y 48% de índice de bioaccesibilidad respectivamente (Viuda-Martos et al., 2018). Con respecto a los valores obtenidos para las bayas liofilizadas, Lucas-Gonzalez et al., (2016) utilizó maqui dando como resultado un 78% en el índice de bioaccesibilidad. Valores cercanos fueron reportados por Viuda-Martos et al., (2018) para la misma baya con un valor de 76%. Finalmente, en el caso de Guiné et al., (2020), utilizaron el extracto de golden berry, obteniendo como resultado un valor más bajo en el porcentaje de bioaccesibilidad (40%).

Al comparar los valores de bioaccesibilidad para la baya de maqui, se aprecia una disminución en el índice de bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos cuando se encapsula con inulina y goma guar respecto a la baya liofilizada. Esto se podría explicar por la interacción entre los compuestos fenólicos y la fibra durante la digestión gastrointestinal (Viuda-Martos et al., 2018).

En el caso de la goma guar, presenta una alta viscosidad, afectando aún más a la bioaccesibilidad de los compuestos encapsulados. Además de aumentar la viscosidad, la fibra dietética puede reducir las tasas de absorción de antioxidantes, atrapando físicamente los antioxidantes dentro de la matriz de fibra (Palafox-Carlos, Ayala-Zavala, & González-Aguilar, 2011), es decir que un aumento de viscosidad relacionado con la retención de agua por parte de la fibra, conduce a una tasa de difusión reducida de los compuestos bioactivos, por lo que no podrán ser absorbidos (Viuda-Martos et al., 2018).

Cabe recalcar que la inulina y la goma guar presentan en su estructura enlaces beta, enlaces que no son degradados en el intestino delgado por los seres humanos, si no que deberían pasar de forma intacta hasta el colon, por lo que se consideran una fibra alimentaria.

Con respecto a los berries liofilizados, Lucas-González et al., (2016) y Viuda-Martos et al., (2018) obtuvieron valores similares para la bioaccesibilidad en extractos de maqui (78,9% y 76,55% respectivamente). Existen distintos cambios en los compuestos fenólicos que podrían haber ocurrido durante el desarrollo de la digestión gastrointestinal de la baya de maqui, que influye en su bioaccesibilidad, como modificaciones de la estructura química, cambios en la solubilidad o interacciones con otros compuestos (Lucas-Gonzalez et al., 2016).

Cabe destacar que los berries liofilizados conservan su matriz, por lo que están menos propensos al deterioro de los compuestos fenólicos. Además, la liofilización es una técnica que ayuda a conservar los compuestos bioactivos de mejor manera.

En cuanto al porcentaje de bioaccesibilidad del golden berry, se aprecia una aumento de este índice cuando se encuentra encapsulado. Esto se puede explicar por el efecto protector del agente encapsulante, que en este caso es maltodextrina, un polisacárido digerible de baja viscosidad. Cuando el extracto del golden berry no se encapsula, es más fácil que las enzimas digestivas o el pH, degraden los compuestos fenólicos, reflejando un menor porcentaje de bioaccesibilidad (Guiné, Gonçalves, Oliveira, & Correia, 2020).

Las bayas presentan una distinta digestibilidad en el sistema gastrointestinal, que se podría relacionar a la naturaleza de la matriz alimentaria como el contenido de azúcares, fibras, lípidos y proteínas que cada baya presenta (Cervantes, Martínez-Ferri, Soria, & Ariza, 2020),

así como el pH, la temperatura, la presencia de inhibidores o potenciadores de la absorción y la presencia de enzimas (Dag et al., 2017).

Distintos estudios sugieren que la liberación de los compuestos fenólicos desde la matriz alimentaria aumenta paulatinamente desde la digestión gástrica hacia la digestión intestinal (Bouayed, Hoffmann, & Bohn, 2011). Dag et al., (2017) obtuvo una liberación más intensa en el intestino delgado que en el estómago, sugiriendo una posible degradación o transformación de los compuestos polifenólicos debido a la sensibilidad a las condiciones de la etapa gástrica.

Los compuestos fenólicos deben estar biodisponibles para ejercer su función sistémica, y la biodisponibilidad requiere de su digestión, absorción y metabolismo. Los compuestos fenólicos, incluidas las antocianinas, pueden ser absorbidos por el intestino delgado. Es importante destacar que las antocianidinas pueden ser absorbidas por el estómago y alcanzar la circulación sistémica como glucósidos (Iglesias-Carres et al., 2019). Además, no todos los compuestos fenólicos y antioxidantes ingeridos son absorbidos en el estómago y el intestino delgado. Algunos, pasarán al intestino grueso, donde pueden actuar como antioxidantes o bio-transformarse en antioxidantes fenólicos que pueden absorberse en el intestino grueso/colon (Liang et al., 2012). Además, sus estructuras pueden modificarse debido a la microbiota intestinal y conducir a la producción de algunos metabolitos activos específicos (Zheng et al., 2018), debido a enzimas producidas por microorganismos intestinales causando la liberación de polifenoles no extraíbles (Qin et al., 2018).

