

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**DIGESTIBILIDAD DE POLIFENOLES EN FRUTOS DE MAQUI SILVESTRE,
ARISTOTELIA CHILENSIS (MOL.) STUNTZ, EN DISTINTOS ESTADOS DE
MADUREZ Y EN TRES LOCALIDADES**

POR

JERTTY SCARLET PEÑA SANTOS

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

**CHILLÁN – CHILE
2025**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**DIGESTIBILIDAD DE POLIFENOLES EN FRUTOS DE MAQUI SILVESTRE,
ARISTOTELIA CHILENSIS (MOL.) STUNTZ, EN DISTINTOS ESTADOS DE
MADUREZ Y EN TRES LOCALIDADES**

POR

JERTTY SCARLET PEÑA SANTOS

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

**CHILLÁN – CHILE
2025**

Aprobada por:

Profesor Asociado. Pamela Williams S.
Ing. Agrónomo, Dr.

Guía

Profesor Asociado. Susana Fischer G.
Ing. Agrónomo, M.Sc. Dr.

Asesor

Profesor Titular. María Dolores López B.
Lic. Química, Dr.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, M.Sc.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Materiales y Métodos.....	5
Resultados y Discusión.....	7
Conclusiones.....	20
Referencias.....	21
Anexos.....	23

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		Página
Figura 1	Box-plot de biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) de tres antocianinas (D 3,5-digluco­sido; C 3,5-digluco­sido; y D 3-gluco­sido) en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	13
Tabla 1	Digestibilidad de antocianinas (%) de los dos compuestos en las tres localidades estudiadas en estado fenológico maduro.....	7
Tabla 2	Digestibilidad (%) de quercetina 3-rutinosido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	8
Tabla 3	Digestibilidad (%) de quercetina 3-gluco­sido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	9
Tabla 4	Digestibilidad (%) de dimetoxi-Q en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	9
Tabla 5	Digestibilidad (%) de flavonoles totales en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	10
Tabla 6	Biodisponibilidad de antocianinas $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de los dos compuestos en las tres localidades estudiadas en estado fenológico maduro.....	14
Tabla 7	Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de quercetina 3-rutinosido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	15
Tabla 8	Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de quercetina 3-gluco­sido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).....	16

Tabla 9	Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de dimetoxi-quercetina en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualem, Cayumanque y Coihueco).....	16
Tabla 10	Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de flavonoles totales en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualem, Cayumanque y Coihueco).....	18
Anexo 1	Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$) en Cayumanque, Coihueco y Tregualem entre febrero 2018 a febrero 2019.....	23

DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE POLIFENOLES DE FRUTOS DE MAQUI SILVESTRE, *ARISTOTELIA CHILENSIS* (MOL.) STUNTZ, COSECHADOS EN DISTINTOS ESTADOS DE MADUREZ

IN VITRO DIGESTIBILITY OF POLYPHENOLS IN FRUITS OF WILD MAQUI, *ARISTOTELIA CHILENSIS* (MOL.) STUNTZ, HARVESTED IN DIFFERENT STATES OF MATURITY

Palabras índice adicionales: antioxidantes, digestibilidad, antocianinas, flavonoles.

RESUMEN

El interés por alimentos saludables y su rol en la prevención de enfermedades destaca la importancia de los antioxidantes, como los polifenoles. En este contexto, el maqui (*Aristotelia chilensis*), es notable por su alta concentración de estos compuestos bioactivos. Este estudio evaluó la digestibilidad (DG) y biodisponibilidad (BD) de los polifenoles del maqui en tres estados de madurez y tres localidades mediante pruebas *in vitro*. Los resultados mostraron que: la localidad no afectó la DG de las antocianinas totales, pero sí influyó en la DG de los flavonoles totales, en cambio, sí tuvo un efecto en la BD de las antocianinas totales, pero no en la de los flavonoles totales. La BD de las antocianinas y de los flavonoles en la mayoría de los casos aumentaron con la madurez del fruto, aunque este incremento no fue significativo en la BD de flavonoles. Los compuestos más digeribles fueron la delfinidina 3,5-digluconato (antocianina) y los derivados de quercetina (flavonoles), mientras que la antocianina más biodisponible fue la delfinidina 3,5-digluconato, sin diferencias entre flavonoles. En general, los resultados indican que la DG y BD del maqui aumenta con la madurez del fruto y que la localidad puede o no influir en la DG y BD de sus polifenoles, dependiendo del compuesto evaluado.

SUMMARY

The interest in healthy foods and their role in disease prevention highlights the importance of antioxidants, such as polyphenols. In this context, maqui (*Aristotelia*

chilensis) stands out for its high concentration of these bioactive compounds. This study evaluated the digestibility (DG) and bioavailability (BD) of maqui polyphenols at three maturity stages and from three different locations using in vitro tests. The results showed that: Location did not affect the DG of total anthocyanins but did influence the DG of total flavonols; however, it did have an effect on the BD of total anthocyanins but not on total flavonols. The BD of anthocyanins and flavonols generally increased with fruit maturity, although this increase was not significant for flavonols. The most digestible compounds were delphinidin-3,5-diglucoside (anthocyanin) and quercetin derivatives (flavonols), while the most bioavailable anthocyanin was delphinidin-3,5-diglucoside, with no significant differences among flavonols. Overall, the results indicate that the DG and BD of maqui increase with fruit maturity and that location may or may not influence the DG and BD of its polyphenols, depending on the compound evaluated.

INTRODUCCIÓN

El creciente interés por una alimentación saludable y su impacto en la prevención de enfermedades ha impulsado el consumo de suplementos y alimentos ricos en nutrientes (Fuentealba *et al.*, 2021). Diversos estudios sugieren que las dietas ricas en antioxidantes pueden desempeñar un papel fundamental en la prevención y manejo de diversas afecciones, incluyendo trastornos neurodegenerativos, enfermedades cerebrovasculares y respiratorias (Masoodi *et al.*, 2019; Lang *et al.*, 2020). Entre los alimentos más benéficos se encuentran los berries, reconocidos por su elevada concentración de polifenoles y antioxidante esenciales para neutralizar radicales libres y prevenir la formación de compuestos dañinos para el organismo (Kabra *et al.*, 2019).

Los polifenoles, compuestos naturales de origen vegetal, se clasifican en flavonoides y no flavonoides (Castro, 2019), y se caracterizan por la presencia de un anillo aromático unido a dos o más grupos hidroxilo (Valencia *et al.*, 2017). Dentro de este grupo, el maqui, (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz), también conocido como maquei o queldrón (Salina y Caballé, 2020) es una baya que destaca por ser rica en polifenoles, siendo considerada una de las frutas con

mayor capacidad antioxidante en comparación con otros berries (Fredes *et al.*, 2012; Benedetti, 2012).

