

## **Desarrollo de productos de arándanos con propiedades antioxidantes y probióticas**

*Zapata, Luz Marina; Castagnini, Juan Manuel; Quinteros, Carlos Fabio; Malleret, Antonio Darío*

AUTORES: Facultad de Ciencias de la Alimentación. Universidad Nacional de Entre Ríos. (Concordia, Entre Ríos, Argentina).

CONTACTO: [zapatam@fcal.uner.edu.ar](mailto:zapatam@fcal.uner.edu.ar)

### **Resumen**

Se estudiaron alternativas de industrialización de arándanos mediante la obtención de productos con propiedades funcionales. Se elaboró jugo de arándanos (JA) despectinizando con 4mg de enzima LAFASE®-CLARIFICATION/100g arándanos y 8mg enzima LAFASE®-HE-GRAND-CRU/100g arándanos a 50°C durante 1,3h. En estas condiciones se maximizaron el rendimiento de extracción de jugo y la concentración de antocianinas totales (AT). Para estabilizar el JA se optimizó el baremo temperatura-tiempo de pasteurización en 77°C y 85s, lo que posibilitó la obtención de jugo de arándanos pasteurizado (JAP) con altas concentraciones de AT. Al JAP se incorporaron bacterias probióticas de *Lactobacillus rhamnosus*, obteniendo jugo de arándanos con probióticos (JACP). Las mejores condiciones de almacenamiento para el jugo de arándanos fueron como JAP almacenado a 0°C durante 300 días y como JACP a 0°C durante 30 días. El JAP se utilizó para impregnar rodajas de manzana y zucchini y potenciar sus propiedades funcionales. Las rodajas fueron deshidratadas a 40, 50 y 60°C para obtener snacks enriquecidos con antocianinas. El modelo de Page describió adecuadamente la cinética de deshidratación. A 60°C se logró la mayor retención de AT y el menor tiempo de deshidratación, lo que es de interés desde el punto de vista tecnológico.

**Palabras clave:** arándanos, industrialización, antioxidantes, probióticos

## Objetivos propuestos y cumplidos

### Objetivo general:

Obtener productos en base a arándanos con propiedades funcionales.

### Objetivos específicos:

- Obtener jugo de arándanos sin pasteurizar y pasteurizado y con agregado de probióticos.
- Encontrar, en la etapa de despectinización, la mejor combinación de las variables concentración de enzimas, temperatura y tiempo de tratamiento enzimático que maximicen el rendimiento de extracción de jugo y la concentración de antocianinas presentes en el mismo.
- Hallar la mejor combinación temperatura-tiempo de pasteurización que maximicen la concentración de antocianinas presentes en el jugo de arándanos.
- Evaluar el potencial efecto inhibitor que pudiere tener el jugo de arándano sobre las cepas probióticas y obtener jugo de arándanos con probióticos.
- Estudiar la degradación de la antocianinas en el jugo de arándanos sin pasteurizar y pasteurizado y de jugo de arándanos con probióticos durante el almacenamiento.
- Determinar la viabilidad de las cepas probióticas incorporadas al jugo de arándano durante el almacenamiento.
- Evaluar la potencial utilización de jugo de arándanos en impregnación a vacío para potenciar las propiedades funcionales de manzanas y zapallos tipo zucchini.
- Obtener snack enriquecidos con antocianinas.

## Marco teórico y metodológico (síntesis)

Los arándanos (*Vaccinium corymbosum*) son una fuente rica en fitonutrientes, entre los que se encuentran compuestos fenólicos, especialmente antocianinas, que poseen propiedades antioxidantes (Vrhovsek et al., 2012). A las antocianinas se les atribuye la propiedad de prevenir ciertas enfermedades cardiovasculares, neuronales, cáncer y diabetes, entre otras (Castañeda-Ovando et al., 2009; Moldovan et al., 2012).

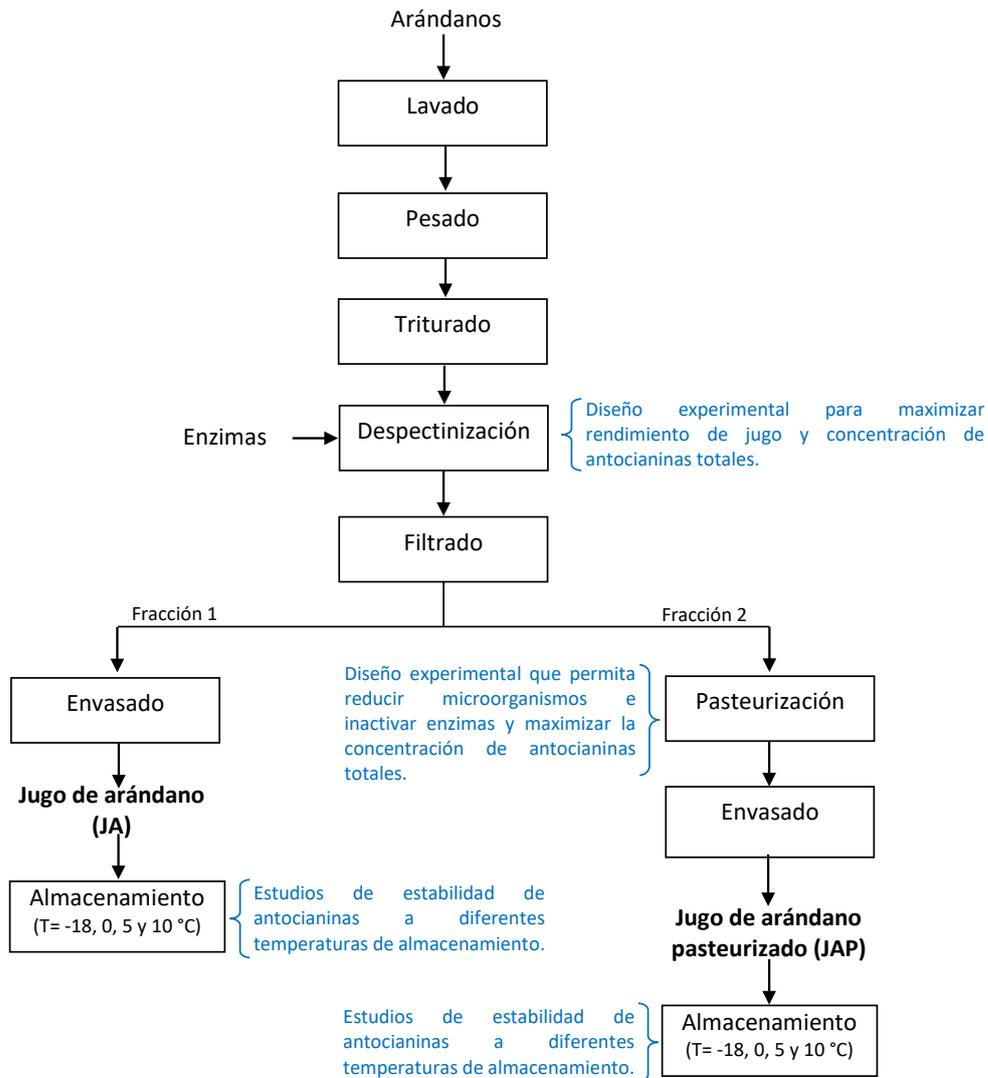
En la obtención de productos de arándanos existen etapas del proceso que podrían afectar la concentración de las antocianinas presentes en la materia prima (Brownmiller et al., 2008; Sablani et al., 2010). Un ejemplo de ello es la elaboración de jugo de arándanos, en donde existen varias etapas que pueden afectar de forma significativa el contenido de antocianinas. El alto contenido de pectinas hace que sea necesaria una etapa de despectinización, mientras que la presencia de enzimas y de microorganismos requiere de una etapa de pasteurización que inactive enzimas, garantice la inocuidad y prolongue la vida útil. Tanto la despectinización como la pasteurización y el almacenamiento del jugo conllevan a una degradación de las antocianinas presentes (Jie et al., 2013; Sandri et al., 2013; Sui et al., 2016).