Los resultados obtenidos por modelos *in vitro* pueden correlacionarse generalmente con los de estudio en humanos y modelos animales (Pinto et al., 2017), y son muy útiles para predecir los resultados de la digestión *in vivo* (Brodkorb et al., 2019), por lo que estos resultados evidencian que distintos berries como maqui o arándano se podrían utilizar como un ingrediente para desarrollar alimentos funcionales debido a sus compuestos bioactivos.

Estos berries tienen un perfil de antocianinas parecido al del calafate, por lo que se podría pensar que el comportamiento sería similar durante las etapas de la digestión *in vitro*. El calafate (*Berberis mycrophylla*), se destaca por presentar una alta cantidad de compuestos bioactivos, principalmente antocianinas, por lo que podría utilizarse como un aditivo en alimentos como colorante natural o como un ingrediente funcional.

6. CONCLUSIÓN

Se estudiaron las características químicas y físicas tanto del arbusto, como de su fruto llamado calafate. Dentro de los estudios revisados, la gran mayoría obtuvo la baya de calafate de La Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

Con respecto a la información nutricional del calafate, los azúcares son los principales nutrientes hallados en la pulpa del fruto, contribuyendo al peso, firmeza, color y sabor del fruto. Pueden existir variaciones en los nutrientes debido al área de recolección, las condiciones climáticas y al grado de madurez del fruto al momento de realizar los análisis, además, estudios demostraron que las semillas de la baya presentan un alto contenido proteico, considerándose como una fuente prometedora de proteínas.

El calafate presenta un alto contenido de compuestos bioactivos y una elevada capacidad antioxidante. Estudios han demostrado tanto *in vitro* como *in vivo* la propiedad antiinflamatoria, hipoglucémica, anticancerígena y antioxidante.

Los principales compuestos bioactivos de la baya de calafate son las antocianinas, considerados colorantes naturales. Estos compuestos son muy sensibles al pH, temperatura, oxígeno y enzimas digestivas, y la encapsulación ha sido una técnica efectiva para protegerlos de estos factores, como se demostró en berries tales como arándano, frambuesa y maqui.

Con respecto a la digestión *in vitro*, se analizó el porcentaje de recuperación de berries en las etapas digestivas (bucal-gástrica-intestinal), donde se mostró el alto contenido de polifenoles en la etapa gástrica.

Además, se estudió el porcentaje de bioaccesibilidad de compuestos fenólicos de berries liofilizados, en extracto y encapsulados con fibras (inulina y goma guar) y con polisacárido (maltodextrina), concluyendo que la naturaleza del agente encapsulante afecta a la bioaccesibilidad de los compuestos.

Finalmente se puede concluir que falta potenciar el calafate, un berry nativo chileno, que posee niveles de polifenoles y antocianinas parecidos al del maqui, berry conocido popularmente por ser un poderoso antioxidante. Además, se han demostrado las propiedades del calafate por lo que se podrían usar de base para futuras investigaciones.

Particularmente, no se encontraron estudios o información sobre encapsulación de calafate. Lo mismo ocurre con la digestión *in vitro*, no se encontraron estudios en el calafate y hoy en día hay escasas investigaciones de simulación de la digestión en otros berries. Sin embargo, se podría pensar que la baya de calafate seguiría la misma tendencia que los berries estudiados.

Este trabajo ayudará a difundir las características y propiedades del calafate (*Berberis microphylla*), y así, ser un aporte a la academia y a la industria de alimentos nacional, creando conciencia e interés sobre el potencial uso de un fruto nativo chileno como materia prima en la industria de antioxidantes, como ingrediente funcional y en la elaboración de alimentos procesados. A su vez, servirá para despertar la preocupación y responsabilidad de las

“Características químicas, nutricionales y bioactivas del Calafate (Berberis microphylla): una revisión actualizada”

instituciones nacionales para identificar las limitaciones y debilidades en la producción de calafate que impiden o retardan usar esta materia prima en su máximo potencial.

A partir de este trabajo, sería interesante investigar en profundidad sobre la encapsulación de la baya de calafate para demostrar su eficiencia y sus aplicaciones en alimentos, como, por ejemplo, como un ingrediente funcional, ya que posee una elevada cantidad de compuestos bioactivos, o como colorante natural en alimentos.