El maqui es una especie nativa de los bosques subantárticos de Chile y Argentina, es común encontrarlo en áreas de clima templados lluviosos del sur de Chile, donde forma comunidades conocidas como “Macales” (Silva *et al.*, 2017; Fuentealba *et al.*, 2021), también se encuentran en quebradas, márgenes de bosques y en zonas de climas mediterráneos semiáridos, templados subhúmedos, y húmedos de la zona centro y sur de Chile (Salina y Cabellé, 2020). En Chile, la distribución de *A. chilensis* abarca cerca de 170.000 hectáreas, desde la IV región de Coquimbo hasta la XI región de Aysén, incluyendo el archipiélago de Juan Fernández, con capacidad de crecer a altitudes de hasta los 2.500 metros sobre el nivel del mar (Benedetti, 2012; Vogel *et al.*, 2014; ODEPA, 2017).

El maqui es un arbusto dioico, que puede alcanzar entre 4 o 5 metros de altura, tiene hojas simples y perennes, posee un pecíolo largo y rojizo (Romero-Mieres *et al.*, 2016). Produce flores unisexuales blanquecinas. Florece desde octubre a diciembre y los frutos maduran durante el verano, entre diciembre a enero y en algunas temporadas hasta febrero (Fuentealba *et al.*, 2021). Sin embargo, en la zona sur la floración puede ocurrir desde noviembre a enero y la fructificación entre diciembre a abril (Salinas, 2012). Produce bayas comestibles de sabor dulce, con un tamaño de 4 - 5 mm de diámetro (Silva *et al.*, 2017; Romero-Mieres *et al.*, 2016). Durante la maduración, los frutos cambian de color, pasando de color verde cuando está inmaduro a morado oscuro cuando está maduro, dependiendo de las condiciones ambientales de cada zona geográfica (Salinas, 2012; Silva *et al.*, 2017).

El contenido de polifenoles y la calidad de los frutos varían según factores como el genotipo de la planta, las condiciones ambientales, la composición del suelo, la ubicación geográfica y el grado de madurez del fruto, entre otros (Fredes *et al.*, 2012; Fredes *et al.*, 2014; Valencia *et al.*, 2017). Sin embargo, para que estos compuestos ejerzan sus efectos benéficos en el organismo, es esencial considerar su biodisponibilidad, es decir, la cantidad que puede ser absorbida y utilizada en el cuerpo. Los polifenoles experimentan cambios durante el proceso de digestión,

debido a factores como el pH, la temperatura, y a la acción de enzimas e inhibidores (Zampedri *et al.*, 2018). Inicialmente, una parte se absorbe en el estómago, algunos polifenoles son hidrolizados debido al pH ácido, temperatura y la presencia de enzimas digestivas. Luego en el intestino delgado, ocurre la mayor absorción de polifenoles (Soler, 2009). Una vez absorbidos, ingresan al torrente sanguíneo, donde son transportados a diferentes tejidos y órganos, como al hígado para su metabolización, y al riñón para su eliminación a través de la orina (Gómez, 2015). Aquellos polifenoles no absorbidos llegan al intestino grueso, específicamente al colon, para ser eliminados en forma de heces (Soler, 2009).

La digestibilidad de los polifenoles puede estudiarse mediante de ensayos *in vivo* en humanos, la cual proporciona información precisa sobre el proceso de digestión, sin embargo, estos presentan desafíos éticos, debido a la dificultad de evaluar en humanos, y la imposibilidad de que los humanos consuman dietas puras de un solo compuesto o carentes de nutrientes, lo que dificulta la estandarización, además de ser costosos, requieren de largos periodos de evaluación (Gómez, 2015; Valencia, 2019). Como alternativa, las técnicas *in vitro* han ganado popularidad por su capacidad de simular el proceso digestivo en laboratorios bajo condiciones y entornos controlados (temperatura y pH) (Aravena *et al.*, 2015; Valencia, 2019). Este método ofrece resultados lo más cercanos posible a la realidad en un menor periodo de tiempo y con costos más bajos (Zampedri *et al.*, 2018).

A pesar de los avances en el estudio de alimentos ricos en polifenoles, se desconoce cómo la digestibilidad de estos compuestos en el fruto de maqui varía según su estado de madurez y localidad de cultivo, lo que limita su aprovechamiento óptimo en aplicaciones nutricionales y comerciales, los cuales podrían tener un impacto en la valorización de este recurso nativo chileno y a su vez en las comunidades agrícolas locales.

Por tanto, el objetivo general de esta investigación es evaluar la digestibilidad de los polifenoles en el maqui en tres estados de madurez y en tres localidades diferentes, utilizando un método de digestión *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

La presente investigación se desarrolló en dos etapas, la primera etapa, centrada en la digestión *in vitro*, tuvo lugar en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, campus Chillán. Por otro lado, la segunda etapa, dedicada al análisis de los metabolitos secundarios del maqui, se llevó a cabo en el Bioinnve lab del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, campus Concepción.

El objeto de estudio fue el maqui (*Aristotelia chilensis* Mol. Stuntz), cuya recolección de los frutos se realizó de manera manual durante los meses de diciembre del 2018 y febrero del 2019. Se incluyeron frutos en tres fases de maduración: inmaduro, pintos y maduros, recolectados en tres localidades específicas: Coihueco (36°6'28,17" N - 71°83'41,9" O), Tregualemu (36°0'19,548" N - 72°46'22,008" O) y Cerro Cayumanque (36°51'37,44" S - 72°24'46,908" O).

