



# MAQUI: UN GRAN POTENCIAL ANTIOXIDANTE INCLUSO DESPUÉS DE LA DIGESTIÓN

Maqui berry (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) ha demostrado un gran potencial como ingrediente funcional. Sin embargo, determinar el efecto con que el extracto de maqui y sus compuestos fitoquímicos beneficiara a los consumidores requiere conocimientos adicionales. De esta manera, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la digestión *in vitro* gastrointestinal sobre los índices de recuperación y bioaccesibilidad la estabilidad de los compuestos polifenólicos (ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas) y los cambios en la actividad antioxidante del maqui berry cultivado en Chile.

Keywords: maqui, digestion *in vitro*, *Aristotelia chilensis*, antioxidantes.

Debido al creciente interés por parte de los consumidores por consumir alimentos ricos en componentes que promuevan la salud, en los últimos años la ciencia y la industria han estado focalizadas en la búsqueda de nuevos ingredientes y co-productos provenientes de frutas y vegetales que posean este tipo de propiedades. Actualmente los componentes bioactivos<sup>1</sup> de los alimentos están siendo estudiados para evaluar sus propiedades beneficiosas a la salud (Kris-Etherton et al. 2002). La evidencia sugiere que un aumento en el consumo de alimentos basados en frutas y vegetales podrían prevenir algunas enfermedades crónicas de larga duración como por ejemplo enfermedades cardíacas, cáncer, ataque cardíaco, diabetes etc.

*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz comúnmente conocida como maqui (chilean blackberry) es una baya silvestre comestible originaria de la zona central-sur de Chile. Existen numerosos beneficios a la salud relacionados con el consumo de maqui, tales como antiadibético, cardio protector, inhibidos de adipogénesis e inflamación, prevención de desórdenes digestivos y prevención de oxidación LDL (Céspedes et al. 2008, Schreckinger et al. 2010). Uno de los efectos más significativos ha sido atribuido a los componentes fenólicos con alta capacidad antioxidante (Brauch et al. 2016). En relación a su potencial actividad biológica, comparado con otros frutos ricos en fitoquímicos, el maqui ha tenido el mejor desempeño en términos

de inhibición de  $\alpha$ -glucosidasa y lipasa (Girón-Vilaplana et al. 2014), por lo tanto puede ayudar además en el proceso digestivo de carbohidratos, retrasando la hidrólisis de di y oligosacáridos en monosacáridos disminuyendo la absorción de glucosa (Rubilar et al. 2011). Estudios recientes han demostrado el gran potencial del maqui como ingrediente funcional para el desarrollo de alimentos funcionales debido a: i) su alto contenido en polifenoles, principalmente antocianinas y flavonoides y ii) sus propiedades antioxidantes (Genskowsky et al. 2015). El rol de las antocianinas como promotor de la salud incluye actividad antiinflamatoria y anti-cáncer y además efecto protector sobre varias enfermedades degenerativas y cardiovasculares (Riaz et al. 2016). Dadas las características descritas, el interés por este berry como alimento funcional y sus componentes

bioactivos ha crecido significativamente. Es por eso que la determinación de si el efecto del extracto de maqui o sus componentes bioactivos beneficiará a los consumidores requiere un estudio adicional de su bioaccesibilidad y biodisponibilidad. En este contexto el

uso de modelos gastrointestinales *in vitro* es una herramienta muy útil para simular lo que ocurre durante la digestión y ofrecen una gran oportunidad para investigar acerca de los efectos de los parámetros físicos y químicos y su rol en la bioaccesibilidad.

El propósito de esta investigación fue determinar el efecto de la digestión gastrointestinal *in vitro* sobre: a) Índices de recupera-

ción y bioaccesibilidad; b) Estabilidad de los compuestos fenólicos y c) Los cambios de la actividad antioxidante del maqui.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**2.1 Materiales:** Las muestras de maqui liofilizado, (*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz) fueron proporcionadas por South-AM Freeze Dry S.A.

**2.2 Digestión gastrointestinal simulada:** La digestión gastrointestinal de maqui fue desarrollada de acuerdo a la metodología descrita por Gullón et al. (2015), figura 1. El método incluye tres fases: oral, gástrica e intestinal. En la última fase de la digestión intestinal se incorpora un segmento (10 cm) de una membrana de diálisis llena con NaHCO<sub>3</sub> 1M en botellas con la muestra digerida y estas son incubadas por 2 horas en baño de agua a 37°C y 50 rpm. Al final de la incubación, la solución de fuera de la membrana de diálisis fue considerada como muestra OUT representando el material remanente en el tracto gastrointestinal; y la solución que difundió a través de la membrana se consideró como muestra IN.