7. PERSPECTIVA PARA EL FUTURO

Con este trabajo, se espera poder difundir las propiedades de la baya de calafate a la población para generar conciencia de sus efectos positivos en la salud, fomentando su consumo, y que sea de utilidad para la academia en futuras investigaciones relacionadas, para el sector productivo y para la sociedad.

Además, se espera lograr despertar un mayor interés por parte de instituciones nacionales sobre la domesticación y cultivo del calafate mediante herramientas que ayuden a rescatarlo y resguardarlo, para alcanzar mayores volúmenes de cosecha y así aprovechar al máximo el potencial del fruto para ser utilizado en la industria alimentaria como ingrediente en alimentos funcionales, debido a que hoy en día, la oferta no es suficiente para la demanda.

Al darse cuenta de las propiedades, beneficios, y de la posible oportunidad para incorporar la baya de calafate a productos alimenticios para llamar la atención de los consumidores por los múltiples beneficios que ofrece, la industria buscará suficiente materia prima para su producción. Sin embargo, la oferta es escasa y heterogénea en términos de calidad del fruto, por lo que aumentaría la presión e interés por el calafate en el sector de la agricultura.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Akhavan Mahdavi, S., Jafari, S. M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011>
- Anhê, F. F., Nachbar, R. T., Varin, T. V., Vilela, V., Dudonné, S., Pilon, G., ... Marette, A. (2017). A polyphenol-rich cranberry extract reverses insulin resistance and hepatic steatosis independently of body weight loss. *Molecular Metabolism*, 6(12), 1563–1573. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2017.10.003>
- Arena, M. E., Santamartino, L., Cabana, J., Vicente, A., Curvetto, N., & Radice, S. (2018). *Calafate Berberis microphylla*. (September), 1–25.
- Arena, M., Vater, G., & Peri, P. (2003). Fruit production of *Berberis buxifolia* Lam. in Tierra del Fuego. *HortScience*, 38(2), 200–202. <https://doi.org/10.21273/hortsci.38.2.200>
- Arena, Miriam, Pastur, G. M., Lencinas, M. V., Soler, R., & Bustamante, G. (2020). Changes in the leaf nutrient and pigment contents of *Berberis microphylla* G. Forst. in relation to irradiance and fertilization. *Heliyon*, 6(1), e03264. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03264>
- Arribillaga, D. (2000). *DOMESTICACION DEL CALAFATE (Berberis buxifolia Lam.) PARA FINES AGROINDUSTRIALES*. 117.
- Becerra, C. (2017). “Encapsulación de jugo de maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) por secado por atomización y liofilización: estabilidad en matriz alimenticia y en modelo de simulación gastrointestinal in vitro.”
- Boeri, P., Piñuel, L., Dalzotto, D., Monasterio, R., Fontana, A., Sharry, S., ... Carrillo, W. (2020). Argentine Patagonia barberry chemical composition and evaluation of its antioxidant capacity. *Journal of Food Biochemistry*, 44(7), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13254>
- Bora, P. S., Narain, N., Rocha, R. V. M., & Queiroz Paulo, M. (2001). Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits. *Grasas y Aceites*, 52(3–4), 171–174. <https://doi.org/10.3989/gya.2001.v52.i3-4.353>
- Bottini, M. C. J., De Bustos, A., Sanso, A. M., Jouve, N., & Poggio, L. (2007). Relationships in Patagonian species of *Berberis* (Berberidaceae) based on the characterization of

- rDNA internal transcribed spacer sequences. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 153(3), 321–328. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2007.00586.x>
- Bouayed, J., Hoffmann, L., & Bohn, T. (2011). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.052>
- Brito, A., Areche, C., Sepúlveda, B., Kennelly, E. J., & Simirgiotis, M. J. (2014). Anthocyanin characterization, total phenolic quantification and antioxidant features of some chilean edible berry extracts. *Molecules*, 19(8), 10936–10955. <https://doi.org/10.3390/molecules190810936>
- Brodkorb, A., Egger, L., Alming, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., ... Recio, I. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14(4), 991–1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>
- Buck, K. T. (1987). The Bisbenzylisoquinoline alkaloids. *Alkaloids: Chemistry and Pharmacology*, 30(C), 1–222. [https://doi.org/10.1016/S0099-9598\(08\)60206-0](https://doi.org/10.1016/S0099-9598(08)60206-0)
- Busso Casati, C., Baeza, R., & Sánchez, V. (2019). Physicochemical properties and bioactive compounds content in encapsulated freeze-dried powders obtained from blueberry, elderberry, blackcurrant and maqui berry. *Journal of Berry Research*, 9(3), 431–447. <https://doi.org/10.3233/JBR-190409>
- Bustamante, L., Pastene, E., Duran-Sandoval, D., Vergara, C., Von Baer, D., & Mardones, C. (2018). Pharmacokinetics of low molecular weight phenolic compounds in gerbil plasma after the consumption of calafate berry (*Berberis microphylla*) extract. *Food Chemistry*, 268(June), 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.048>
- Calderón-Reyes, C., Silva, R., Leal, P., Ribera-Fonseca, A., Cáceres, C., Riquelme, I., ... Reyes-Díaz, M. (2020). Anthocyanin-Rich Extracts of Calafate (*Berberis microphylla* G. Forst.) Fruits Decrease In Vitro Viability and Migration of Human Gastric and Gallbladder Cancer Cell Lines. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00260-8>
- Calfío, C., & Huidobro-Toro, J. P. (2019). Potent vasodilator and cellular antioxidant activity of endemic patagonian calafate berries (*berberis microphylla*) with nutraceutical potential. *Molecules*, 24(15). <https://doi.org/10.3390/molecules24152700>