Digestibilidad in vitro de polifenoles

El procedimiento se basó en la metodología de digestibilidad *in vitro* de Boisen y Fernández (1997), adaptado para humanos (Zapana *et al.*, 2019). Los frutos recolectados se liofilizaron en el equipo Christ Alpha (Alemania), luego se trituraron y molieron finamente a 1 mm. Se tomó una muestra de 0,5 g, la cual se colocó en un matraz Erlenmeyer de 100 mL. Se le añadieron 25 mL de Buffer fosfato (0,1 M) con pH 6,0 y se agitó. Luego, se incorporaron 10 mL de HCl 0,2 M y se ajustó el pH a 1,9. También, se añadieron 1 mL de una solución de pepsina y 0,5 mL de solución de cloranfenicol para evitar contaminación. Se cerraron los matraces y se colocaron en una incubadora (ThermoScientific®, de la serie Forma, USA) con agitación suave durante dos horas a 39 °C. A la solución resultante se le añadieron 10 mL de Buffer fosfato 0,2 M, y 5 mL de solución de NaOH 0,6 N, se ajustó el pH con solución de NaOH 1 M hasta llegar a un pH 6,8. Luego, se añadió 1 mL de solución fresca de pancreatina (P-1750). Los matraces se cerraron y se llevaron a la incubadora con agitación suave durante cuatro horas, a 39 °C. Después se agregaron 10 mL de solución de EDTA 0,2 M y se ajustó el pH a 4,8 utilizando una solución de ácido

acético al 30 %. Después, se le añadió 1 mL de una solución fresca de celulasa (Onozuka R-10), la mezcla se incubó a 39 °C durante 18 horas. Posteriormente, se filtró a través de crisol Gooch. El residuo se lavó con tres porciones de agua, luego con 10 mL x 2 de alcohol y acetona. Finalmente, se secó en una estufa (Memmert UF 260, Alemania) a 130 °C hasta alcanzar un peso constante, y se registró el peso del residuo. La fracción digerida se conservó congelada para el análisis posterior de polifenoles.

Obtención de extractos polifenólicos

El proceso de extracción de polifenoles se inició disolviendo 1 mL de la fracción digerida en 5 mL de una solución de metanol/agua/ácido fórmico (25:24:1/ v: v: v). La mezcla fue tratada en un baño de ultrasonido BRANSON 5800 (Emerson, Missouri, USA) durante una hora y congelada a -18 °C por 24 horas. Al día siguiente, se descongeló y se sometió nuevamente a ultrasonido por 1 h adicional, seguido de una centrifugación (Fascio TG1650-WS, Italia) a 3.500 rpm durante 15 minutos. Finalmente, los sobrenadantes obtenidos se filtraron a través de un filtro de polifluoruro de vinilideno de 0,22 µm (Millipore), y se prepararon para su análisis mediante la inyección en el sistema de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC - DAD).

Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos

La identificación y cuantificación de los polifenoles se realizaron mediante un sistema de cromatografía (HPLC) HITACHI PRIMAIDE, equipado con un fotodiodo ArrayDetector (DAD) (HPLC - DAD) (Hitachi Technologies, Merck, Darmstadt, Alemania), para el análisis, se utilizó una columna Kromasil® C18 100-5-C18 4,6 x 250 mm (Merck Millipore; Darmstadt, Germany). La fase móvil empleada consistió en dos disolventes: (A) agua/ácido fórmico (99 % v/v) y (B) acetonitrilo, con un flujo de 1 mL min⁻¹.

Los cromatogramas se registraron a longitudes de onda específicas: 280 nm, 320 nm, 360 nm y 520 nm. Para garantizar una adecuada detección de los diferentes compuestos, como estándares, se utilizó cianidina-3-glucósido para las cuantificaciones de las antocianinas a 520 nm y quercetina para los flavonoles a 360 nm (Sigma Chemical Co. St. Louis, MO).

Diseño experimental y análisis estadístico

Se estableció un diseño experimental completamente aleatorio con dos repeticiones por tratamiento. Las mediciones se realizaron en tres estados de madurez de los frutos (verde, pinta y maduro) y en tres localidades diferentes mediante técnicas *in vitro*.

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA), previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Al no cumplir con la distribución normal de los datos, se aplicó un análisis de varianza no paramétrico utilizando la prueba de Kruskal – Wallis para la comparación de medias. Además, se empleó la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) con un nivel de significancia del 5 %. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2013).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de polifenoles realizado mediante cromatografía, se evaluaron la digestibilidad y biodisponibilidad de tres antocianinas, correspondientes a delfinidina 3,5-diglucosido (D-3,5d), cianidina 3,5-diglucosido (C-3,5d) y delfinidina 3-glucosido (D-3g); y tres flavonoles, correspondientes a quercetina 3-rutinosido (Q-3r), quercetina 3-glucosido (Q-3g) y dimetoxi-quercetina (dimetoxi-Q).

Digestibilidad

Digestibilidad de antocianinas. Dado que en el caso de las antocianinas muchos valores fueron igual a cero, es decir, que no se registraron concentraciones detectables de estos compuestos y en consecuencia tampoco se obtuvieron valores de digestibilidad. Solo se registraron valores de digestibilidad de estado maduro.

Tabla 1. Digestibilidad de antocianinas (%) de los dos compuestos en las tres localidades estudiadas en estado fenológico maduro.

Localidad	Delfinidina 3,5-diglucosido	Cianidina 3,5-diglucosido	Antocianinas total
Tregualemu	99,87 a	99,49 a	99,84 a
Coihueco	99,76 a	99,46 a	99,82 a
Cayumanque	99,84 a	99,69 a	99,88 a

Valores de medias con una letra en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) según análisis de Kruskal Wallis.

No se detectaron diferencias significativas entre las localidades para cada compuesto evaluado ($P > 0,05$). En el caso de D-3g no fue incorporado al análisis, ya que la mayoría de los valores registrados fueron igual a cero, incluso en estado maduro.

Digestibilidad de flavonoles. Se analizaron individualmente los valores de digestibilidad de cada compuesto (Tabla 2, 3 y 4). Se consideraron las diferencias significativas tanto entre los estados de madurez dentro de una misma localidad (representadas con letras minúsculas, comparación sentido vertical), como entre localidades para un mismo estado de madurez (letras mayúsculas, comparación en sentido horizontal).

Tabla 2. Digestibilidad (%) de quercetina 3-rutinosido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

Quercetina 3-rutinosido			
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	97,16 abB	93,61 aAB	89,27 bA
Pinta	91,68 aA	91,07 abA	86,21 abA
Verde	98,89 bB	95,86 bAB	65,35 bA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

En general, se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la digestibilidad de Q3-r entre los diferentes estados de madurez y localidades.

Se encontraron diferencias significativas entre los tres estados de madurez (verde, pinta y maduro). El estado maduro mostró la mayor digestibilidad en Cayumanque (97,16 %) y Coihueco (93,61 %), los cuales no tuvieron diferencias significativas entre sí ($P > 0,05$). En cuanto al estado verde, se registraron los valores más bajos en Tregualemu (65,35 %), este valor aumentó con el estado de madurez.