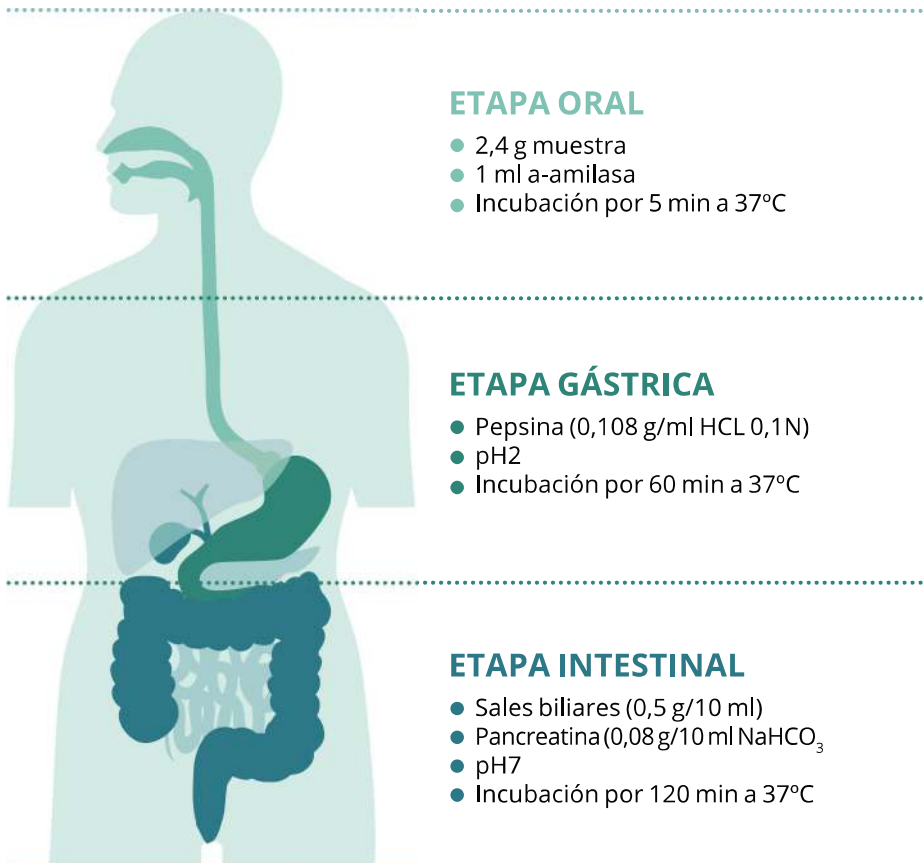
**2.3 Índice de recuperación y bioaccesibilidad:** El porcentaje de recuperación permite medir la cantidad de ácidos fenólicos y flavonoides presentes en el digesto completo después de la digestión oral, gástrica e intestinal del alimento de acuerdo a:

$$\text{Recovery index (\%)} = (\text{PCDF}/\text{PCTF}) \times 100$$

Donde: PCDF es el contenido total de fenoles (mg) en el digesto (CSF+PF) y PCTF es el contenido total de fenoles (mg) cuantificados en la matriz de estudio.

La bioaccesibilidad es definida como el porcentaje de componentes fenólicos que

**Componentes bioactivos:** Constituyentes extra-nutricionales que están presentes en pequeñas cantidades en los alimentos. Se ha descubierto su efecto protector y preventivo sobre enfermedades cardiovasculares y cáncer. Dentro de este grupo se encuentran los polifenoles.



### ETAPA ORAL

- 2,4 g muestra
- 1 ml  $\alpha$ -amilasa
- Incubación por 5 min a 37°C

### ETAPA GÁSTRICA

- Pepsina (0,108 g/ml HCL 0,1N)
- pH2
- Incubación por 60 min a 37°C

### ETAPA INTESTINAL

- Sales biliares (0,5 g/10 ml)
- Pancreatina (0,08 g/10 ml  $\text{NaHCO}_3$ )
- pH7
- Incubación por 120 min a 37°C

FIGURA 1

Representación gráfica del procedimiento de digestión in vitro gastrointestinal.

son solubilizados en la muestra IN después de la fase intestinal. Este índice define la proporción de componentes fenólicos que podrían estar disponibles para la absorción en el sistema circulatorio:

$$\text{Bioaccessibility (\%)} = (\text{PCS}/\text{PCDF}) \times 100$$

Donde: PCS es el contenido total de fenoles (mg) en la muestra IN después de la digestión en la fase intestinal y PCDF es el contenido total de fenoles (mg) en la muestra digerida (IN+OUT) después de la fase intestinal.

**2.4 Contenido total de fenoles y flavonoides:** El contenido total de fenoles de las muestras liofilizadas obtenidos durante las diferentes fases de la digestión in vitro fue determinado usando el reactivo Folin-Ciocalteu, mientras que para el contenido de flavonoides totales se usó el método basado en Blasa et al. (2005). Los resultados fueron expresados en mg de rutina equivalente (RE)/g de muestra.

**2.5 Determinación de compuestos fenólicos:** Esta determinación de compuestos fenólicos de todas las muestras en cada etapa de digestión fue determinada por HPLC de acuerdo a la metodología de Genskowsky (2016).

**2.6 Actividad antioxidante:** La actividad antioxidante fue medida a través de cuatro métodos: DPPH (radical libre) (Brand-Williams et al. 1995), ABTS (radical catiónico) (Leite et al. 2011), FRAP (poder reductor actividad antioxidante del ion férrico) (Oyazu 1986) y FIC (actividad quelante del ion ferroso) (Carter 1971). En todos los casos la actividad antioxidante fue medida en las

tres etapas de digestión: oral, gástrica e intestinal.

**2.7 Análisis Estadístico:** Los análisis estadísticos fueron realizados usando el programa SPSS Inc. Chicago, IL. Todos los experimentos fueron hechos en triplicado y los datos reportados como promedio  $\pm$  desviación estándar.