Villareal et al. (2013) afirman que el principal desafío en la elaboración de una bebida es preservar sus nutrientes y hacerlo atractivo desde el punto de vista sensorial. Razón por la cual se busca encontrar el mejor proceso que conserve las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos. Los tratamientos térmicos son unos de los métodos más utilizados para estabilizar productos porque tienen la capacidad de destruir microorganismos e inactivar enzimas. Entre estos tratamientos el más comúnmente usado es la pasteurización. Sin embargo es importante encontrar la relación temperatura - tiempo adecuada que reduzca la población microbiana e inactive las enzimas.

En el presente trabajo se plantea la hipótesis de que es factible obtener productos derivados de arándanos con propiedades funcionales.

### Materia prima

Para la obtención de jugo de arándanos se utilizaron como materia prima arándanos variedad Snow-chaser proporcionados por productores de la provincia de Entre Ríos. Los frutos, luego de recolectados, fueron caracterizados, lavados con agua de canilla, pesados y triturados para efectuar la extracción de jugo en la etapa de despectinización (Figura 1).



**FIGURA 1.** Obtención y estudios realizados en jugo de arándano y jugo de arándano pasteurizado.

### Despectinización de jugo de arándanos

En esta etapa se investigó la mejor combinación de las variables concentración de enzimas, temperatura y tiempo de tratamiento enzimático que maximicen el rendimiento de extracción de jugo y las concentraciones de antocianinas monoméricas totales presentes en el mismo.

Para ello se elaboró un diseño experimental con 4 factores, cuyas regiones experimentales fueron:

Temperatura: 0 a 100 °C.

Tiempo: 0 a 2,5 h.

Concentración de enzima LAFASE® HE GRAND CRU (E<sub>1</sub>): 0 a 8 mg/100 g arándanos.

Concentración de enzima LAFASE® CLARIFICATION (E<sub>2</sub>): 0 a 16 mg/100 g arándanos.

Las variables respuesta fueron: - rendimiento de jugo y - concentración de antocianinas monoméricas totales.

Se realizaron 34 experiencias, donde cada una de ellas se efectuó por triplicado. Los resultados fueron analizados por la metodología superficie de respuesta y los valores de los factores experimentales que maximizaron las variables respuesta fueron obtenidos con la función deseabilidad.

### Pasteurización de jugo de arándanos

Con el fin de estabilizar el JA obtenido, desde el punto de vista enzimático y microbiológico, se investigó, para la etapa de pasteurización, la influencia de los factores: temperatura y tiempo de pasteurización sobre la concentración de antocianinas monoméricas totales (AT), antocianinas poliméricas (AP) y fenoles totales (FT).

Para ello se confeccionó un diseño experimental de 2 factores, con las siguientes regiones experimentales:

Temperatura: 73 a 87 °C.

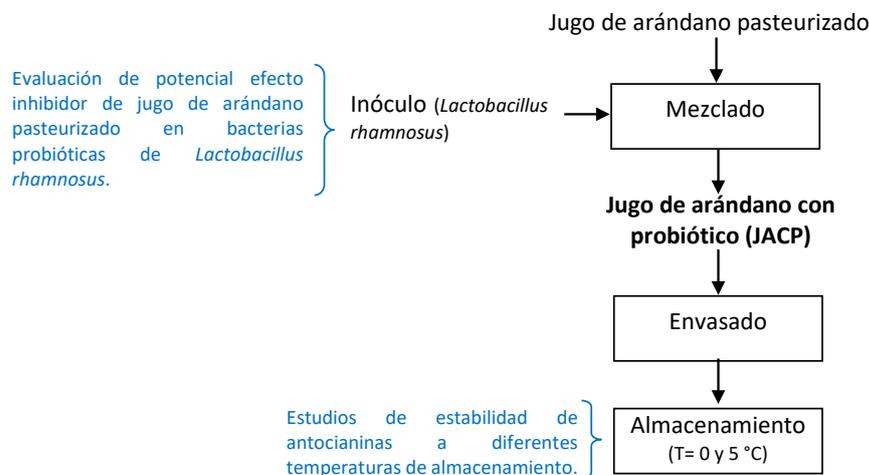
Tiempo: 13 a 127 s.

Las variables respuesta fueron: AT, AP y FT.

Se ejecutaron 20 experiencias, cada una de ellas por triplicado y los resultados se analizaron por la metodología superficie de respuesta.

### Obtención de jugo de arándanos con probióticos

Para la obtención de jugo de arándanos con probióticos (JACP) se procedió según indica la Figura 2.



**FIGURA 2.** Obtención y estudios realizados en jugo de arándano con probiótico.

Inicialmente se evaluó el potencial efecto inhibidor del jugo de arándano sobre las cepas probióticas. Para ello se trabajó con bacterias probióticas de *Lactobacillus rhamnosus*, las que fueron sembradas en diferentes alícuotas a partir de un cultivo overnight (O/N) con DO600 nm de 0,6 en tubos conteniendo diferentes concentraciones de JAP, que se prepararon según se muestra en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Preparación de tubos para evaluar efecto inhibitor del JAP sobre las cepas de *Lactobacillus rhamnosus*.

Tubo N°	Volumen medio MRS (mL)	Volumen JAP (mL)	Volumen cultivo inóculo (mL)	Volumen final (mL)
1	0	9	1	10
2	2	7	1	10
3	4	5	1	10
4	6	3	1	10
5	8	1	1	10
6	9	0	1	10

Los tubos se incubaron a 37 °C durante 48 h. Finalizado ese tiempo se observó la presencia de turbidez y a partir de cada uno de los tubos se realizaron siembras en superficie sobre placas de Petri conteniendo agar MRS (por triplicado) y se incubaron durante 48 h a 37 °C para evaluar la viabilidad de las cepas.

A continuación se preparó el inóculo para incorporarlo al JAP. Para preparar el inóculo bacteriano se utilizó un cultivo O/N en caldo MRS con  $1,8 \times 10^7$  UFC/mL (DO<sub>600nm</sub>=0,6). De este cultivo se tomaron 10 mL y se inocularon a 150 mL de JAP.

Luego de inoculado el JAP (t=0 días) se realizó un recuento bacteriano, el que dio como resultado  $4,9 \times 10^6$  UFC/mL. Se realizó la caracterización del JACP.

### Degradación de antocianinas durante el almacenamiento

Se estudió la degradación de las AT durante el almacenamiento del JA (sin pasteurizar), JAP y JACP.

Para estos ensayos se preparó JA que fue fraccionado y almacenado en 84 envases. El almacenamiento fue a -18, 0, 5 y 10 °C durante 148 días; lo que se correspondió con 21 envases por cada temperatura de almacenamiento. A intervalos regulares de tiempo fueron retirados 3 envases para evaluar la concentración de AT. De igual forma se procedió con el JAP.

Los estudios de degradación de antocianinas y de viabilidad de células probióticas durante el almacenamiento de jugo de arándanos con probióticos se realizaron a 0 y 5°C. Para ello se obtuvo JACP con  $5,5 \times 10^6$  UFC/mL jugo. El JACP fue colocado en 42 tubos y dividido en 2 fracciones para almacenarlos a las temperaturas antes señaladas. Se dieron por finalizados los ensayos cuando la concentración de células probióticas se redujo por debajo de los valores  $10^6$ - $10^9$  UFC/mL; puesto que el CAA (art. 1389) señala que con la denominación de alimento con probióticos, se entiende aquel alimento con una carga de células viables que deberá estar comprendida entre  $10^6$  y  $10^9$  UFC/g durante su período de duración mínima.

Para los 3 jugos (JA, JAP y JACP) se determinaron los parámetros cinéticos de degradación de antocianinas que se mencionan a continuación.