Se observaron diferencias significativas entre las localidades. En general, Cayumanque presentó digestibilidad más alta para todos los estados de madurez,

destacando especialmente en el estado verde con un valor de 98,89 %, siendo significativamente diferente de Tregualemu, que tuvo los valores más bajos.

Tabla 3. Digestibilidad (%) de quercetina-3-glucosido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

	Quercetina 3-glucosido		
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	98,92 aB	87,42 abA	95,83 bAB
Pinta	97,63 aA	92,83 aA	93,00 abA
Verde	98,36 aB	91,40 aA	41,10 aA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

Se observaron diferencias significativas en la digestibilidad ($P \leq 0,05$) de Q3-g entre los diferentes estados de madurez y localidades.

Los estados maduro y pinta presentaron los valores más altos de digestibilidad. El estado maduro presentó la mayor digestibilidad en Cayumanque (98,92 %), siendo significativamente diferente a Coihueco ($P \leq 0,05$), quien mostró un valor inferior (87,42 %).

Entre las tres localidades, Cayumanque exhibió la mayor digestibilidad en todos los estados de madurez, seguido de Coihueco y Tregualemu.

Tabla 4. Digestibilidad (%) de dimetoxi-Q en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

	Dimetoxi-Q		
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	99,58 aB	99,49 bAB	99,35 bA
Pinta	99,40 aB	98,99 aA	99,11 abAB
Verde	99,57 aB	99,23 abAB	98,76 aA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la digestibilidad de dimetoxi-Q entre los diferentes estados de madurez y localidades. Aunque hubo diferencias

significativas entre los estados de madurez, sin embargo, estas fueron mínimas. El estado maduro de todas las localidades presentó una digestibilidad superior al 99 %, siendo significativamente más alta que el estado pinta y verde ($P \leq 0,05$). En general, la digestibilidad de dimetoxi-Q fue alta y consistente en todas las localidades, independientemente del estado de madurez.

Cayumanque presentó los valores más altos en todos los estados de madurez, siendo más alto en el estado maduro (99,58 %), sin mostrar diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los distintos estados.

La digestibilidad de dimetoxi-Q fue alta en todas las localidades y en todos los estados de madurez, con Cayumanque obteniendo los mejores resultados en todos los casos. Aunque la variabilidad entre las localidades fue pequeña, se observó una ligera disminución en Tregualemu en comparación con las demás localidades. Estos resultados sugieren que la digestibilidad de dimetoxi-Q no se ve tan afectada por el estado de madurez como los compuestos analizados.

Tabla 5. Digestibilidad (%) de flavonoles totales en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

Flavonoles totales			
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	99,13 aB	98,56 aAB	98,13 bA
Pinta	98,46 aA	97,69 aA	97,24 abA
Verde	99,13 aB	97,78 aAB	95,39 aA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

Se hallaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en la digestibilidad de flavonoles totales entre los diferentes estados de madurez y localidades.

Los estados maduro y verde presentaron los valores más altos de digestibilidad en la mayoría de las localidades, especialmente en Cayumanque, donde se registraron los valores más altos en estos estados (99,13 %). No obstante, en Tregualemu, la digestibilidad en el estado verde fue la más baja (95,39 %). En Cayumanque y Coihueco no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre los estados de madurez del fruto.

En general, Cayumanque mostró los valores más altos de digestibilidad en todos los estados de madurez, seguido por Coihueco, con valores ligeramente más bajos. Cayumanque fue significativamente diferente ($P \leq 0,05$) de Tregualemu, que mostró los valores más bajos en todos los estados, especialmente en el estado verde.

La digestibilidad de flavonoles totales fue alta en todos los estados de madurez, pero Cayumanque presentó los mejores resultados en comparación con las otras localidades. Los valores más bajos de digestibilidad se observaron en Tregualemu, particularmente en el estado verde. Esto sugiere que, al igual que con Dimetoxi-Q, la digestibilidad de los flavonoles totales es influenciada por las condiciones locales y el estado de madurez, aunque en menor medida que otros compuestos evaluados.

En términos generales, los porcentajes de digestibilidad de antocianinas no variaron entre estados ni localidades. Por otro lado, los flavonoles presentaron una digestibilidad ligeramente menor que las antocianinas. Este hallazgo coincide con la literatura, que indica que las antocianinas tienen una menor estabilidad a pH alto, siendo susceptibles a la hidrólisis y degradación al pasar del ambiente ácido del estómago al ambiente casi neutro del intestino (Díaz, 2014).

Respecto a la variabilidad en la digestibilidad observada entre localidades, se podría deducir que las características específicas de cada localidad pueden incidir indirectamente en la digestibilidad de los frutos, ya que los factores climáticos y ambientales pueden influir en la composición final o matriz de los frutos (como por ejemplo en la fibra, azúcares y minerales) (Guáqueta, 2019).

Las tres localidades de donde se recolectaron las muestras de maqui presentaban amplias diferencias en sus condiciones geoclimáticas. Por un lado, Tregualemu (Región del Maule, comuna de Pelluhue) presenta un clima mediterráneo con influencia marítima, caracterizado por veranos secos e inviernos lluviosos. La topografía del área incluye lomajes suaves a moderados, con altitudes que pueden llegar hasta los 450 m s. n. m. (Santis, 2005). Por su parte, Cayumanque (Región de Ñuble, comuna de Quillón) está ubicado entre el Valle Central y la Cordillera de la Costa. Su clima es templado cálido con lluvias invernales, y su altitud alcanza los 764 m s. n. m., siendo uno de los cerros más

altos de la región. El cerro está cubierto de bosques nativos y es un sitio de gran biodiversidad, influenciado por condiciones climáticas específicas como mayor humedad relativa y moderadas fluctuaciones térmicas (Santis, 2005). Mientras que Coihueco, se ubica en la Región de Ñuble, Provincia de Punilla, y se extiende desde el valle hasta la cordillera, con altitudes que van desde 200 metros hasta más de 1,000 metros en las zonas más altas (Municipalidad de Coihueco, 2022), cuyo clima varía según la altitud, presentando veranos secos y calurosos e inviernos húmedos y lluviosos (Pladeco, 2018).