## 3. RESULTADOS

**3.1 Índice de recuperación y bioaccessibilidad:** Los componentes fenólicos son considerados unos de los más importantes bioactivos en frutas y plantas. La presencia de los mismo en frutas tiene una gran im-

portancia para los consumidores debido a sus propiedades beneficiosas a la salud y pueden ser usados como un importante indicador de muchas propiedades funcionales, como la capacidad antioxidante (Gullón et al. 2016). La figura 2 muestra el índice de recuperación de los fenoles totales (TP) y flavonoides totales (TF) obtenidos en las diferentes etapas de la digestión.

Luego de la etapa oral, se observan pequeñas modificaciones en la recuperación de TF con un porcentaje de flavonoides recuperados del 103,81%. Sin embargo, esta etapa tiene un efecto moderado sobre TPC, 79,79%. En esta etapa debido al corto tiempo de exposición y efectos marginales de la  $\alpha$ -amilasa se observaron mínimas modificaciones en el índice de recuperación de TP y TF (Mosele et al. 2016). La digestión gástrica tuvo un leve efecto sobre el índice de recuperación de TF, disminuyendo a 102,63 en relación a los valores obtenidos en la etapa oral. Por otra parte, se observó un aumento en TPC en la matriz control en la etapa oral con un índice de recuperación del 112,92%. El hecho de que los componentes fenólicos se liberen de la matriz luego de la digestión gástrica puede deberse a la ruptura de enlaces entre estos componentes y las proteínas, fibras o residuos de azúcares (Gullón et al. 2015). Este hecho puede ser atribuido al pH ácido y la actividad enzimática que incrementan la extractabilidad de los componentes fenólicos desde la matriz alimentaria (Rodríguez-Roque et al. 2013). Al final de la etapa intestinal, los índices de recuperación de TF y TP fueron profundamente afectados, se obtuvo valores de 17,4 y 21,76% respectivamente. Comportamientos similares fueron observados por Gullón et al. (2015b) y Mosele et al. (2015). Este fenómeno puede ser explicado como la posibilidad que cuando la matriz alimentaria es expuesta a las condiciones gastrointestinales, una proporción de componentes fenólicos son transformados en diferentes formas estructurales con distintas propiedades químicas y diferente biodisponibilidad y actividad biológica (Bermúdez-Soto et al. 2007). La biodisponibilidad de los componentes fenólicos y flavonoides presentes en maqui en la etapa final de la digestión fue de 78,19 y 14,10 respectivamente. De acuerdo a Gullón

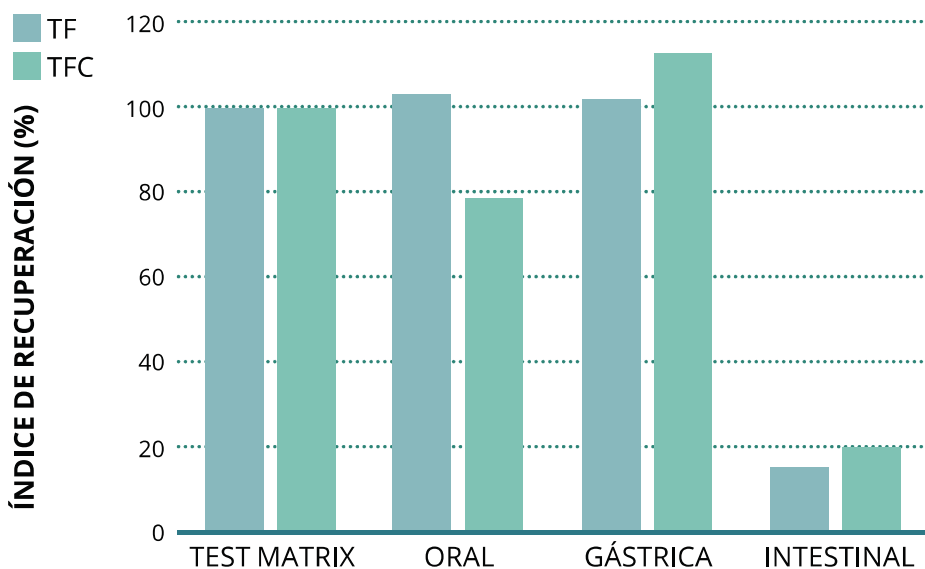


FIGURA 2

Índice de recuperación del contenido fenoles totales (TPC) y contenido de flavonoides totales (TF).

Polyphenolic profile of the two fractions (pellet fraction (PF) and soluble chime fraction (SCF)) obtained after each step (oral, gastric and intestinal) of in vitro gastrointestinal digestion of maqui berry extract.