- Calvo-Lerma, J., Fornés-Ferrer, V., Heredia, A., & Andrés, A. (2019). In vitro digestion models to assess lipolysis: The impact of the simulated conditions on gastric and intestinal pH, bile salts and digestive fluids. *Food Research International*, 125(January), 108511. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108511>
- Cárdenas, A. (2012). IDENTIFICACIÓN E INCIDENCIA DE *Puccinia meyeri-albertii* P. Magn. EN CALAFATE (*Berberis microphylla* G. Forst.) Y MICHAY (*Berberis darwinii* Hook.) EN EL LLANO CENTRAL DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA. Tesis (universidad de la Frontera). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cervantes, L., Martínez-Ferri, E., Soria, C., & Ariza, M. T. (2020). Bioavailability of phenolic compounds in strawberry, raspberry and blueberry: Insights for breeding programs. *Food Bioscience*, 37, 100680. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100680>
- Chamorro, M. F., Reiner, G., Theoduloz, C., Ladio, A., Schmeda-Hirschmann, G., Gómez-Alonso, S., & Jiménez-Aspee, F. (2019). Polyphenol composition and (bio)activity of *Berberis* species and wild strawberry from the Argentinean Patagonia. *Molecules*, 24(18), 1–24. <https://doi.org/10.3390/molecules24183331>
- Chang, S. K., Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2019). Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects—A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(10), 1580–1604. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1422111>
- Coklar, H., & Akbulut, M. (2017). Anthocyanins and phenolic compounds of *Mahonia aquifolium* berries and their contributions to antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 35, 166–174. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.037>
- Colak, N., Primetta, A. K., Riihinen, K. R., Jaakola, L., Grúz, J., Strnad, M., ... Ayaz, F. A. (2017). Phenolic compounds and antioxidant capacity in different-colored and non-pigmented berries of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Food Bioscience*, 20(March), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.004>
- da Silva Fernandes, M., Sanches Lima, F., Rodrigues, D., Handa, C., Guelfi, M., Garcia, S., & Ida, E. I. (2017). Evaluation of the isoflavone and total phenolic contents of kefir-fermented soymilk storage and after the in vitro digestive system simulation. *Food Chemistry*, 229, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.095>
- Dag, D., Kilercioglu, M., & Oztop, M. H. (2017). Physical and chemical characteristics of

- encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder. *LWT - Food Science and Technology*, 83, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.007>
- Dalzotto, D., Boeri, P., & Piñuel, L. (2019). *BIODIVERSIDAD REGIONAL : ESTRATEGIAS DE PROPAGACIÓN , PROPIEDADES FRUTOS DEL CALAFATE (Berberis microphylla G. FORST)*.
- Damascos, M. A., Arribere, M., Svriz, M., & Bran, D. (2008). Fruit mineral contents of six wild species of the north andean patagonia, argentina. *Biological Trace Element Research*, 125(1), 72–80. <https://doi.org/10.1007/s12011-008-8159-y>
- De Barros Fernandes, R., Vilela Borges, S., & Alvarenga Botrel, D. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.083>
- de Souza, D. R., Willems, J. L., & Low, N. H. (2019). Phenolic composition and antioxidant activities of saskatoon berry fruit and pomace. *Food Chemistry*, 290(November 2018), 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.077>
- Debnath-Canning, M., Unruh, S., Vyas, P., Daneshtalab, N., Igamberdiev, A., & Weber, J. (2020). Fruits and leaves from wild blueberry plants contain diverse polyphenols and decrease neuroinflammatory responses in microglia. *Journal of Functional Foods*, 68(February), 103906. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103906>
- Domínguez, E., Mc Leod, C., Pino, T., Sepúlveda, P., Aguila, K., & Ojeda, A. (2017). *Funciones y servicios del calafate en la región del Magallanes P R I M A I N T E R R A C H I L E N S I S*. (September).
- Fredes, C., Becerra, C., Parada, J., & Robert, P. (2018). The microencapsulation of maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) juice by spray-drying and freeze-drying produces powders with similar anthocyanin stability and bioaccessibility. *Molecules*, 23(5). <https://doi.org/10.3390/molecules23051227>
- Fredes, C., Osorio, M. J., Parada, J., & Robert, P. (2018). Stability and bioaccessibility of anthocyanins from maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) juice microparticles. *LWT - Food Science and Technology*, 91(June 2017), 549–556. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.090>
- Fredes, C., Parada, A., Salinas, J., & Robert, P. (2020). Phytochemicals and traditional use