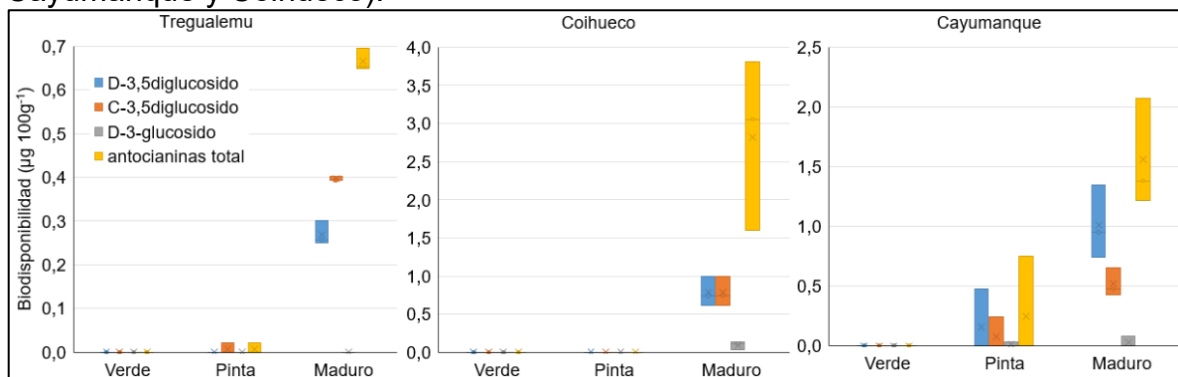
Bohn (2014) señala que la matriz alimentaria también puede afectar considerablemente la digestibilidad, la absorción y el metabolismo posterior de los polifenoles. La fibra dietética (como la hemicelulosa), los minerales divalentes y las comidas viscosas y ricas en proteínas causen efectos perjudiciales en la digestibilidad de los polifenoles. En la matriz alimentaria, los polifenoles se encuentran principalmente unidos a carbohidratos, ácidos orgánicos o entre sí. Los fenoles simples, como el ácido benzoico o el benzaldehído o sus derivados, suelen estar unidos covalentemente a los polisacáridos de la pared celular de la planta, formando enlaces éster con la arabinosa en la hemicelulosa o con la lignina central. Las antocianinas y las proantocianidinas tienden a acumularse en las vacuolas, mientras que los flavonoides pueden permanecer en el citosol con el retículo endoplasmático (donde son sintetizados) presentes principalmente en forma libre. Por lo tanto, para una biodisponibilidad posterior, se requeriría la disrupción de las paredes y los compartimentos celulares y la escisión de los carbohidratos, cambios bioquímicos asociados a la maduración de los frutos (Simpson *et al.*, 2012).

Por otra parte, como indica Fredes *et al.* (2012) existen diversas características relacionadas con los polifenoles (fenol total, antocianinas totales y actividad antioxidante) que pueden explicarse mejor por las diferencias entre los genotipos de maqui estudiados que por las condiciones climáticas (temperatura del aire). En este contexto, es posible que las características genotípicas también pudieran afectar la digestibilidad en los resultados observados en el presente estudio. Evaluar cómo afecta el genotipo en la digestibilidad de los polifenoles del maqui podría esclarecer la influencia de este parámetro.

Biodisponibilidad

Biodisponibilidad de antocianinas. De manera similar al análisis de digestibilidad, una proporción significativa de las muestras analizadas no presentó concentración detectable de antocianinas, lo que resultó en numerosos valores de biodisponibilidad igual a cero. Debido a esta limitación, se optó por realizar un análisis descriptivo mediante un gráfico de box-plot (Figura 1), que ilustra los valores de biodisponibilidad de antocianinas para cada combinación de localidad y estado de madurez. Este enfoque permitió una visualización clara de las interacciones entre las variables estudiadas y su posible variación según la localidad.

Figura 1. Box-plot de biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) de tres antocianinas (delfinidina 3,5-diglucosido; cianidina 3,5-diglucosido; y delfinidina 3-glucosido) en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).



En la localidad de Tregualemu, no se registraron valores de biodisponibilidad en el estado verde debido a que las concentraciones iniciales de antocianinas fueron iguales a cero. En el estado pinta, solo se detectaron niveles de biodisponibilidad para el compuesto C-3,5d. En el estado maduro, este presentó la mayor biodisponibilidad con un valor de $0,4 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, seguido de D-3,5d que con un $0,3 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

En Coihueco, no se obtuvieron resultados de biodisponibilidad en los estados verdes y pinta. Sin embargo, en el estado maduro se registraron valores para los tres compuestos analizados, destacando C-3,5d y D-3,5d como los de mayor

biodisponibilidad.

En Cayumanque, tampoco se observaron valores de biodisponibilidad en el estado verde. En el estado pinta, los tres compuestos mostraron niveles de biodisponibilidad: D-3,5d (0,00 – 0,47 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), seguido de C-3,5d (0,00 – 0,24 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), y finalmente D-3g (0,00 – 0,028 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). Algunas muestras presentaron valores iguales a cero debido a concentraciones iniciales no detectables. En el estado maduro, la biodisponibilidad fue notablemente mayor en comparación con el estado pinta, mostrando un incremento a medida que avanzaba la madurez de los frutos.

En términos generales, entre las tres localidades, Tregualemu presentó los valores más bajos de biodisponibilidad. Mientras que Coihueco presentó los mayores niveles, aunque únicamente en el estado maduro. Por su parte, Cayumanque evidenció un incremento progresivo en la biodisponibilidad conforme avanzó la madurez del fruto. La mayor biodisponibilidad de antocianinas totales se observó en frutos maduros provenientes de Coihueco, con una media de 2,8 μg por 100 g, seguido de Cayumanque con un 1,5 μg por 100 g, y finalmente Tregualemu una media de 0,7 μg por 100 g.

Los valores detallados de biodisponibilidad de las tres antocianinas en el estado maduro se representan en la Tabla 6, que resume las diferencias entre localidades y compuestos.

Tabla 6. Biodisponibilidad de antocianinas $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ de los dos compuestos en las tres localidades estudiadas en estado fenológico maduro.

Localidad	Delfinidina 3,5-diglucosido	Cianidina 3,5-diglucosido	Antocianinas totales
Tregualemu	0,27 a	0,4 a	0,67 a
Coihueco	1,01 b	0,78 b	2,82 b
Cayumanque	1,94 ab	0,52 ab	1,56 ab

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$) según prueba de Kruskal Wallis.

Se puede inferir que los frutos maqui proveniente de la localidad de Coihueco

presentaron la mayor biodisponibilidad de antocianinas, seguido por los frutos de Cayumanque. Estas dos localidades no mostraron diferencias entre sí ($P > 0,05$), sin embargo, ambas fueron significativamente diferentes de Tregualemu, que registró los valores más bajos de biodisponibilidad de antocianinas.