COMPOUND	TEST MATRIX	MOUTH STEP			GASTRIC STEP			INTESTINAL STEP		
		PF	SCF	TOTAL	PF	SCF	TOTAL	IN	OUT	TOTAL
<b>Anthocyanins</b>										
Delphinidin-3-sambubioside-5-glucoside	2.91 ± 0.02 <sup>4E</sup>	1.40 ± 0.02	0.33 ± 0.00	1.73 ± 0.01 <sup>4D</sup>	1.47 ± 0.01	0.61 ± 0.02	2.08 ± 0.01 <sup>4E</sup>	N.D.	N.D.	-
Delphinidin-3-5-diglucoiside	4.13 ± 0.09 <sup>4E</sup>	1.83 ± 0.01	0.41 ± 0.01	2.24 ± 0.04 <sup>4E</sup>	2.26 ± 0.02	0.92 ± 0.01	3.18 ± 0.00 <sup>4C</sup>	N.D.	N.D.	-
Cyanidin-3-sambubioside-5-glucoside	2.63 ± 0.11 <sup>4E</sup>	0.90 ± 0.01	0.57 ± 0.01	1.47 ± 0.06 <sup>4E</sup>	1.08 ± 0.02	0.69 ± 0.00	1.77 ± 0.02 <sup>4E</sup>	N.D.	N.D.	-
Cyanidin-3-5-diglucoiside	3.86 ± 0.09 <sup>4C</sup>	1.52 ± 0.14	0.53 ± 0.01	2.05 ± 0.05 <sup>4C</sup>	1.44 ± 0.03	0.82 ± 0.00	2.26 ± 0.01 <sup>4D</sup>	N.D.	N.D.	-
Delphinidin-3-sambubioside	6.92 ± 0.10 <sup>4A</sup>	2.43 ± 0.55	0.73 ± 0.01	3.16 ± 0.15 <sup>4A</sup>	2.72 ± 0.06	1.47 ± 0.02	4.19 ± 0.04 <sup>4B</sup>	N.D.	N.D.	-
Delphinidin-3-glucoside	7.15 ± 0.12 <sup>4A</sup>	2.71 ± 0.26	0.55 ± 0.00	3.26 ± 0.25 <sup>4A</sup>	3.30 ± 0.02	1.56 ± 0.02	4.86 ± 0.03 <sup>4A</sup>	N.D.	N.D.	-
Cyanidin-3-sambubioside	3.26 ± 0.04 <sup>4D</sup>	0.45 ± 0.12	0.21 ± 0.01	0.65 ± 0.11 <sup>4E</sup>	0.53 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.92 ± 0.01 <sup>4H</sup>	N.D.	0.02 ± 0.0	0.02 ± 0.0 <sup>4A</sup>
Cyanidin-3-glucoside	1.85 ± 0.01 <sup>4G</sup>	0.45 ± 0.09	0.16 ± 0.00	0.61 ± 0.02 <sup>4E</sup>	0.66 ± 0.01	0.35 ± 0.02	1.01 ± 0.00 <sup>4G</sup>	N.D.	0.01 ± 0.0	0.01 ± 0.0 <sup>4B</sup>
<b>Flavonoids</b>										
Myricetin-3-galactoside	50.62 ± 2.4 <sup>4I</sup>	16.35 ± 0.30	7.68 ± 0.33	24.03 ± 0.21 <sup>4H</sup>	19.81 ± 0.38	13.61 ± 0.02	33.42 ± 0.25 <sup>4I</sup>	N.D.	N.D.	-
Myricetin-3-glucoside	165.57 ± 3.01 <sup>4D</sup>	54.19 ± 0.12	31.15 ± 0.84	85.34 ± 0.54 <sup>4D</sup>	56.56 ± 0.31	44.00 ± 0.11	100.56 ± 0.23 <sup>4D</sup>	N.D.	N.D.	-
Quercetin-galloyl-hexoside	161.40 ± 2.19 <sup>4D</sup>	39.99 ± 0.09	12.61 ± 0.30	52.60 ± 0.15 <sup>4E</sup>	47.05 ± 0.73	28.38 ± 0.03	75.43 ± 0.32 <sup>4E</sup>	N.D.	N.D.	-
Rutin-galloyl-hexoside	116.66 ± 2.06 <sup>4E</sup>	49.08 ± 0.28	4.75 ± 0.18	53.83 ± 0.24 <sup>4E</sup>	40.04 ± 0.34	32.74 ± 0.06	72.78 ± 0.14 <sup>4F</sup>	N.D.	N.D.	-
Rutin	450.67 ± 2.57 <sup>4C</sup>	110.53 ± 0.8	131.19 ± 0.48	241.72 ± 0.61 <sup>4B</sup>	111.67 ± 1.68	95.79 ± 0.06	207.46 ± 0.78 <sup>4C</sup>	9.82 ± 0.28	74.75 ± 1.38	84.57 ± 0.68 <sup>4B</sup>
Ellagic acid	936.59 ± 1.40 <sup>4A</sup>	258.0 ± 0.11	68.15 ± 0.24	326.15 ± 0.16 <sup>4A</sup>	262.74 ± 2.12	146.12 ± 0.05	408.86 ± 1.52 <sup>4A</sup>	3.22 ± 0.09	28.63 ± 0.48	31.85 ± 0.28 <sup>4C</sup>
Quercetin-3-galactoside	43.74 ± 0.61 <sup>4J</sup>	4.36 ± 0.02	1.93 ± 0.05	6.29 ± 0.09 <sup>4I</sup>	4.51 ± 0.14	3.34 ± 0.07	7.85 ± 0.09 <sup>4E</sup>	2.15 ± 0.04	14.25 ± 0.32	16.40 ± 0.15 <sup>4D</sup>
Quercetin-3-glucoside	99.42 ± 1.47 <sup>4J</sup>	33.37 ± 0.06	12.61 ± 0.30	45.98 ± 0.18 <sup>4I</sup>	30.95 ± 0.23	19.27 ± 0.03	50.22 ± 0.11 <sup>4H</sup>	N.D.	N.D.	-
Quercetin-3-xyloside	32.69 ± 0.26 <sup>4K</sup>	13.98 ± 0.13	4.75 ± 0.16	18.73 ± 0.15 <sup>4J</sup>	13.69 ± 0.30	7.36 ± 0.04	21.05 ± 0.13 <sup>4J</sup>	N.D.	N.D.	-
Dimethoxy-quercetin	502.17 ± 0.91 <sup>4B</sup>	188.3 ± 0.35	45.67 ± 0.21	233.99 ± 0.29 <sup>4C</sup>	170.13 ± 1.13	83.03 ± 0.02	253.16 ± 0.43 <sup>4B</sup>	19.48 ± 0.02	118.52 ± 1.87	138.00 ± 0.89 <sup>4A</sup>
Myricetin	103.13 ± 0.30 <sup>4F</sup>	38.65 ± 0.20	5.91 ± 0.17	44.56 ± 0.18 <sup>4E</sup>	35.83 ± 0.31	14.76 ± 0.75	50.59 ± 0.53 <sup>4H</sup>	N.D.	N.D.	-
Quercetin	85.41 ± 0.88 <sup>4H</sup>	51.37 ± 0.09	6.10 ± 0.04	57.47 ± 0.061 <sup>4E</sup>	49.31 ± 0.32	16.43 ± 0.05	65.74 ± 0.14 <sup>4G</sup>	N.D.	N.D.	-