### Orden de la cinética de degradación de las antocianinas

Se determinó a partir de la variación de la concentración de antocianinas presentes en los jugos en función del tiempo de almacenamiento. Según el orden de la reacción, la evolución de la concentración de AT con el tiempo de almacenamiento puede ser descrita mediante diferentes ecuaciones (Loypimai et al., 2016). Así, para una reacción de orden cero sería la Ecuación 1 y para una de orden uno la Ecuación 2.

$$C = C_0 - k \cdot t \quad (1)$$

$$C = C_0 \cdot e^{-k \cdot t} \Rightarrow \ln C = \ln C_0 - k t \quad (2)$$

Dónde: C: Concentración de antocianinas al tiempo t (mg cianidina-3-glucósido/L), C<sub>0</sub>: Concentración inicial de antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/L), t: tiempo de almacenamiento (días), k: constante de velocidad de degradación de AT.

Para analizar el ajuste de la cinética de degradación de orden cero se representó, para cada temperatura de almacenamiento, (C<sub>0</sub> - C) en función del tiempo y para el ajuste a una cinética de orden uno se representó el ln(C<sub>0</sub>/C) en función del tiempo. A continuación se evaluó, con software STATGRAPHICS Centurión XV, la calidad del ajuste sobre los datos experimentales mediante los parámetros estadísticos de bondad de ajuste que se mencionan a continuación (Gutiérrez-Pulido y Vara-Salazar, 2008).

Significancia de la regresión: se consideró que la regresión fue significativa para p<0,05.

Coefficiente de correlación, r: cuanto más próximo a ± 1 fue r, mayor fue la relación lineal entre la concentración de AT y el tiempo de almacenamiento.

Media del error absoluto, MEA: cuando más pequeño fue este error, mejor ajustó el modelo.

Prueba de Durbin-Watson, DW: se consideró un buen ajuste del modelo cuando p DW> 0,05; indicando independencia de los residuos.

Estos estudios permitieron establecer cuál de los dos modelos (orden cero u orden uno) describieron mejor la degradación de las antocianinas con el tiempo de almacenamiento a una determinada temperatura.

*Constante de velocidad de degradación.* A partir de la pendiente de la curva que describe la variación de la concentración de antocianinas en función del tiempo de almacenamiento, según el orden de reacción seleccionado, se calcularon los valores de las constantes de velocidad de degradación (k) de las antocianinas presentes en el jugo a cada una de las temperaturas de almacenamiento (Casp y Abril, 1999; Loypimai et al., 2016).

*Tiempo de vida media (t<sub>1/2</sub>).* Es el tiempo necesario para que una concentración descienda a la mitad de su valor inicial (Brown, et al., 2004). Para orden cero se aplica la ecuación 3 y para primer orden la ecuación 4 (Kotz et al., 2005; Casp y Abril, 1999).

$$t_{1/2} = \frac{C_0}{2 \cdot k} \quad (3)$$

$$t_{1/2} = \frac{h \cdot C_0 - h \cdot \frac{C_0}{2}}{k} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k} \quad (4)$$

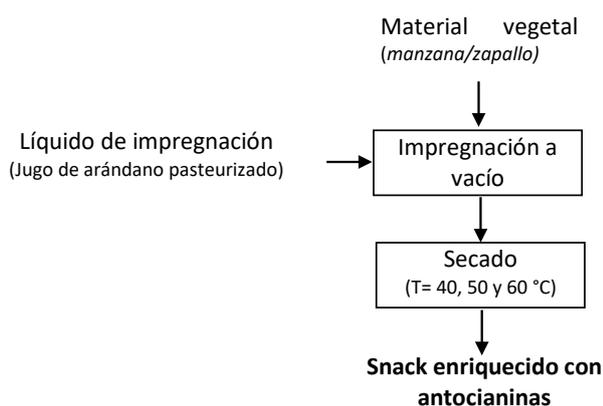
Para determinar el tiempo de vida media de las antocianinas en los jugos se reemplazó, para cada temperatura estudiada, los valores de k y C<sub>0</sub> en el modelo de mejor ajuste.

### Viabilidad de cepas probióticas en el JACP durante el almacenamiento

Al igual que para el estudio de antocianinas, en los JACP contenidos en los tubos de ensayo se evaluó la viabilidad de las células probióticas durante el almacenamiento. Para ello se realizaron diluciones de los jugos (10<sup>-1</sup> y 10<sup>-8</sup>) en agua de peptona al 0,1%. De cada dilución se tomaron 0,1 mL y se inocularon placas de agar MRS para bacterias lácticas, éstas se incubaron a 37 °C durante 48 horas y se realizó el recuento de las placas (Páez, 2013).

### Utilización de jugo de arándanos en impregnación a vacío

Se estudió la aptitud de las matrices rodajas de manzana (*Granny Smith*) y zapallo tipo zucchini (*Cucurbita pepo*) al proceso de impregnación a vacío con el fin de potenciar sus propiedades funcionales (Figura 3).



**FIGURA 3.** Estudios de impregnación a vacío y obtención de snack enriquecido con antocianinas.

Inicialmente las manzanas y zucchinis fueron lavados en forma manual con agua, pelados y cortados en rodajas de diámetro externo de 60 mm, diámetro interno de 23 mm y espesor de 5 mm (Figura 4). Luego, las rodajas fueron impregnadas a vacío utilizando como líquido de impregnación JAP.



**FIGURA 4.** Discos de manzana y zapallo tipo zucchini antes de la impregnación a vacío.

La impregnación se realizó en cámara de impregnación, que consistió en la adaptación de una estufa de vacío (Vacuum Oven DZF-6020, China) a la que se le colocó en su interior una balanza de 0,01 g de precisión (Boeco BEB53, Alemania) y un brazo con movimiento ascendente y descendente accionado a control remoto (Figura 5). Sobre la balanza se colocó un vaso conteniendo el líquido de impregnación y en el extremo del brazo se colocaron las rodajas a impregnar, de tal forma que las rodajas fueron incorporadas o retiradas del líquido de impregnación según los requerimientos del ensayo pero sin abrir la cámara de impregnación.



**FIGURA 5.** Cámara de impregnación.

Se registraron los pesos iniciales, durante el proceso de impregnación y los pesos finales de las rodajas de manzana y zucchini y del líquido de impregnación.

La operación de impregnación se dividió en dos etapas. En la primera etapa las rodajas fueron sumergidas en el líquido de impregnación y el conjunto se colocó en la cámara de impregnación con las siguientes condiciones de trabajo: presión de vacío 50 mbar, tiempo 10 min y temperatura  $25 \pm 1$  °C. En una segunda etapa se rompió el vacío y las condiciones de trabajo fueron: presión 1049 mbar, tiempo 10 min y temperatura  $25 \pm 1$  °C.

La experiencia consistió en obtener los parámetros hidrodinámicos fracción volumétrica, deformación volumétrica y porosidad eficaz según se describe a continuación (Salvatori et al., 1998).

- Fracción volumétrica del líquido intercambiado en la etapa de vacío,  $X_1$ , (% v/v solución de impregnación/ muestra inicial).
- Fracción volumétrica del líquido intercambiado en la etapa de a presión atmosférica,  $X_2$ , (% v/v solución de impregnación/muestra inicial).
- Fracción volumétrica del líquido intercambiado al final de la impregnación,  $X$ , (% v/v solución de impregnación /muestra inicial).
- Deformación volumétrica de la muestra en la etapa de vacío,  $\gamma_1$  (% v/v deformación de la muestra/ muestra inicial).
- Deformación volumétrica de la muestra en la etapa a presión atmosférica,  $\gamma_2$ , (% v/v deformación de la muestra/muestra inicial).
- Deformación volumétrica de la muestra al final de la impregnación,  $\gamma$ , (% v/v deformación de la muestra/muestra inicial).

$$\gamma_1 = \frac{\Delta V_1}{V_0} \quad (5)$$

$$\gamma_2 = \frac{\Delta V_2}{V_0} \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (7)$$

Donde  $\Delta V_1$ ,  $\Delta V_2$  y  $\Delta V$  son el volumen de deformación de la muestra al final de la etapa de vacío, al final de la etapa a presión atmosférica y al final en el proceso global, respectivamente; mientras que  $V_0$  es el volumen de la muestra inicial.