Biodisponibilidad de flavonoles. Se analizaron los valores de biodisponibilidad de cada flavonol de manera individual (Tabla 7, 8 y 9), considerando tanto las diferencias significativas entre los estados de madurez dentro de una misma localidad (letras minúsculas, comparación sentido vertical), como las diferencias entre localidades para un mismo estado de madurez (letras mayúsculas, comparación en sentido horizontal).

Tabla 7. Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de quercetina 3-rutinosido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

	Quercetina 3-rutinosido		
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	0,04 aA	0,04 aA	0,05 aA
Pinta	0,03 aA	0,04 aA	0,05 aA
Verde	0,03 aAB	0,03 aB	0,02 aA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

Entre las localidades, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de biodisponibilidad de los flavonoles en los estados pinta y maduro ($P > 0,05$). Sin embargo, en el estado verde se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre Coihueco y Tregualemu, con valores de 0,03 y 0,02 $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$, respectivamente, siendo Tregualemu la localidad con la biodisponibilidad más baja en el estado verde.

El estado de madurez no generó efectos significativos ($P > 0,05$) en la biodisponibilidad del compuesto Q-3r en ninguna de las localidades. A pesar de ello, Tregualemu mostró valores ligeramente más altos de biodisponibilidad para este compuesto en comparación con las otras localidades, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Tabla 8. Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de quercetina 3-glucosido en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

	Quercetina 3-glucosido		
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	0,030 aA	0,040 aA	0,060 bA
Pinta	0,020 aA	0,030 aA	0,040 abA
Verde	0,020 aB	0,001 aAB	0,000 aA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

No se observaron diferencias significativas en la biodisponibilidad de Q-3g entre localidades en los estados de pinta y maduro. No obstante, en el estado verde se detectaron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las localidades de Cayumanque ($0,02 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) y Tregualemu ($0,00 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$), siendo esta última la que presentó los valores más bajos de biodisponibilidad de Q-3g. Al comparar entre estados de madurez, no se encontraron diferencias significativas entre Cayumanque y Coihueco. Sin embargo, en la localidad de Tregualemu se encontraron diferencias ($P \leq 0,05$) en la biodisponibilidad de Q-3g entre el estado verde y el maduro, siendo este último el que registro la mayor biodisponibilidad con un valor de $0,06 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$. Si bien no todas las localidades mostraron diferencias significativas entre estado, todas evidenciaron un incremento en la biodisponibilidad del Q-3g conforme aumentaba la madurez del fruto. En términos generales, Tregualemu mostró niveles ligeramente más altos de biodisponibilidad de Q-3g en comparación con Coihueco y Cayumanque.

Tabla 9. Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de dimetoxi-quercetina en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

	Dimetoxi-quercetina		
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	0,03 bA	0,03 abA	0,04 aA
Pinta	0,02 abA	0,04 bA	0,03 aA
Verde	0,01 aA	0,02 aAB	0,03 aB

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

No se hallaron diferencias ($P > 0,05$) en la biodisponibilidad de dimetoxi-Q entre localidades en los estados pinta y maduro. Sin embargo, en el estado verde se evidenciaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre Cayumanque ($0,01 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) y Tregualemu ($0,03 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$), siendo Tregualemu la localidad con mayor biodisponibilidad en esta etapa.

En Cayumanque se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre el estado verde ($0,01 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) y el maduro ($0,03 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$), donde este último presentó mayor biodisponibilidad. Por otro lado, en Coihueco también se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los estados verde ($0,02 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) y pinta ($0,04 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$). En la localidad de Tregualemu, no se encontraron diferencias significativas entre los estados de madurez ($P > 0,05$).

Aunque se podría afirmar que existe un comportamiento de incremento en la biodisponibilidad de dimetoxi-Q a medida que avanza la madurez, este patrón no es tan pronunciado como en el compuestos Q-3g.

A nivel general, Tregualemu superó a Coihueco y Cayumanque en términos de biodisponibilidad dimetoxi-Q presentando los valores más altos entre las localidades estudiadas.

Tabla 10. Biodisponibilidad ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) de flavonoles totales en el fruto del maqui en diferentes estados de madurez, en tres localidades (Tregualemu, Cayumanque y Coihueco).

	Flavonoles totales		
	Cayumanque	Coihueco	Tregualemu
Maduro	0,10 aA	0,11 aA	0,15 bA
Pinta	0,06 aA	0,11 aA	0,13 abA
Verde	0,06 aA	0,05 aA	0,04 aA

Valores de medias con una letra mayúscula horizontal en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre localidades. Valores de medias con una letra minúscula vertical en común no poseen diferencias significativas ($P > 0,05$) entre estados, según Kruskal-Wallis ($P = 0,05$).

En relación con los flavonoles totales, de forma general, la localidad de Tregualemu presentó los valores más altos de biodisponibilidad, mientras que Cayumanque registró los valores más bajo ($P > 0,05$).

Entre los estados de madurez, las diferencias significativas en la biodisponibilidad de los flavonoles totales se observaron únicamente en Tregualemu ($P > 0,05$), donde los compuestos mostraron menor biodisponibilidad en el estado verde ($0,04 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$) y la mayor en el estado maduro ($0,15 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$).

De manera general, al igual que lo observado en los compuestos individuales, la biodisponibilidad de los flavonoles totales refleja un incremento progresivo desde el estado verde hasta el estado maduro del fruto en casi todas las localidades. Si bien no se encontraron diferencias significativas entre localidades, Tregualemu mostró mayores niveles de biodisponibilidad, seguida por Coihueco, y finalmente por Cayumanque, que fue la localidad con los niveles más bajos de biodisponibilidad.

En términos de biodisponibilidad, las antocianinas totales presentan una mayor biodisponibilidad en los estados maduros, en un rango de $0,67$ a $2,82 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$. Esto se podría explicar por su sensibilidad a los cambios de pH y a su inestabilidad, suelen ser estables en medios ácidos ($\text{pH} \leq 3,5$), mientras que se degradan en valores de pH más altos, como el del intestino (pH estómago $1,5 - 3,5$; intestino $5,5 - 6,5$; yeyuno $6,5 - 7,5$; intestino grueso $5,5 - 7,0$), lo que limita su biodisponibilidad (Becerra, 2017). En contraste, los flavonoles totales mostraron una biodisponibilidad menor en comparación con las antocianinas, con valores entre $0,10 - 0,15 \mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ en el estado maduro. La diferencia encontrada entre ambos grupos de polifenoles puede deberse, según Erdman (1999) las diferencias en las uniones moleculares de los mismos, por ejemplo, la biodisponibilidad de dos moléculas pertenecientes al grupo de carotenoides fue 67% para luteína y 14% para β -caroteno.