- of two southernmost Chilean berry fruits: Murta (*Ugni molinae* Turcz.) and Calafate (*Berberis buxifolia* Lam.). *Foods*, 9(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods9010054>
- Furriánca, M., Alvear, M., Zambrano, T., Fajardo, V., & Salazar, L. (2017a). Hypoglycemic effect of *Berberis microphylla* G. Forst. root extract. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 16(9), 2179–2184. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v16i9.19>
- Furriánca, M., Alvear, M., Zambrano, T., Fajardo, V., & Salazar, L. (2017b). Phytochemical constituents of the root of *Berberis microphylla*. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(6), 225–227. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10i6.17803>
- Gagneten, M., Corfield, R., Mattson, M. G., Sozzi, A., Leiva, G., Salvatori, D., & Schebor, C. (2019). Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. *Powder Technology*, 342, 1008–1015. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.048>
- García-Díaz, D. F., Jiménez, P., Reyes-Farías, M., Soto-Covasich, J., & Costa, A. G. V. (2019). A Review of the Potential of Chilean Native Berries in the Treatment of Obesity and its Related Features. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 277–286. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00746-6>
- González, E., Gómez-Caravaca, A. M., Giménez, B., Cebrián, R., Maqueda, M., Martínez-Férez, A., ... Robert, P. (2019). Evolution of the phenolic compounds profile of olive leaf extract encapsulated by spray-drying during *in vitro* gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 279(December 2018), 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.127>
- González, E., Gómez-Caravaca, A. M., Giménez, B., Cebrián, R., Maqueda, M., Parada, J., ... Robert, P. (2020). Role of maltodextrin and inulin as encapsulating agents on the protection of oleuropein during *in vitro* gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 310(November 2019), 125976. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125976>
- Guiné, R. P. F., Gonçalves, F. J. A., Oliveira, S. F., & Correia, P. M. R. (2020). Evaluation of Phenolic Compounds, Antioxidant Activity and Bioaccessibility in *Physalis Peruviana* L. *International Journal of Fruit Science*, 20(S2), S470–S490. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741056>
- Huang, Y., & Zhou, W. (2019). Microencapsulation of anthocyanins through two-step emulsification and release characteristics during *in vitro* digestion. *Food Chemistry*,

278(October 2018), 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.073>

- Iglesias-Carres, L., Mas-Capdevila, A., Bravo, F. I., Aragonès, G., Arola-Arnal, A., & Muguerza, B. (2019). A comparative study on the bioavailability of phenolic compounds from organic and nonorganic red grapes. *Food Chemistry*, 299(February), 125092. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125092>
- Kim, I., Moon, J. K., Hur, S. J., & Lee, J. (2020). Structural changes in mulberry (*Morus Microphylla*. Buckl) and chokeberry (*Aronia melanocarpa*) anthocyanins during simulated in vitro human digestion. *Food Chemistry*, 318(November 2019), 126449. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126449>
- Koh, J., Xu, Z., & Wicker, L. (2020). Blueberry pectin and increased anthocyanins stability under in vitro digestion. *Food Chemistry*, 302(March 2019), 125343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125343>
- Lazze, M. C., Savio, M., Pizzala, R., Cazzalini, O., Perucca, P., Scovassi, A. I., ... Bianchi, L. (2004). Anthocyanins induce cell cycle perturbations and apoptosis in different human cell lines. *Carcinogenesis*, 25(8), 1427–1433. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgh138>
- Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., & Kong, A. H. (2012). Stevia rebaudiana Bertoni, source of a high-potency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.140>
- Li, W., Zhang, X., He, Z., Chen, Y., Li, Z., Meng, T., ... Cao, Y. (2020). In vitro and in vivo antioxidant activity of eucalyptus leaf polyphenols extract and its effect on chicken meat quality and cecum microbiota. *Food Research International*, 136(February), 109302. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109302>
- Liang, L., Wu, X., Zhao, T., Zhao, J., Li, F., Zou, Y., ... Yang, L. (2012). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) following simulated gastro-intestinal digestion. *Food Research International*, 46(1), 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.024>
- Liović, N., Bošković, P., Drvenica, I., Jambrak, A. R., Dropulić, A. M., Krešić, G., ... Bilušić, T. (2019). Phenolic Extracts from *Vaccinium corymbosum* L. Loaded in microemulsions and liposomes as enhancers of olive oil oxidative stability. *Polish*