**Anthocyanins** (Values expressed as mg of each compound/g sample)  
**Flavonoids** (Values expressed as ug of each compound/g sample).  
 For the same phenolic compound, values in the same row followed with same lower case letter (a-d) are not significantly different (p>0.05) according to Tukey's Multiple Range Test.  
 For the same digestion step, values in the same column followed with same upper case letter are not significantly different (p>0.05) according to Tukey's Multiple Range Test.

TABLE 1

(2005a) estos valores sugieren la existencia de cambios en estos componentes, tales como: I) Modificación química estructural, II) Incremento o disminución de solubilidad, o III) Interacción con otros componentes.

**3.2 Estabilidad de componentes polifenólicos durante la digestión:**

Los resultados del total de los veinte compuestos polifenólicos se observa en la tabla 1. Fueron identificadas: antocianinas (8 compuestos), Flavonoles (11 compuestos) y ácido eláxico. Los resultados obtenidos están de acuerdo con Schreckinger et al. (2010) y Brauch et al. (2016). Los resultados observados en la tabla 1 sugieren que durante la etapa oral las antocianinas fueron menos liberadas que durante la extracción química, quizá debido al escaso contacto con las enzimas. En la etapa gástrica, las antocianinas detectadas tuvieron un aumento de concentración comparada con la etapa oral, sin embargo, su contenido fue menor comparado con en la matriz control.

En relación a los flavonoides y ácidos fenólicos (tabla 1), 12 compuestos fueron identificados, principalmente quercetina, miricetina y derivados de ambas, además de ácido eláxico quien estaba presente en mayor concentración.

Para la determinación de la estabilidad de cada flavonoide individual y componente fenólico presentes en maqui, se midió su concentración después de cada etapa de digestión. Al final de la etapa oral, todos los flavonoides y ácidos fenólicos identificados

disminuyen su concentración en relación a la matriz control. El ácido eláxico, el principal componente disminuye 65,17%.

Este fenómeno puede ser explicado debido a que los compuestos podrían estar unidos a proteínas o fibras en la matriz control a través de diferentes mecanismos, tales como:

enlaces hidrógeno, enlaces covalentes o interacciones hidrofóbicas, lo que hace que no estén disponibles para liberarse en esta etapa.

En la etapa gástrica se identificaron

los mismos 12 compuestos y como ocurre con las antocianinas, hubo un ligero aumento en los valores de concentración respecto a la matriz control. Los resultados obtenidos sugieren que la disminución en la concentración de flavonoides y ácidos fenólicos de maqui con referencia a la matriz de ensayo podría explicarse por la interacción con otros constituyentes alimenticios, causando cambios en su peso molecular, solubilidad y estructura química (Scalbert and Williamson, 2000).

Entre otras como las condiciones gástricas (principalmente pH y actividad enzimática) que afectan la liberación y estabilidad de estos compuestos. Al final de la digestión intestinal (Tabla 1), se encontró una reducción drástica de compuestos polifenólicos. Sólo se identificaron cuatro compuestos de

flavonoides y ácido fenólico (rutina, ácido eláxico, quercetina-3-galactosida y dime-toxi-quercetina). Los valores de concentración fueron mayores en la fracción OUT que en la fracción IN.

Además, Saura-Calixto et al. (2007) informaron que la reducción, en la concentración de compuestos fenólicos, en condiciones alcalinas se relacionó con la formación de complejos entre estos compuestos y los iones metálicos, proteínas y / o fibra.