Variación de la digestibilidad y biodisponibilidad de polifenoles en frutos de maqui

La digestibilidad de flavonoles fue mayor que la de antocianinas, sin embargo, su biodisponibilidad fue menor. Diaz (2014) indica que los componentes más abundantes en polifenoles y flavonoides no siempre son los más activos en el organismo, debido a factores como actividad intrínseca menor, baja absorción intestinal, alta metabolización o rápida excreción, lo cual podría explicar la menor biodisponibilidad de los flavonoles.

Las diferencias entre los resultados registrados entre cada localidad podrían atribuirse a variaciones en condiciones climáticas (temperatura y el estrés ambiental). Por ejemplo, las temperaturas mínima y máxima promedio durante el periodo de maduración de los frutos en diciembre de 2018 y enero de 2019 oscilaron entre 12,05 – 28,35 °C en Cayumanque, 9,25 – 28,1 °C en Coihueco y 8,3 – 21,15 °C en Tregualemu. En base a esto, se puede ver que las mayores diferencias térmicas (T° mínima y T° máxima) observadas en coincidieron con una mayor digestibilidad de antocianinas y flavonoles, mientras que la biodisponibilidad de flavonoles (que fue mayor en Tregualemu) predominó una menor fluctuación térmica y mayor influencia marítima.

Al que igual que en el caso de la digestibilidad, en la biodisponibilidad también podría estar influyendo indirectamente las condiciones climáticas de las localidades en las que se recolectaron las muestras de los frutos de maqui, ya que son factores que determinan a composición de la matriz de los frutos (fibra, azúcares, minerales, etc.) (Guáqueta, 2019). En este caso, las tres localidades desde donde se recolectaron las muestras de maqui presentaban amplias diferencias en sus condiciones geoclimáticas.

Más allá de la concentración de compuestos, es esencial considerar cuánto de ese contenido es biodisponible, respecto al total del alimento. De ahí la importancia de la biodisponibilidad, entendida como la proporción de nutrientes que son digeridos, absorbidos y metabolizados a través de las rutas metabólicas habituales de asimilación (Quiñones *et al.*, 2012). Esto permite determinar la cantidad necesaria de consumo para garantizar los efectos beneficiosos, los cuales se relacionan con la prevención de ciertas enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 (DT2) y ciertos tipos de cáncer. Por ejemplo, Castro (2019) informó que el consumo diario de 60g de bayas (fresa, moras, uvas, zarzamoras, cereza, etc.) o el consumo de más de 50 g día⁻¹ de manzana reduce el riesgo de DT2. Por otra parte, aunque no hay una dosis establecida segura para el consumo, se recomienda una dosis de 1,5 a 2,0 g (aprox. 1/2 cucharadita) al día, que pueden mezclarse con alimentos funcionales para potenciar su valor nutricional (De Almeida, 2023).

Con base en lo antecedentes presentados y considerando los resultados de este estudio de análisis de la absorción y biodisponibilidad de los polifenoles del maqui, es importante tener en cuenta que aunque los polifenoles del maqui son beneficiosos para el organismo, su absorción y aprovechamiento por el cuerpo son limitados, por lo cual se recomienda una alta ingesta de estos compuestos, pudiendo ser consumido de diversas formas como jugos, batidos, yogures, o de manera más concentrada como té, cápsulas o polvo. Adicionalmente, se ha reportado que la incorporación de agentes bioactivos puede incrementar la biodisponibilidad de los compuestos, como: emulsiones, nanoemulsiones, microemulsiones, nanopartículas lipídicas sólidas, nanopartículas de biopolímeros, microgeles, entre otros (Dima *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

1. La localidad no influyó significativamente en la digestibilidad de las antocianinas totales, sin embargo, sí tuvo un efecto sobre la digestibilidad de flavonoles totales, siendo más alta en Cayumanque y más baja en Tregualemu.
2. La digestibilidad de los flavonoles no fue influenciada por el estado de madurez del fruto.

REFERENCIAS

1. Andrés, A. 2019. Desarrollo de un sistema de digestión *in vitro* para la determinación de la bioaccesibilidad de componentes. Memoria de título, Ingeniero Agrónomo. Universidad politécnica de Valencia, escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio natural. Valencia, España.
2. Aravena, G., O. García, O. Muñoz, J.R. Pérez-Correa and J. Parada. 2015. The impact of cooking and delivery mode of thymol and carvacrol on retention and bioaccessibility in starchy foods. *Food Chemistry*. 196: 848-852.
3. Becerra, C.J. 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*. Memoria de título, Ingeniero en Alimento. Universidad de Chile, Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas. Santiago, Chile.

4. Benedetti S. 2012. Monografía de Maqui *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. Información Tecnológica De Productos Forestales No Madereros del Bosque Nativo en Chile, INFOR. Chile.
5. Bohn, T. 2014. Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutr. Rev.* 72(7): 429–452.
6. Braunch, J.E., L. Reuter, J. Conrad, H. Vogel, R.M. Schweiggert and R. Carle. 2017. Characterization of anthocyanins in novel Chilean maqui berry clones by HPLC–DAD–ESI/MSⁿ and NMR-spectroscopy. *J. Food Compos. Anal.* 58(1):16-17.
7. Castro, M.L. 2019: Polifenoles: compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. *RED CieN.* 1(3): 14-17.
8. De Almeida, A. 2023. Maqui: para qué sirve, propiedades y cómo consumirlo. [en línea]. *Tua Saúde.* <https://www.tuasaude.com/es/maqui/como-consumirlo>. [Consulta: 10 enero 2024].
9. Díaz, P.A. 2014. Producción de antocianinas de *Aristotelia chilensis* en biorreactores para uso nutracéutico. Memoria de título, Ingeniero Civil en Biotecnología. Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas. Santiago, Chile.
10. Erdaman, J. W. 1999. Variable bioavailability of carotenoids from vegetables. *American Journal of Clinical Nutrition.* 70 (2), 179-180.
11. Fuentealba, V., S. Fischer, A. Pinto, R. Bastías and K. Peña. 2021. Maqui (*Aristotelia chilensis* Mol. Stuntz), towards sustainable canopy management: A review. *Ind. Crops Prod.* 170: 2-7.
12. Fredes, C., G. Montenegro, J.P. Zoffoli, M. Gómez and P. Robert. 2012. Polyphenol content and antioxidant activity of maqui (*Aristotelia chilensis* [Molina] Stuntz) during fruit development and maturation in central Chile. *Chilean JAR.* 72(4): 582 - 589.
13. Fredes, C., G. Montenegro, J.P, Zoffoli, F. Santander and R. Paz. 2014. Comparison of the total phenolic content, total anthocyanin content and antioxidant activity of polyphenol-rich fruits grown in Chile. *Ciencia e investigación agraria.* 41 (1): 49-60.
14. Gómez, M. 2015. Metabolismo de flavonoides y ácidos hidroxicinámicos de la dieta. Estudios de transporte in vitro y de disponibilidad en humanos. Universidad complutense de Madrid, Facultad de farmacia. Madrid,

España.