- Porosidad eficaz o disponible,  $\epsilon e$ , representa la fracción de volumen de muestra disponible para un mecanismo HDM; (% v/v). La porosidad eficaz se obtuvo con la ecuación propuesta por (Fito, 1994; Fito et al. 1996) (Ecuación 8).

$$\epsilon e = \frac{(x - \gamma) r + \gamma_1}{r - 1} \quad (8)$$

Donde  $r$  es la relación de compresión, definida por la Ecuación 9, en la que  $P_1$  (N/m<sup>2</sup>) es la presión en la etapa de vacío y  $P_2$  (N/m<sup>2</sup>) es la presión atmosférica.

$$r = \frac{P_2}{P_1} \quad (9)$$

Se realizaron un total de 12 ensayos de impregnación en manzanas y una cantidad igual de ensayos para zucchini.

### Obtención de snack enriquecidos con antocianinas

Las rodajas de manzana y zucchini impregnadas con jugo de arándanos se secaron en horno con circulación forzada de aire (FAC 4554, Argentina) a una velocidad de aire 1m/s y humedad relativa 50%. Se ensayaron 3 temperaturas: 40, 50 y 60 °C, realizando tres repeticiones por tratamiento. Durante el secado, cada media hora, las muestras fueron pesadas en balanza electrónica de precisión de  $\pm 0,01$  g (Moretti NJW Series, Argentina) para controlar la pérdida de humedad.

Con el fin de describir la cinética de deshidratación y seleccionar la temperatura de secado que permita obtener snack con mayor concentración de AT, se representó la relación de humedad (Ecuación 10) en función del tiempo de secado ( $t$ ) y se evaluó el ajuste de los datos experimentales a 5 modelos matemáticos: Lewis (Newton) (Ecuación 11), Henderson-Pabis (Ecuación 12), Logarítmico (Ecuación 13), Page (Ecuación 14) y Weibull (Ecuación 15) (Corzo et al., 2008; Puente-Díaz et al., 2013; Doymaz et al., 2015; Doymaz et al., 2015).

$$RH = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (10)$$

$$RH = \exp(-kt) \quad (11)$$

$$RH = n_1 \exp(-k_1 t) + n_2 \exp(-k_2) + n_3 \exp(-k_3) \quad (12)$$

$$RH = c + n \exp(-kt) \quad (13)$$

$$RH = c \exp(-kt^n) \quad (14)$$

$$RH = \exp \left[ - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \quad (15)$$

Dónde:  $RH$  es la relación de humedad,  $t$  es el tiempo de secado,  $X_t$  es la humedad media en el instante  $t$  (kg agua/kg MS),  $X_e$  es la humedad de equilibrio (kg agua/kg MS),  $X_0$  es la humedad inicial (kg agua/kg MS), MS es materia seca,  $c$  y  $n$  son constantes empíricas,  $k$  es parámetro cinético ( $h^{-1}$ ),  $\alpha$  es el parámetro de escala ( $h$ ) y  $\beta$  es el parámetro de forma (adimensional).

Para analizar el ajuste de los datos experimentales a los modelos propuestos se representó, para cada temperatura de secado, la  $RH$  en función del  $t$ . A continuación, con software Matlab, se analizaron los parámetros estadísticos de bondad de ajuste: coeficiente de determinación ( $R^2$ ), suma del cuadrado

de los errores (SSE) y error medio cuadrático (RMSE). El modelo ajustó mejor cuanto más cercano a cero fueron la SSE y el RMSE y más próximo a uno R<sup>2</sup> (Taghian-Dinani et al., 2014; Olanipekun et al., 2015).

### Técnicas analíticas

*Sólidos solubles totales (SST)*: Método refractométrico (AOAC, 1990).

*Acidez total titulable (ATT)*: Titulación potenciométrica (AOAC, 1990).

*pH*: Se midió con un pH-metro (Crison Instruments S.A., modelo GLP 21-22, España).

*Concentración de antocianinas monoméricas totales (AT)*: Método diferencial de pH (Mercali et al., 2015).

*Antocianinas poliméricas (AP)*: Método espectrofotométrico a 420, 510 y 700 nm (Giusti y Wrolstad, 2001).

*Fenoles totales (FT)*: Método de Folin-Ciocalteu (Gorriti-Gutiérrez et al., 2009).

*Actividad antioxidante (AA)*: Se utilizaron los métodos de los radicales ABTS (Re et al., 1999) y DPPH (Brand-Williams et al., 1995).

*Ensayos microbiológicos (M)*: Se realizaron ensayos de mohos y levaduras en agar papa glucosado y MRS para *Lactobacillus*.

*Actividad enzimática residual (AER)*: Se evaluó actividad de Peroxidasa (POD) espectrofotométricamente a 470 nm y de Polifenol Oxidasa (PPO) a 420 nm. La actividad enzimática se determinó como cambio de absorbancia por minuto ( $\Delta$ Abs/min) a 25°C. La actividad residual (AR) se determinó como: % AER =  $(A/A_0) \times 100$ . Dónde: A: actividad enzimática después de la pasteurización (Abs/min) y A<sub>0</sub>: actividad enzimática antes de la pasteurización (Abs/min).

*Rendimiento de jugo (RJ)*: Se calculó como el cociente entre el peso del jugo obtenido y el peso de los arándanos utilizados como materia prima.

### Síntesis de resultados y conclusiones

#### Caracterización de la materia prima

Antes de iniciar las experiencias se caracterizaron los arándanos utilizados como materia prima. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

**TABLA 2.** Características de calidad del arándano fresco.

Característica de calidad	Arándano fresco
SST (°Brix)	12,3 ± 0,1
ATT (g/100 g)	0,42 ± 0,01
pH	3,30 ± 0,01
AT (mg equivalente cianidina-3-glucósido/kg fruto)	782,75 ± 60,09
FT (mg equivalente ácido gálico (GAE)/kg fruto)	1558,03 ± 2,57
AA, ABTS (mg equivalente de ácido ascórbico (EAA)/kg fruto)	6040,11 ± 14,99
AA, DPPH (mg EAA/kg fruto)	3038,37 ± 25,96

#### Despectinización de jugo de arándanos

Las concentraciones más bajas de AT en el jugo se observaron cuando las experiencias se realizaron a los más bajos y altos valores de temperatura y tiempo (T= 0 y 100 °C, t= 0 y 2,5 h); mientras que a temperaturas entre 20 y 80 °C y tiempos de 1,3 y 2,0 h se observó una mayor AT en el jugo, inclusive en

ausencia de enzimas. También se pudo visualizar que manteniendo constante la  $E_1$  y  $E_2$  en 4 y 8 mg/100 g arándano, respectivamente, incrementos de la temperatura hasta 60 °C y del tiempo de tratamiento hasta 1,4 h provocaron un aumento en la AT; mientras que cuando los factores tiempo y temperatura tomaron valores superiores a los mencionados se observó una disminución de la AT.

Hasta concentraciones de  $E_1$  de 4 mg/100 g arándano y temperaturas de 48 °C, pequeños incrementos en cualquiera de estos factores provocaron un aumento en la AT; mientras que por encima de esa concentración de  $E_1$  o de esa temperatura se observó disminución de la AT. Un comportamiento similar se observó con la enzima  $E_2$  pero para concentraciones de 8 mg/100 g arándanos. Para tiempos comprendidos entre 1,28 y 1,32 h y concentraciones de  $E_1$  entre 3,6 y 4,4 mg/100 g arándanos y de  $E_2$  entre 7 y 8 mg/100 g arándanos se observó la mayor AT.

Los RJ más bajos se obtuvieron cuando se trabajó a bajos tiempos (0,5 h) y a altas temperaturas y largos tiempos de tratamiento ( $T= 80$  °C y  $t= 2,0$  h), mientras que cuando no se incorporaron enzimas se observaron valores intermedios de RJ. Los más altos RJ se alcanzaron cuando la temperatura fue de 50 °C, el tiempo de tratamiento entre 1,3 y 2,5 h y la concentración de enzimas  $E_1$  y  $E_2$  estuvo comprendida entre 4 y 8 mg/100 g de fruto.