Journal of Food and Nutrition Sciences, 69(1), 23–33. <https://doi.org/10.31883/pjfn-2019-0003>

- Liu, R. H. (2013). Health-Promoting Components of Fruits and Vegetables in the Diet. *Advances in Nutrition*, 4, 384S–392S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003517.convenient>
- Lucas-Gonzalez, R., Navarro-Coves, S., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., Muñoz, L. A., & Viuda-Martos, M. (2016). Assessment of polyphenolic profile stability and changes in the antioxidant potential of maqui berry (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) during in vitro gastrointestinal digestion. *Industrial Crops and Products*, 94, 774–782. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.057>
- Mahdavee Khazaei, K., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Hemmati Kakhki, A. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal’s anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, 105(1), 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.042>
- Mariangel, E., Reyes-Diaz, M., Lobos, W., Bensch, E., Schalchli, H., & Ibarra, P. (2013). The antioxidant properties of calafate (*Berberis microphylla*) fruits from four different locations in southern Chile. *Ciencia e Investigacion Agraria*, 40(1), 161–170. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202013000100014>
- Mc Lead, C., Pino, M. T., Aguila, K., & Ojeda, A. (2017). *Calafate (Berberis microphylla): otro superberry Chileno*. 4.
- Mc Leod, C., Pino, M., Ojeda, A., Aguila, K., Saavedra, J., Zamora, O., & Díaz, A. (2017). *AVANCES EN RECUPERACIÓN Y EXPLOTACIÓN DEL CALAFATE EN LA REGIÓN DE MAGALLANES*. 1–4.
- Mc Leod, Claudia, & Pino, M. T. (n.d.). *El Calafate y su proyección como superberry para la industria alimentaria*. 70–74.
- McDougall, G. J., Fyffe, S., Dobson, P., & Stewart, D. (2007). Anthocyanins from red cabbage - stability to simulated gastrointestinal digestion. *Phytochemistry*, 68(9), 1285–1294. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.02.004>
- Mehran, M., Masoum, S., & Memarzadeh, M. (2020). Improvement of thermal stability and antioxidant activity of anthocyanins of *Echium amoenum* petal using maltodextrin/modified starch combination as wall material. *International Journal of*

- Biological Macromolecules*, 148, 768–776.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.197>
- Mirhadi, E., Rezaee, M., & Malaekheh-Nikouei, B. (2018). Nano strategies for berberine delivery, a natural alkaloid of *Berberis*. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 104(May), 465–473. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.05.067>
- Ojeda, A., Hirzel, J., Pino, M. T., Mc Leod, C., & Águila, K. (2017). *Composición y evolución nutricional del calafate en la región de Magallanes*. (June), 1–8.
- Pacheco, C., González, E., Robert, P., & Parada, J. (2018). Retention and pre-colon bioaccessibility of oleuropein in starchy food matrices, and the effect of microencapsulation by using inulin. *Journal of Functional Foods*, 41(November 2017), 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.037>
- Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants. *Journal of Food Science*, 76(1), 6–15. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01957.x>
- Parra, R. (2011). *Revisión : Microencapsulación de Alimentos*. 63(2), 5669–5684.
- Pérez-leonard, H., Bueno-garcía, G., & Brizuela-herrada, M. A. (2013). *Microencapsulación : una vía de protección para microorganismos probióticos*. 13.
- Pieczykolan, E., & Kurek, M. A. (2019). Use of guar gum, gum arabic, pectin, beta-glucan and inulin for microencapsulation of anthocyanins from chokeberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 129, 665–671. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.02.073>
- Pino, M., Pérez, R., Vergara, C., Domínguez, E., & Zamora, O. (2019). *MICHAY : berry nativo de amplia distribución con metabolitos de interés para la industria de alimentos*. (September), 1–4. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28858.95687>
- Pino, M. T., Zamora, O., Mc Leod, C., Águila, K., Ojeda, A., & Vergara, C. (2018). *Calafate : propiedades del fruto y su potencial como ingrediente*. (May), 20–23. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35086.66886>
- Pinto, J., Spínola, V., Llorent-Martínez, E. J., Fernández-de Córdova, M. L., Molina-García, L., & Castilho, P. C. (2017). Polyphenolic profile and antioxidant activities of Madeiran elderberry (*Sambucus lanceolata*) as affected by simulated in vitro digestion. *Food*