**3.3 Propiedades antioxidantes:** La actividad antioxidante del maqui, después de cada etapa de digestión in vitro, permaneció sin cambios en comparación con la extracción metanólica de maqui. Para determinar las propiedades antioxidantes del maqui, se utilizaron cuatro metodologías diferentes en este trabajo debido a que un solo análisis analítico no es capaz de cuantificar completamente las propiedades antioxidantes totales de una muestra, básicamente por los diferentes

mecanismos inherentemente involucrados. Por esta razón, se emplea típicamente en combinación una serie de ensayos complementarios antioxidantes. La Tabla 2 muestra los valores de actividad antioxidante obtenidos, después de cada fase de digestión gastrointestinal in vitro, de frutos de maqui usando ensayos DPPH, ABTS, FRAP y FIC. En el ensayo de DPPH, la muestra no digerida tenía valores de 12,40 mg TE / g. Después de la fase oral, los valores tuvieron una ligera reducción del

**Biodisponibilidad:**

Se refiere a la proporción de un nutriente que nuestro organismo absorbe de los alimentos y que utiliza para las funciones corporales normales.

PROPIEDAD ANTIOXIDANTE	MATRIZ CONTROL	ORAL				GÁSTRICA				INTESTINAL			
		SCF	PF	TOTAL	% VIAL	SCF	PF	TOTAL	% VIAL	IN	OUT	TOTAL	% VIAL
DPPH	12.40 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.33 ± 0.00	8.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	11.33 ± 0.00 <sup>a</sup>	-8.6	3.4 ± 0.00 <sup>b</sup>	10.55 ± 0.01	13.95 ± 0.57	12.5	0.67 ± 0.001 <sup>a</sup>	2.38 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.05 ± 0.01 <sup>a</sup>	-75.4
FRAP	36.19 ± 1.60 <sup>a</sup>	10.71 ± 0.36 <sup>b</sup>	24.26 ± 0.96 <sup>a</sup>	34.97 ± 0.53 <sup>b</sup>	-3.4	13.24 ± 0.12 <sup>b</sup>	31.92 ± 0.78	45.16 ± 0.55 <sup>a</sup>	24.8	2.11 ± 0.01 <sup>a</sup>	7.28 ± 0.18 <sup>a</sup>	9.38 ± 0.10 <sup>c</sup>	-74.1
FIC	0.30 ± 0.10	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.008 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.17 ± 0.00 <sup>c</sup>	-42.6	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	-100	0.14 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.01 <sup>a</sup>	126.9
ABTS	9.08 ± 0.620 <sup>a</sup>	2.65 ± 0.16 <sup>b</sup>	5.46 ± 0.10 <sup>a</sup>	8.11 ± 0.11 <sup>c</sup>	-10.7	3.97 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.39 ± 0.76 <sup>a</sup>	10.37 ± 0.42 <sup>a</sup>	14.1	0.32 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.12 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.02 <sup>c</sup>	-84.2

TABLE 2

Propiedades antioxidantes de dos fracciones medidas por DPPD, FRAP, FIC y ABTS después de cada etapa de digestión in vitro.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	ORAL		GÁSTRICA		INTESTINAL	
	TPC	TFC	TPC	TFC	TPC	TFC
DPPH	0,998	1,000	0,999	-0,763	1,000	0,995
FRAP	0,991	0,996	0,987	-0,844	0,998	0,989
FIC	-0,972	-0,983	0,000	0,000	1,000	0,993
ABTS	0,999	0,999	0,950	-0,913	0,983	0,996

**TABLA 2**

*Coefficientes de correlación entre fenoles totales (TPC) o flavonoides totales (TFC) y actividad antioxidante (DPPH, FRAP, FIC y ABTS) después de cada etapa de digestión in vitro.*

8,62% respecto al extracto inicial. Las fases gástrica e intestinal tuvieron un profundo impacto en la actividad antioxidante del maqui determinada por DPPH. De este modo, la digestión gástrica provocó un aumento del 12,50% en la capacidad antioxidante respecto a los valores iniciales del extracto maqui. Sin embargo, la digestión intestinal produjo una reducción del 75,40% en la actividad antioxidante con referencia a muestra no digerida. En cuanto al ensayo de ABTS, como ocurre con DPPH, se obtuvo una ligera reducción en la actividad antioxidante después de la etapa oral con respecto a la muestra no digerida. En la digestión gástrica los valores de ABTS aumentaron 14,13% con respecto a los valores iniciales. Estos resultados están relacionados con los obtenidos por Chandrasekara y Shahidi (2012). En la digestión intestinal, se obtuvo una gran reducción de antioxidante (84,16%) con respecto a muestras no digeridas. Esta disminución de la actividad antioxidante podría provenir de la concentración más baja de compuestos polifenólicos, principalmente antocianinas, obtenidos en esta etapa de la digestión gastrointestinal. Adicionalmente, como se mencionó Celep et al. (2015), las interacciones con otros componentes de los alimentos, así como las variaciones en los valores de pH, podrían provocar variaciones en la actividad antioxidante. En cualquier caso, esta reducción en la actividad antioxidante obtenida en esta fase de la digestión gastrointestinal estuvo de acuerdo con los reportados por varios autores (Correa-Bentanz et al., 2014; Gullón et al., 2015b).

Con relación a FRAP, los resultados obtenidos (Tabla 2) mostraron que se obtuvo una ligera reducción en los valores de FRAP al final de la etapa oral respecto a la muestra no digerida. Después de la fase gástrica, los valores de FRAP aumentaron 24,77% respecto a los valores iniciales de los extractos de maqui. Este hecho estaba en concordancia con Gullón et al. (2015a). Los valores de FRAP obtenidos en la fracción "IN" fueron de 2,11 mg / g de muestra, lo que significa que se obtiene una potencia reductora menor.