El análisis con la función deseabilidad indicó que los valores de los factores experimentales de la etapa de despectinización que maximizaron las variables respuesta fueron: Temperatura 50 °C, tiempo de tratamiento enzimático: 1,3 h, concentración de enzima LAFASE® CLARIFICATION: 4 mg/100 g de arándanos y concentración de enzima LAFASE® HE GRAND CRU: 8 mg/100 g de arándanos. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento de jugo de arándanos del 87 % con una concentración de antocianinas monoméricas totales de 712 mg de equivalente de cianidina-3-glucósido/L de jugo de arándanos.

### **Pasteurización de jugo de arándanos**

Un primer análisis de las regiones experimentales ensayadas para las variables temperatura y tiempo de pasteurización indicó que incrementos en la temperatura hasta 80 °C provocaron un incremento en el contenido de AT en el jugo, mientras que cuando la temperatura de trabajo fue superior a este valor la AT disminuyó. Por su parte, para una determinada temperatura y para los tiempos de pasteurización extremos (13, 30, 127 s) el contenido de AT fue bajo, mientras que para tiempos de tratamiento intermedios (70 s) se obtuvieron los valores más altos de AT. Adicionalmente, se visualizó que incrementos en la temperatura y el tiempo provocaron un aumento de la AT hasta la región experimental de 75-79 °C y 70-90 s, mientras que cuando se trabajó a temperaturas o tiempos superiores a los señalados la AT disminuyó.

Las conversiones estructurales de las antocianinas son reacciones endotérmicas. Si bien la temperatura es uno de los factores críticos que influyen en la degradación de antocianinas (Min-Sheng y Po-Jung, 2007), resisten bien procesos térmicos a altas temperaturas durante cortos periodos de tiempo. El incremento en la AT cuando se pasteurizó a temperaturas de hasta 79 °C y tiempos de hasta 90 s, probablemente favoreció la inactivación de enzimas que provocan la hidrólisis enzimática de la glucosa de los antocianos (Romero-Cascales, 2008), evitando la formación de estructuras inestables de los pigmentos antocianínicos; mientras que por encima de esas condiciones se pudo haber producido pérdida del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura de anillo, con la consecuente producción de chalconas incoloras (Garzón, 2008).

Referido a las variables respuesta AP y FT no se observó un determinado patrón de comportamiento al modificarse la temperatura y tiempo de pasteurización. Los ANOVA del diseño de experimento señalaron que los factores experimentales temperatura y tiempo, como sus interacciones, no influyeron en estas variables respuesta. Por lo tanto, para la optimización se trabajó únicamente con la variable respuesta AT.

Mediante la aplicación de la función optimización se obtuvieron el baremo temperatura-tiempo de pasteurización de 77 °C y 85 s que posibilitaron la obtención de los valores más altos de AT, que se correspondieron con 880 mg de equivalentes de cianidina-3-glucósido/L de jugo de arándanos pasteurizado.

### Caracterización de jugo de arándanos sin pasteurizar y pasteurizado

A continuación se prepararon JA y JAP según las condiciones óptimas obtenidas en los diseños experimentales de despectinización y pasteurización. Los resultados de caracterización se muestran en la Tabla 3.

En general, para las diferentes características de calidad no se observaron diferencias significativas entre el JA y el JAP. En la tabla se observa que con el tratamiento térmico disminuyeron en un 80 % las UFC/mL y los valores alcanzados responden a las exigencias del Código Alimentario Argentino (Capítulo XII). Con la pasteurización también hubo una disminución de la actividad enzimática de la PPO del 90% y de la POD del 63%.

La concentración de AT y el RJ alcanzado en las condiciones experimentales fueron altos y similares al valor teórico obtenido con las funciones de optimización. Además, el RJ fue comparable con el publicado por Vieira da Mota (2006), quien elaboró jugo de mora y obtuvo un RJ del 85%.

**TABLA 3.** Características de calidad de JA y JAP.

Característica de calidad	JA	JAP
SST (°Brix)	12,7 ± 0,1 a	12,8 ± 0,1 a
ATT (g/100 mL)	0,43 ± 0,01 a	0,42 ± 0,01 a
pH	3,26 ± 0,01 a	3,26 ± 0,01 a
AT (mg cian-3-gluc/L)	851,36 ± 51,14 a	823,87±19,09 a
AP (%)	10,68 ± 0,27 a	9,04 ± 0,14 b
FT (mg GAE/L)	1271,00 ± 5,63 a	1274,05 ± 4,49 a
ABTS (mg EAA/L)	5043,74 ± 146,03 a	4787,68 ± 155,19 a
DPPH (mg EAA/L)	5050,09 ± 233,58 a	5482,39 ± 244,18 a
AER (%) PPO	-	10
AER (%) POD	-	37
M (UFC/mL)	75 a	15 b
RJ (%)	83	-

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas entre las medias ( $p < 0.05$ ).

### Obtención de jugo de arándanos con probióticos

En los estudios de potencial efecto inhibitor del jugo de arándano sobre las cepas probióticas, ésta demostró capacidad de crecimiento en todas las concentraciones de JAP, observándose un recuento en placa entre  $4 \times 10^5$  UFC/mL y  $1,4 \times 10^7$  UFC/mL.

A continuación el JAP se inoculó con *Lactobacillus rhamnosus* obteniéndose en el JACP  $4,9 \times 10^6$  UFC/mL. La caracterización del JACP se muestra en la Tabla 4.

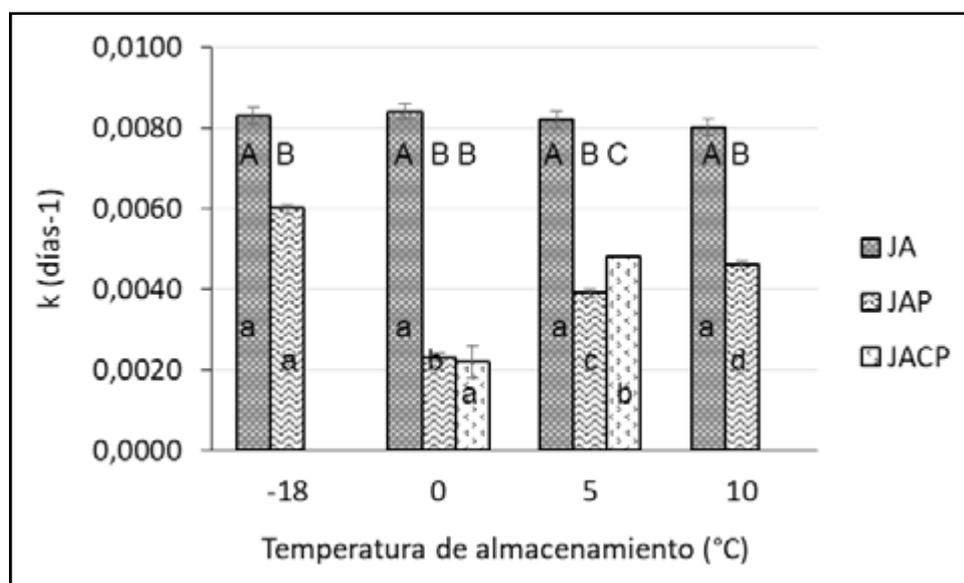
**TABLA 4.** Características de calidad de con agregado de probióticos.

Característica de calidad	JACP
SST (°Brix)	12,7 ± 0,1
ATT (g/100 g)	0,43 ± 0,01
pH	3,30 ± 0,01
AT (mg cian-3-gluc/L)	570,68±12,92
AP (%)	9,38 ± 0,20
FT (mg GAE/L)	1532,40 ± 15,52
AA, ABTS (mg EAA/L)	6079,41 ± 28,78
AA, DPPH (mg EAA/L)	3053,09 ± 17,92
M (UFC/mL)	4,9 x10 <sup>6</sup>

## Degradación de antocianinas durante el almacenamiento

En los estudios de degradación de antocianinas de los jugos durante el almacenamiento, los parámetros de bondad de ajuste obtenidos para los JA, JAP y JACP indicaron que el modelo de primer orden fue el que mejor describió la variación de la concentración de AT en función del tiempo de almacenamiento, por lo que se propone que la variación de la AT en función del tiempo de almacenamiento siguió una cinética de primer orden.