- Research International*, 100, 404–410. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.044>
- Pitta-Alvarez, S. I., Medina-Bolivar, F., Alvarez, M. A., Scambatto, A. A., & Marconi, P. L. (2008). In vitro shoot culture and antimicrobial activity of *Berberis buxifolia* Lam. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 44(6), 502–507. <https://doi.org/10.1007/s11627-008-9136-z>
- Pomilio, A. B., & Mercader, A. G. (2017). Natural Acylated Anthocyanins and Other Related Flavonoids: Structure Elucidation of *Ipomoea cairica* Compounds and QSAR Studies Including Multidrug Resistance. In *Studies in Natural Products Chemistry* (1st ed., Vol. 55). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64068-0.00009-7>
- Qin, Y., Wang, L., Liu, Y., Zhang, Q., Li, Y., & Wu, Z. (2018). Release of phenolics compounds from *Rubus idaeus* L. dried fruits and seeds during simulated in vitro digestion and their bio-activities. *Journal of Functional Foods*, 46(March), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.046>
- Radice, S., Alonso, M., & Arena, M. E. (2018). *Berberis microphylla*: A species with phenotypic plasticity in different climatic conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*, 20(10), 2221–2229. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0768>
- Ramirez, J. E., Zambrano, R., Sepúlveda, B., Kennelly, E. J., & Simirgiotis, M. J. (2015). Anthocyanins and antioxidant capacities of six Chilean berries by HPLC-HR-ESI-ToF-MS. *Food Chemistry*, 176, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.039>
- Reyes-Farias, M., Vasquez, K., Fuentes, F., Ovalle-Marin, A., Parra-Ruiz, C., Zamora, O., ... Garcia-Diaz, D. F. (2016). Extracts of Chilean native fruits inhibit oxidative stress, inflammation and insulin-resistance linked to the pathogenic interaction between adipocytes and macrophages. *Journal of Functional Foods*, 27, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.08.052>
- Reyes-Farias, Marjorie, Vasquez, K., Ovalle-Marin, A., Fuentes, F., Parra, C., Quitral, V., ... Garcia-Diaz, D. F. (2015). Chilean native fruit extracts inhibit inflammation linked to the pathogenic interaction between adipocytes and macrophages. *Journal of Medicinal Food*, 18(5), 601–608. <https://doi.org/10.1089/jmf.2014.0031>
- Rodoni, L. M., Feuring, V., Zaro, M. J., Sozzi, G. O., Vicente, A. R., & Arena, M. E. (2014). Ethylene responses and quality of antioxidant-rich stored barberry fruit (*Berberis microphylla*). *Scientia Horticulturae*, 179, 233–238.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.023>

- Romero-González, J., Shun Ah-Hen, K., Lemus-Mondaca, R., & Muñoz-Fariña, O. (2020). Total phenolics, anthocyanin profile and antioxidant activity of maqui, *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, berries extract in freeze-dried polysaccharides microcapsules. *Food Chemistry*, 313(December 2019), 126115. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126115>
- Ruiz, A., Hermosín-Gutiérrez, I., Mardones, C., Vergara, C., Herlitz, E., Vega, M., ... Von Baer, D. (2010). Polyphenols and antioxidant activity of calafate (*berberis microphylla*) fruits and other native berries from Southern Chile. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(10), 6081–6089. <https://doi.org/10.1021/jf100173x>
- Ruiz, A., Hermosín-Gutiérrez, I., Vergara, C., von Baer, D., Zapata, M., Hitschfeld, A., ... Mardones, C. (2013). Anthocyanin profiles in south Patagonian wild berries by HPLC-DAD-ESI-MS/MS. *Food Research International*, 51(2), 706–713. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.043>
- Salinas, J., Acuña, B., Uribe, A., & Diaz, E. (2013). *PRODUCCIÓN DE ARBOLES Y ARBUSTOS NATIVOS CON FINES DE RESTAURACIÓN DE BOSQUES Y ÁREAS DEGRADADAS EN LA REGIÓN DE AYSÉN.*
- Salinas, J., Moya, I., & Gómez, C. (2012). *Estudio de Productos Forestales No Madereros de la Región de Aysén.*
- Schiff, P. L. (1999). The bisbenzylisoquinoline alkaloids - a tabular review. *Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives*, 14(C), 1–284. [https://doi.org/10.1016/S0735-8210\(99\)80004-1](https://doi.org/10.1016/S0735-8210(99)80004-1)
- Schmeda-Hirschmann, G., Jiménez-Aspee, F., Theoduloz, C., & Ladio, A. (2019). Patagonian berries as native food and medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 241(April), 111979. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.111979>
- Shan Loo, Y., Madheswaran, T., Rajendran, R., & Bose, R. J. (2020). Encapsulation of berberine into liquid crystalline nanoparticles to enhance its solubility and anticancer activity in MCF7 human breast cancer cells. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 57(February), 101756. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101756>
- Silva, E. K., Zabot, G. L., Bargas, M. A., & Meireles, M. A. A. (2016). Microencapsulation of lipophilic bioactive compounds using prebiotic carbohydrates: Effect of the degree