La Tabla 2 muestra los valores de la actividad quelante de iones ferrosos (FIC) de los extractos de maquis digeridos. Al final de la digestión oral, los valores de FIC se redujeron 42,64%. Estos valores sugieren que los compuestos bioactivos con propiedades quelantes estaban fuertemente unidos a otros constituyentes de la matriz; como la fibra o proteínas y su liberación no se produjo de manera activa en esta etapa digestiva. En la etapa gástrica se obtuvo una reducción del 100% con respecto a la muestra no digerida, lo que significa que

las condiciones de pH / o enzimas ejercían un efecto considerable sobre compuestos bioactivos con capacidad quelante. Sin embargo, al final de la digestión intestinal, la actividad quelante aumentó un 126,85% con respecto a la muestra no digerida. Este aumento en la capacidad quelante podría deberse a la liberación de varios compuestos como: ácidos fenólicos, flavonoides u otros constituyentes, tales como ascorbatos, carbohidratos reductores, tocoferoles, carotenoides o pigmentos que podrían contribuir a la actividad quelante de la muestra digerida. La actividad antioxidante de las soluciones de extracto depende siempre de la composición y de la concentración de sus antioxidantes, principalmente compuestos polifenólicos. Genskowsky et al. (2016) mencionaron que las propiedades antioxidantes de los compuestos polifenólicos presentes en los frutos, en general, y en el maqui en particular, son complicadas para enlazarse a un compuesto o grupos específicos debido a su complejidad y variabilidad. Por lo tanto, la actividad antioxidante podría ser causada por los principales compuestos pre-presentados en maqui o un efecto sinérgico entre los compuestos principales y los menores. Por lo tanto, la Tabla 3 muestra las correlaciones entre el perfil polifenólico (TPC y TFC) y la actividad antioxidante en los extractos de baya maqui medida con ensayos ABTS, DPPH, FIC y FRAP, después de cada etapa (oral, gástrica e intestinal) de digestión gastrointestinal in vitro.

#### 4. CONCLUSIONES

Esta es la primera vez que la bioaccesibilidad y la estabilidad de los compuestos polifenólicos del maqui han sido analizados a lo largo de las diferentes fases de la digestión gastrointestinal. Este trabajo demuestra que los compuestos polifenólicos presentes en maqui son liberados, principalmente, en las fases tempranas de la digestión gastrointestinal donde podrían ejercer la bioactividad, como compuestos antioxidantes, después de su absorción en la digestión gástrica. Sin embargo, la estabilidad, principalmente de compuestos de antocianinas, son afectados intensamente en la última fase de la digestión, probablemente modificando sus propiedades fisicoquímicas, lo que se refleja en sus propiedades antioxidantes y en la bioaccesibilidad. Más estudios son necesarios para comprender la estabilización de compuestos flavonoides y antocianinas producida a través de interacciones de la matriz alimentaria, a manera de ayudar a proporcionar niveles suficientes de este tipo de compuestos para la absorción durante la digestión gastrointestinal.

#### AUTORES:

Raquel Lucas-Gonzalez<sup>a</sup>, Sergio Navarro-Coves<sup>a</sup>, José A. Pérez-Álvarez<sup>a</sup>, Juana Fernández-López<sup>a</sup>, Loreto A. Muñoz<sup>b</sup>, Manuel Viuda-Martos<sup>a</sup> ✉

<sup>a</sup>IPOA Research Group (UMH-1 and REVIV-Generalitat Valenciana), Agro-Food Technology Department, Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Miguel Hernández University, Orihuela, Alicante, Spain.

<sup>b</sup>Universidad Central de Chile, Facultad de Ingeniería, Chile.