En los JA la k no mostró diferencias a las distintas temperaturas estudiadas, mientras que en los JAP la k aumentó con el incremento de la temperatura de almacenamiento, con excepción de los JAP almacenado a -18 °C, que mostraron el valor más alto de k (Figura 6). En los JACP la k fue menor cuando el almacenamiento fue 0 °C. Para una misma temperatura, k fue menor en los JAP.



**FIGURA 6.** Constante de velocidad de degradación de antocianinas. Letras minúsculas distintas indican que para un mismo tipo de jugo se observó diferencias significativas entre las medias de AT a distintas temperaturas. Letras mayúsculas distintas indican que para una misma temperatura se observó diferencias significativas entre las medias de AT entre los diferentes jugos.

Los JAP tuvieron un  $t_{1/2}$  entre 1,4 y 3,6 veces superior a los JA; siendo más alto cuando los JAP se almacenaron a 0 °C y más bajo cuando se almacenaron a -18 °C. Para una misma temperatura de almacenamiento, los  $t_{1/2}$  de los JACP fueron similares a los JAP (Figura 7). Sin embargo, en el caso de los JACP ha de tenerse en cuenta también la concentración de células probióticas presentes.

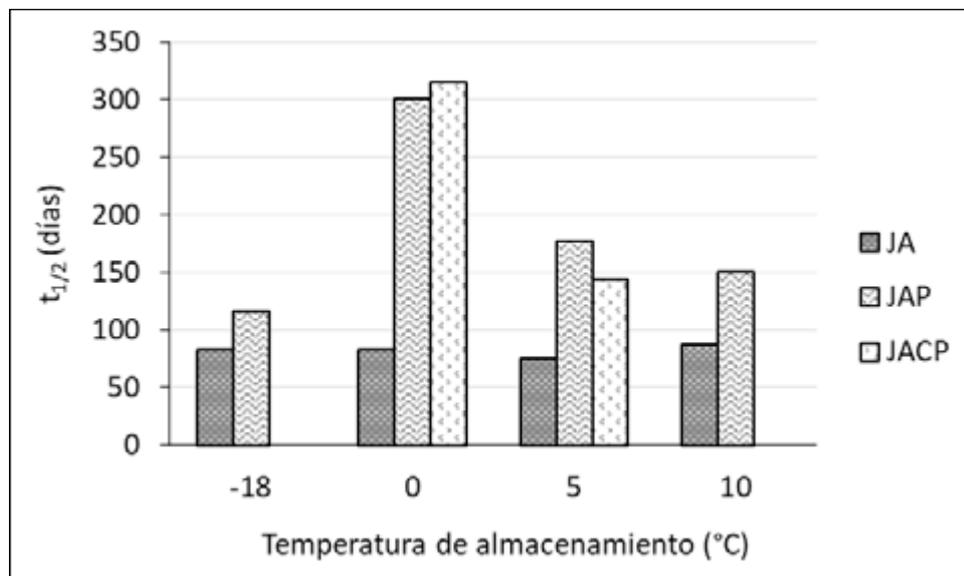
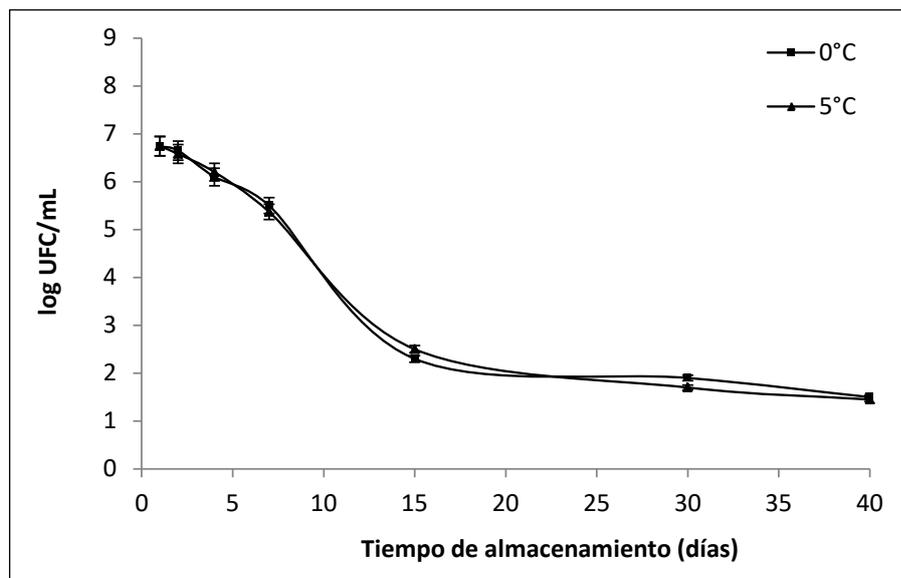


FIGURA 7. Tiempo de vida media de JA, JAP y JACP.

En consecuencia, La estabilidad de las antocianinas, durante el almacenamiento, fue mayor en los JAP y JACP almacenados a 0 °C.

#### Viabilidad de cepas probióticas en el JACP durante el almacenamiento

La viabilidad de los *Lactobacillus rhamnosus* fue disminuyendo durante el almacenamiento, siendo los resultados a 0 y 5 °C similares (Figura 8). Pese a que las cepas fueron previamente adaptadas al jugo de arándanos, la disminución de las bacterias probióticas se debió probablemente a la exposición por tiempo prolongado a bajos pH (3,3) y a bajas temperaturas de almacenamiento. Si bien los probióticos se caracterizan por su capacidad en resistir el pH ácido del estómago, el tiempo de exposición a este pH bajo del estómago es considerablemente menor que en el caso de los jugos almacenados; además, la presencia de ácidos orgánicos y compuestos fenólicos, podrían perjudicar la supervivencia de probióticos en jugos (Paquin, 2009).



**FIGURA 8.** Conteo de células viables durante el almacenamiento de JACP.

Los tiempos en que los JACP almacenados, tanto a 0 como a 5 °C, alcanzaron una concentración de células viables de  $10^6$  UFC/mL (valores del CAA.) fueron 20 días y se mantuvieron hasta los 30 días. Superados los 30 días, las UFC/mL disminuyeron aún más.

Para un período de almacenamiento de 30 días, la concentración de AT en el JACP almacenado a 0°C fue 532 mg cianidina-3-glucósido/L de JACP, mientras que en el jugo almacenado a 5 °C fue 487 mg cianidina-3-glucósido/L de JACP. Por lo tanto, el JACP debería almacenarse a 0 °C durante un período de 30 días.

#### Utilización de jugo de arándanos en impregnación a vacío

En la Figura 9 se pueden observar rodajas de manzana y zapallo tipo zucchini impregnados con JAP.



**FIGURA 9.** Rodajas de manzana y zucchini impregnados con jugo de arándanos pasteurizado.

En la etapa de vacío tanto las rodajas de manzana como de zucchini tuvieron valores positivos de  $\gamma_1$  pero pequeños, indicando que las rodajas sufrieron un ligero incremento de su volumen (Tabla 5). Los resultados positivos de  $X_1$  confirman que hubo un ingreso de líquido de impregnación a las matrices, especialmente en las rodajas de manzana (Martelo et al., 2011; Ostos et al., 2012).

En la etapa a presión atmosférica las rodajas de manzana mostraron alto valor de  $X_2$ , indicando una importante incorporación de líquido de impregnación, mientras que en las rodajas de zucchini se observó reducción de volumen ( $\gamma_2$  negativo) y escaso ingreso de líquido de impregnación a la matriz.