- of inulin polymerization. *Carbohydrate Polymers*, 152, 775–783. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.066>
- Soto-Covasich, J., Reyes-Farías, M., Torres, R. F., Vasquez, K., Duarte, L., Quezada, J., ... García-Díaz, D. F. (2020). A polyphenol-rich Calafate (*Berberis microphylla*) extract rescues glucose tolerance in mice fed with cafeteria diet. *Journal of Functional Foods*, 67(June 2019), 103856. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103856>
- Tacón, A. (2017). *Buenas Prácticas de Recolección Sustentable para Productos Forestales No Madereros*.
- Takahama, U., & Hirota, S. (2018). Interactions of flavonoids with α -amylase and starch slowing down its digestion. *Food and Function*, 9(2), 677–687. <https://doi.org/10.1039/c7fo01539a>
- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>
- Tu, J., Shi, D., Wen, L., Jiang, Y., Zhao, Y., Yang, J., ... Yang, B. (2019). Identification of moracin N in mulberry leaf and evaluation of antioxidant activity. *Food and Chemical Toxicology*, 132(April), 110730. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110730>
- Tunasamy, K., Suryadevara, N., & Athimoolam, T. (2019). Screening of Vernonia amygdalina leaf extracts for antioxidant and antimicrobial activity. *Materials Today: Proceedings*, 16, 1809–1818. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.055>
- Valdebenito, G. (2012). *USO Y VALOR DE LOS PRODUCTOS FORESTALES NO MADEREROS (PFNM) EN CHILE*.
- Varas, B., Castro, M. H., Rodríguez, R., Von Baer, D., Mardones, C., & Hinrichsen, P. (2013). Identification and Characterization of Microsatellites from Calafate (*Berberis microphylla*, Berberidaceae). *Applications in Plant Sciences*, 1(7), 5. <https://doi.org/10.3732/apps.1200003>
- Vidal, J. L., Avello, L. M., Loyola, C. C., Campos, P. J., Aqueveque, M. P., Dungan, R. S., ... Guarda, M. A. (2013). Microencapsulation of maqui (*Aristotelia chilensis* [Molina] Stuntz) leaf extracts to preserve and control antioxidant properties. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(1), 17–23. <https://doi.org/10.4067/s0718->

58392013000100003

- Viuda-Martos, M., Lucas-Gonzalez, R., Ballester-Costa, C., Pérez-Álvarez, J. A., Muñoz, L. A., & Fernández-López, J. (2018). Evaluation of protective effect of different dietary fibers on polyphenolic profile stability of maqui berry (: *Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) during in vitro gastrointestinal digestion. *Food and Function*, 9(1), 573–584. <https://doi.org/10.1039/c7fo01671a>
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2018). Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. In *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Yang, D., Chen, Y., Guo, F., Huang, B., Okyere, S. A., & Wang, H. (2019). Comparative analysis of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of leaves, leaf tea and root from *Codonopsis pilosula*. *Industrial Crops and Products*, 142(October), 111844. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111844>
- Yuan, Y., Li, C., Zheng, Q., Wu, J., Zhu, K., Shen, X., & Cao, J. (2019). Effect of simulated gastrointestinal digestion in vitro on the antioxidant activity, molecular weight and microstructure of polysaccharides from a tropical sea cucumber (*Holothuria leucospilota*). *Food Hydrocolloids*, 89(November 2018), 735–741. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.040>
- Zheng, G., Deng, J., Wen, L., You, L., Zhao, Z., & Zhou, L. (2018). Release of phenolic compounds and antioxidant capacity of Chinese hawthorn “*Crataegus pinnatifida*” during in vitro digestion. *Journal of Functional Foods*, 40(August 2017), 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.039>
- Zuidam, N. J., & Nedovic, V. A. (2010). *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (N. J. Z. • V. A. N., Ed.).