#### TEXTO ORIGINAL:

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. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.057.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bermúdez-Soto, M. J., F. A. Tomás-Barberán and M. T. García-Conesa (2007). "Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to in vitro gastric and pancreatic digestion." *Food Chemistry* 102(3): 865-874.
- Blasa, M., M. Candiracci, A. Accorsi, M. P. Piacentini, M. C. Albertini and E. Piatti (2006). "Raw Millefiori honey is packed full of antioxidants." *Food Chemistry* 97(2): 217-222.
- Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier and C. Berset (1995). "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity." *LWT - Food Science and Technology* 28(1): 25-30.
- Brauch, J. E., M. Buchweitz, R. M. Schweiggert and R. Carle (2016). "Detailed analyses of fresh and dried maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) berries and juice." *Food Chemistry* 190: 308-316.
- Carter, P. (1971). "Spectrophotometric determination of serum iron at the submicrogram level with a new reagent (ferrozine)." *Analytical Biochemistry* 40(2): 450-458.
- Celep, E., M. Charehsaz, S. Akyüz, E. T. Acar and E. Yesilada (2015). "Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioavailability of phenolic components and the antioxidant potentials of some Turkish fruit wines." *Food Research International* 78: 209-215.
- Céspedes, C. L., M. El-Hafidi, N. Pavon and J. Alarcon (2008). "Antioxidant and cardioprotective activities of phenolic extracts from fruits of Chilean blackberry *Aristotelia chilensis* (Elaeocarpaceae), Maqui." *Food Chemistry* 107(2): 820-829.
- Correa-Betanzo, J., E. Allen-Vercoe, J. McDonald, K. Schroeter, M. Corredig and G. Paliyath (2014). "Stability and biological activity of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) polyphenols during simulated in vitro gastrointestinal digestion." *Food Chemistry* 165: 522-531.
- Chandrasekara, A. and F. Shahidi (2012). "Bioaccessibility and antioxidant potential of millet grain phenolics as affected by simulated in vitro digestion and microbial fermentation." *Journal of Functional Foods* 4(1): 226-237.
- Genskowsky, E., L. A. Puente, J. A. Pérez-Álvarez, J. Fernández-López, L. A. Muñoz and M. Viuda-Martos (2015). "Assessment of antibacterial and antioxidant properties of chitosan edible films incorporated with maqui berry (*Aristotelia chilensis*)." *LWT - Food Science and Technology* 64(2): 1057-1062.
- Genskowsky, E., L. A. Puente, J. A. Pérez-Álvarez, J. Fernández-López, L. A. Muñoz and M. Viuda-Martos (2016). "Determination of polyphenolic profile, antioxidant activity and antibacterial properties of maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz] a Chilean blackberry." *Journal of the Science of Food and Agriculture: n/a-n/a*.
- Gironés-Vilaplana, A., N. Baenas, D. Villaño, H. Speisky, C. García-Viguera and D. A. Moreno (2014). "Evaluation of Latin-American fruits rich in phytochemicals with biological effects." *Journal of Functional Foods* 7: 599-608.
- Gullon, B., M. E. Pintado, X. Barber, J. Fernández-López, J. A. Pérez-Álvarez and M. Viuda-Martos (2015). "Bioaccessibility, changes in the antioxidant potential and colonic fermentation of date pits and apple bagasse flours obtained from co-products during simulated in vitro gastrointestinal digestion." *Food Research International* 78: 169-176.
- Gullon, B., M. E. Pintado, J. Fernández-López, J. A. Pérez-Álvarez and M. Viuda-Martos (2015). "In vitro gastrointestinal digestion of pomegranate peel (*Punica granatum*) flour obtained from co-products: Changes in the antioxidant potential and bioactive compounds stability." *Journal of Functional Foods* 19, Part A: 617-628.
- Gullon, B., M. E. Pintado, J. A. Pérez-Álvarez and M. Viuda-Martos (2016). "Assessment of polyphenolic profile and antibacterial activity of pomegranate peel (*Punica granatum*) flour obtained from co-product of juice extraction." *Food Control* 59: 94-98.
- Kris-Etherton, P. M., K. D. Hecker, A. Bonanome, S. M. Coval, A. E. Binkoski, K. F. Hilpert, A. E. Griel and T. D. Etherton (2002). "Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer." *The American Journal of Medicine* 113(9, Supplement 2): 71-88.
- Leite, A. V., L. G. Malta, M. F. Riccio, M. N. Eberlin, G. M. Pastore and M. R. Maróstica Júnior (2011). "Antioxidant Potential of Rat Plasma by Administration of Freeze-Dried Jaboticaba Peel (*Myrciaria jaboticaba* Vell Berg)." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(6): 2277-2283.
- Mosele, J. I., A. Macià, M.-P. Romero and M.-J. Motilva (2016). "Stability and metabolism of *Arbutus unedo* bioactive compounds (phenolics and antioxidants) under in vitro digestion and colonic fermentation." *Food Chemistry* 201: 120-130.
- Mosele, J. I., A. Macià, M.-P. Romero, M.-J. Motilva and L. Rubió (2015). "Application of in vitro gastrointestinal digestion and colonic fermentation models to pomegranate products (juice, pulp and peel extract) to study the stability and catabolism of phenolic compounds." *Journal of Functional Foods* 14: 529-540.
- Oyaizu, M. (1986). "Studies on Products of Browning Reaction Antioxidative Activities of Products of Browning Reaction Prepared from Glucosamine." *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics* 44(6): 307-315.
- Riaz, M., M. Zia-Ul-Haq and B. Saad (2016). *The Role of Anthocyanins in Health as Antioxidant, in Bone Health and as Heart Protecting Agents. Anthocyanins and Human Health: Biomolecular and therapeutic aspects.* Cham, Springer International Publishing: 87-107.
- Rodríguez-Roque, M. J., M. A. Rojas-Graü, P. Elez-Martínez and O. Martín-Belloso (2013). "Soy milk phenolic compounds, isoflavones and antioxidant activity as affected by in vitro gastrointestinal digestion." *Food Chemistry* 136(1): 206-212.
- Rubilar, M., C. Jara, Y. Poo, F. Acevedo, C. Gutierrez, J. Sineiro and C. Shene (2011). "Extracts of Maqui (*Aristotelia chilensis*) and Murta (*Ugni molinae* Turcz.): Sources of Antioxidant Compounds and  $\alpha$ -Glucosidase/ $\alpha$ -Amylase Inhibitors." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(5): 1630-1637.
- Saura-Calixto, F., J. Serrano and I. Goñi (2007). "Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet." *Food Chemistry* 101(2): 492-501.
- Schreckinger, M. E., J. Lotton, M. A. Lila and E. G. de Mejía (2010). "Berries from South America: A Comprehensive Review on Chemistry, Health Potential, and Commercialization." *Journal of Medicinal Food* 13(2): 233-246.