**TABLA 5.** Parámetros hidrodinámicos de impregnación a vacío de rodajas de manzana y zapallo tipo zucchini

PARÁMETRO	MANZANA	ZUCCHINI
$X_1$ (%v/v)	5,97 ± 1,86	0,67 ± 1,95
$\gamma_1$ (%v/v)	0,52 ± 4,64	0,53 ± 3,04
$X_2$ (%v/v)	15,93 ± 1,93	5,74 ± 2,91
$\gamma_2$ (%v/v)	0,55 ± 2,78	-11,74 ± 3,40
X (%v/v)	21,90 ± 2,15	6,41 ± 2,54
$\gamma$ (%v/v)	1,07 ± 5,75	-11,21 ± 2,95
$\epsilon_e$ (%v/v)	21,68 ± 4,69	14,55 ± 3,56

Referido al proceso global se puede visualizar en la tabla un alto valor de X en las rodajas de manzana, indicando que esta matriz fue más susceptible de impregnación que las rodajas de zucchini. Martelo et al (2011) señalaron que valores de fracción volumétrica de impregnación, X del orden del 10% son muy favorable al proceso de IV, por lo que las rodajas de manzana constituyen una buena alternativa para la incorporación de componentes bioactivos a través del proceso de IV.

La porosidad efectiva ( $\epsilon_e$ ) es la propiedad que determina la eficacia del proceso de IV, ya que evalúa el porcentaje en volumen de muestra accesible y/o generado por la IV (Sanzana-Ramos, 2010). En el presente estudio, este parámetro tomó valores de 21,68 % para las rodajas de manzana y de 14,55 % para las rodajas de zucchini; ratificando que el proceso de IV fue más eficaz en el caso de las manzanas. Fito et al (2001) publicaron valores de  $\epsilon_e$  para manzana Red Chief de 20,3±0,4% y para manzana Golden de 17,4±0,8%; valores estos comparables a los obtenidos en la presente investigación.

Sin embargo, no se observó diferencias significativas en la cantidad de antocianinas totales presentes en las rodajas de manzana y zucchini, cuyos resultados en base seca fueron: 639,13±29,97 mg cianidina-3-glucósido/kg manzana impregnada y 591,55±41,32 mg cianidina-3-glucósido/kg zucchini impregnado.

De lo expuesto se concluye que es factible la impregnación de rodajas de manzanas y zucchini con el fin de potenciar las propiedades funcionales de los productos originales.

Sin embargo, la actividad de agua en las rodajas de manzana impregnadas fue 0,966 y en las de zucchini impregnadas 0,974 por lo que son susceptibles al desarrollo de microorganismos y reacciones químicas indeseables. Esto motivó el estudio de la deshidratación de los productos impregnados para prolongar su vida útil.

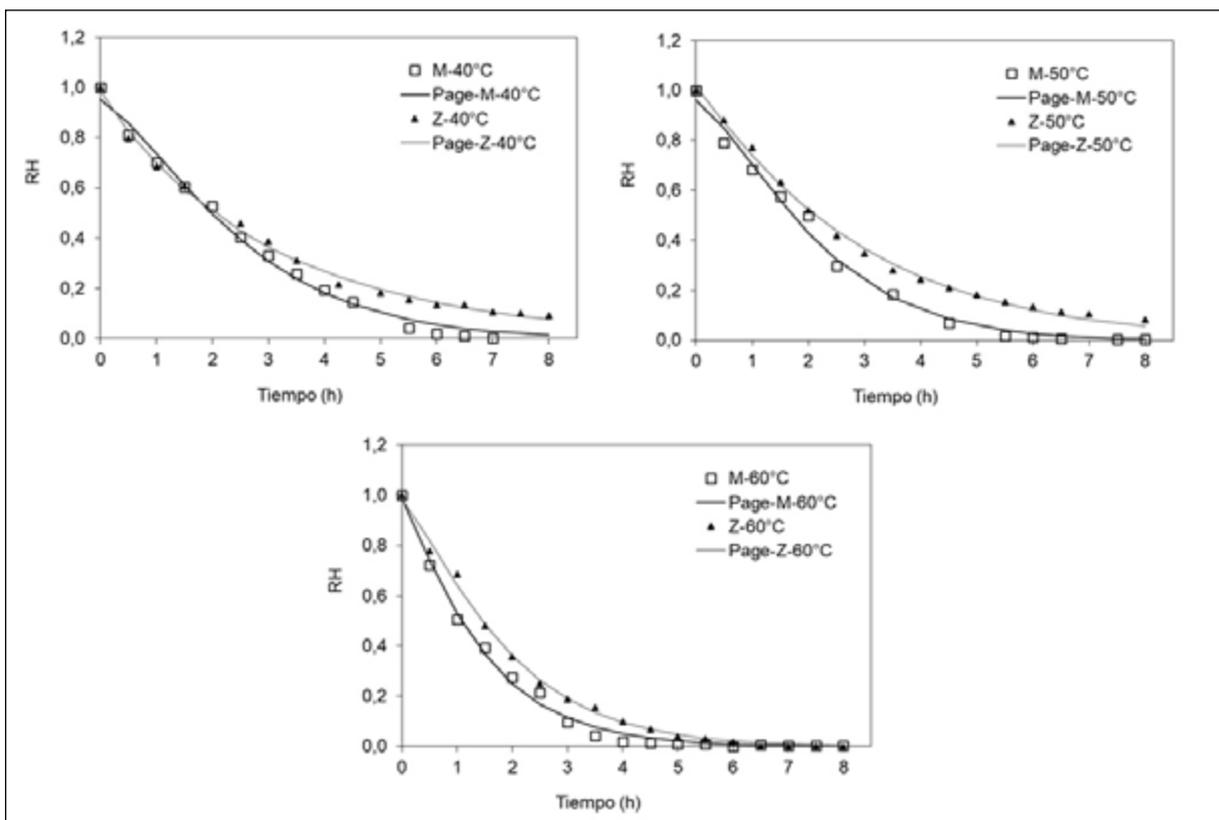
### **Obtención de snack enriquecidos con antocianinas**

Los estudios de deshidratación de rodajas de manzana y zucchini se realizaron a 40, 50 y 60 °C. El producto deshidratado obtenido se denominó snack enriquecido con antocianinas (Figura 10).



**FIGURA 10.** Snack enriquecidos con antocianinas.

Los 5 modelos matemáticos propuestos describieron satisfactoriamente los datos experimentales de deshidratación de rodajas de manzana y zucchini a las temperaturas señaladas ( $R^2 > 0,96$ ;  $SSE < 0,06$  y  $RMSE < 0,07$ ). Sin embargo, el modelo de Page fue el que mejor describió la cinética de secado. En la Figura 11 se muestran los resultados experimentales de RH en función del t, como así también el ajuste del modelo de Page.



**FIGURA 11.** Curvas de secado de rodajas de manzana (M) y zucchini (Z) impregnadas con jugo de arándanos a las temperaturas de 40, 50 y 60°C. Los puntos en la figura se corresponden con los datos experimentales y las líneas con el modelo de Page.

La Figura 12 muestra que las variables predichas con el Modelo de Page son consistentes con los resultados experimentales, por lo que este modelo podría utilizarse para estimar la cinética de secado de las matrices estudiadas.

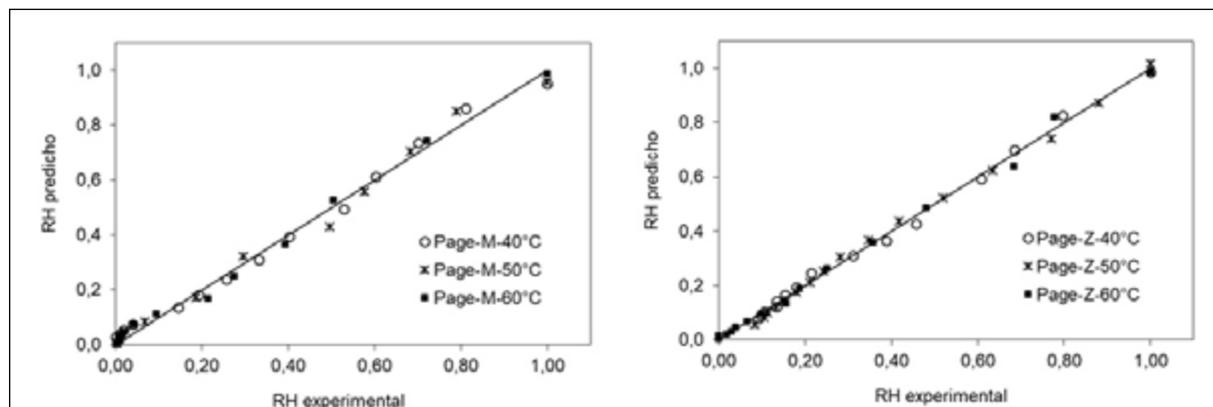


FIGURA 12. Valores de RH predichos con el Modelo de Page en función de los valores experimentales de RH.