15. Hitoe S, Tanaka J and Shimoda H. 2014. Maqui Bright™ standardized maqui berry extract significantly increases tear fluid production and ameliorates dry eye-related symptoms in a clinical pilot trial. *Pan Minerva Med.* 56(3):1-6.
16. Kabra, A., R. Sharma, C. Hano, R. Kabra, N. Martins and U.S. Baghel. 2019. phytochemical composition, antioxidant, and antimicrobial attributes of different solvent extracts from *Myrica esculenta* Buch. Ham. Ex. D. Don Leaves. *Biomolecules.* 9(8): 2-3.
17. Lang. Y., B. Li, E. Gong, C. Chu, X. Si, N. Gao, W. Zhang, H. Cui y X. Meng. 2020. Effects of α -casein and β -casein on the stability, antioxidant activity and bioaccessibility of blueberry anthocyanins than in vitro simulated digestion. *Rev. food Chemistry.* 334.
18. Masoodi, H., D. Villaño and P. Zafrilla. 2019. A comprehensive review on fruit *Aristotelia chilensis* (Maqui) for modern health: towards a better understanding. *Rev. Food & Fuction.* 6: 3057-3063.
19. Municipalidad de Coihueco. 2022. Plan municipal de cultura Coihueco 2022-2026. [En línea]. <<https://www.cultura.gob.cl/redcultura/wp-content/uploads/sites/69/2023/06/pmc-coihueco-2022-2026.pdf>> [Consulta: 26 diciembre 2024].
20. ODEPA. 2017. Preparación de expedientes técnicos para la presentación y solicitud de autorización de alimentos nuevos o tradicionales de terceros países para exportar a la Unión Europea. [En línea]. <<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Informe-Estudio-Novel-Foods-y-anexos-1.pdf>>. [Consulta: 23 octubre 2019].
21. Romero-Mieres, M., G. Vivallo, G. Donoso, C. Esses, R. Díaz, A. Francois., J. Solano, A. Ortloff, S. Albornoz, O. Betancourt, X. Cofré, M. Valdivia, JC. de la Fuente, A. Figueroa y C. Lizama. 2016. Botánica forense en Chile: el caso de *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz y su potencial utilidad como especie bioindicadora forense. *Gayana botánica.* 73(1): 156-160.
22. Simpson, B.K. 2012. Food biochemistry and food processing. Black well. Ames, USA.
23. Salinas, J. 2012. Monografía de maqui *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz. INFOR MINAGRI. Ed; Benedetti, S. Santiago, Chile. 4-13.

24. Salinas, J y G. Caballé. 2020. Maqui: el fruto silvestre de mayor importancia en Chile. INFOR. Coyhaique, Chile.
25. Silva, F., J. Salinas and I. Rodríguez. 2017. Silvicultural and sustainable collection proposal for maqui formations (*Aristotelia chilensis* Mol. Stuntz) in the Region of Aysén (Chile). Revisit de aysenología. (6):25-43.
26. Soler, A. 2009. Estudio de la capacidad antioxidante y la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos del aceite de oliva. Primeras etapas en el desarrollo de un aceite de oliva funcional. Tesis doctoral, Grado de doctor. Universidad de Lleida, Escuela técnica superior de ingeniería agraria. Lleida.
27. Spinardi, A., G. Cola, C.S. Gardana and I. Mignani. 2019. Variation of anthocyanin content and profile throughout fruit development and ripening of high bush blueberry cultivars grown at two different altitudes. *Frontiers*. (10):1-10
28. Valencia, E., I. Figueroa, E. Sosa, M.C. Bartolomé, H. E. Martínez y M.E. García. 2017. Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*. (16):15-19.
29. Vogel, H., P. Peñailillo, U. Doll, G. Contreras, G. Catenacci and B. González. 2014. Maqui (*Aristotelia chilensis*): Morpho-phenological characterization to design high-yielding cultivation techniques. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 1:123-133.
30. Zampedri, C.Y., P.A, Zampedri, O. Scattolaro, L.M. Zapata and J.M. Castagnini. 2018. Evaluación de la biodisponibilidad *in vitro* de compuestos bioactivos de arándanos. *Dialnet*. 29(57):286-288.

ANEXOS

Anexo 1. Temperatura del aire (°C) en Cayumanque, Coihueco y Tregualemu entre febrero 2018 a febrero 2019.

Mes	Cayumanque		Coihueco		Tregualemu	
	T°Min.	T°Max.	T°Min.	T°Max.	T°Min.	T°Max.
	2018					
Febrero	13,6	31,8	9,7	30	10,1	20,7
Marzo	10,9	26,6	6,5	25,4	7,2	21,1

Abril	7,6	21,5	5	19,7	5,6	17
Mayo	6,9	16,9	4,1	15,6	6,3	15,5
Junio	3,8	12,9	1,3	11,6	2,5	12,6
Julio	4,2	13,9	1,8	13	3,9	12,9
Agosto	4,4	16,2	1,8	14,5	3,8	14,1
Septiembre	8	19,1	5,1	17,5	5,6	15,5
Octubre	7,7	20,4	5,8	19	5,6	16,1
Noviembre	10,3	24,1	8	23,5	7	19,6
Diciembre	11,5	27,3	9,1	27,3	8,4	20,1
	2019					
Enero	12,6	29,4	9,4	28,9	8,2	22,2
Febrero	13,5	30,8	10,5	30,2	10,2	22,3
Promedio	8,8	22,4	6	21,2	6,5	17,7

Fuente. Adaptado de datos obtenidos del sitio web www.agrometinia.cl. Estos datos corresponden a lecturas de las estaciones meteorológicas más cercanas a las localidades; Santa Rosa, Chillán. Lomas, Pelluhue y Nueva Aldea, Ranquil, respectivamente.