El contenido de AT en las MI fue  $639,13 \pm 29,97$  mg cianidina-3-glucósido/kg MS; mientras que los snack de manzana obtenidos a de 40, 50 y 60°C tuvieron una concentración de AT de  $364,28 \pm 17,70$ ;  $400,05 \pm 23,30$  y  $592,81 \pm 52,55$  mg cianidina-3-glucósido/kg MS; respectivamente. En los zucchini la concentración de AT de ZI fue  $591,55 \pm 55,41$  32 mg cianidina-3-glucósido/kg MS y en los snack  $239,90 \pm 22,91$ ;  $432,78 \pm 28,50$  y  $464,62 \pm 48,44$  mg cianidina-3-glucósido/kg MS; para las temperaturas de deshidratación antes señaladas.

Los snacks de manzana obtenidos a 60 °C fueron los que retuvieron la mayor concentración de AT; mientras que los tratamientos de secado a 50 y 60 °C fueron los que conservaron mayor concentración de AT en los snacks de zucchini. Por otra parte, cuando la deshidratación se realizó a 60 °C se requirió menor tiempo para la obtención de los snacks, lo que es de interés desde el punto de vista tecnológico.

## Conclusiones

Las investigaciones realizadas en el marco del presente proyecto de investigación permitieron obtener diferentes productos con propiedades funcionales, tales como jugo de arándanos, jugo de arándanos pasteurizado, jugo de arándanos con probióticos y snacks enriquecidos con antocianinas.

En la etapa de despectinización de jugo de arándano se obtuvo que cuando el tratamiento enzimático se realizó con 4mg de enzima LAFASE®-CLARIFICATION/100g arándanos, 8mg de enzima LAFASE®-HE-GRAND-CRU/100g arándanos a una temperatura de 50 °C durante 1,3 h se maximizaron el rendimiento de extracción de jugo (83-87%) y la concentración de antocianinas totales (712-851 mg de equivalente de cianidina-3-glucósido/L jugo).

Los estudios de pasteurización de jugo de arándanos señalaron que el baremo temperatura-tiempo de pasteurización de 77°C-85s permitió la elaboración de jugo de pasteurizado de arándanos estable desde el punto de vista microbiológico y enzimático.

La incorporación de bacterias probióticas de *Lactobacillus rhamnosus* al jugo de arándanos pasteurizado permitió obtener un tercer producto, denominado jugo de arándanos con probióticos.

Los ensayos de estabilidad de antocianinas totales y de bacterias probióticas señalaron que las mejores condiciones de almacenamiento para el jugo de arándanos fueron como jugo de arándanos pas-

teurizado almacenado a 0°C durante 300 días y como jugo de arándanos con probióticos almacenado a 0°C durante 30 días.

Los estudios de impregnación a vacío de rodajas de manzana y zucchini con jugo de arándanos pasteurizado señalaron que esas matrices fueron adecuadas para ser empleadas en procesos de impregnación. Para reducir la actividad acuosa de las rodajas de material vegetal impregnado se realizaron ensayos de deshidratación a 40, 50 y 60°C; obteniendo así rodajas de manzana y zucchini deshidratadas a las que se denominaron snacks enriquecidos con antocianinas.

El modelo matemático de Page fue el que mejor describió la cinética de secado, seguido de los modelos de Weibull, Logarítmico, Henderson-Pabis and Lewis. Además, cuando la deshidratación se realizó a 60 °C se obtuvieron snacks con mayor retención de antocianinas y en tiempos de secado más cortos, lo que resultó de interés desde el punto de vista funcional y tecnológico.

De lo expuesto se concluye que es factible obtener productos en base a arándanos que mantengan gran parte de las propiedades funcionales de las bayas utilizadas como materia prima.

## Indicadores de producción

### Publicaciones

Castagnini, J. M., Zapata, L. M., Quinteros, C. F., & Noceti, A. (2017). Multiple response optimization of blueberry juice depectinization. *Ciencia Rural*, 47(4), 1–9. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160501>.

Zapata, L. M., Castagnini, J. M., Quinteros, C. F., Carlier, E., Jimenez-Veuthey, M., & Cabrera, C. (2016). Estabilidad de antocianinas durante el almacenamiento de jugos de arándanos. *Vitae*, 23(3), 175–185. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v23n3a04>.

Zapata, Luz M.; Heredia, Ana M.; Quinteros, Carlos F.; Malleret, Antonio D.; Clemente, Gabriela; Cárcel, Juan A. (2014). Optimización de la extracción de antocianinas de arándanos. *Revista Ciencia, Docencia y Tecnología*, Vol. 25, N°49: 166-192.

Se presentó para consideración de publicación: “Drying kinetics of apple and zucchini slices enriched with anthocyanins” en “Journal of Food Engineering”.

### Presentaciones a congresos nacionales

Zapata LM, Zampedri P, Zampedri C, Flores A, Mongelat S, Scattolaro O, Quinteros F, Castagnini J.M. Modelización matemática de la cinética de secado de rodajas de manzana y zapallo impregnadas con jugo de arándanos. I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha de Frutas y Hortalizas. 25-27 de octubre de 2017. Concordia. Entre Ríos.

Castagnini JM, Zampedri C, Zampedri P, Flores A, Mongelat S, Scattolaro O, Quinteros F, Zapata LM. Determinación de vida útil de microcápsulas de antocianinas. I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Poscosecha de Frutas y Hortalizas. 25-27 de octubre de 2017. Concordia. Entre Ríos.

### Presentaciones a congresos internacionales

Castagnini, JM, Rasia MC, Zapata LM, Capodoglio DL, Zampedri CA, Zampedri P. Microencapsulación de antocianinas mediante liofilización. Libro de trabajos completos del VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2016 (CICyTAC 2016).

Zampedri C, Jiménez-Veuthey M, Krunfli NA, Scattolaro OM, Terenzano OL, Petelin RA; Zapata LM. Maximizado del rendimiento y concentración de antocianinas totales en la obtención de jugo de arándano. International Conference on Food Innovation FoodInnova. Argentina, año 2014.

Zapata LM, Heredia AM, Quinteros CF, Malleret AD, Clemente-Polo G, Cárcel-Carrión JA. Impregnación a vacío de cubos de melón con extracto de antocianinas. International Conference on Food Innovation FoodInnova. Argentina, año 2014.

Davies CV, Soldá CA, Zapata LM, Gerard LM, Ferreyra MM. Cambios en los componentes antioxidantes durante el proceso de obtención de vinagre de arándanos. International Conference on Food Innovation FoodInnova. Argentina, año 2014. IA.

## Bibliografía

- AOAC. (1999). Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. 16<sup>a</sup> Ed.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 28(1): 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- Brown TE, LeMay HE, Bursten BE, Burdge JE. Química. La ciencia central. 9a ed. México: Ed Pearson, 2004.
- Brownmiller C, Howard LR, Prior RL. 2008. Processing and storage effects on monomeric anthocyanins, percent polymeric color, and antioxidant capacity of processed blueberry products. *Journal of Food Science*, 73(5): 72-79. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00761.x>.
- CAA. Código Alimentario Argentino. 2017. Ley N° 18.284.
- Casp, A, Abril, J. Procesos de conservación de alimentos. Madrid: Mundiprensa, 1999.
- Castañeda-Ovando A, Pacheco-Hernández ML, Páez-Hernández ME, Rodríguez JA, Galán-Vidal CA. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4): 859-871. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001>.
- Corzo O, Bracho N, Pereira A, Vásquez A. 2008. Weibull distribution for modeling air drying of coroba slices. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10): 2023-2028. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.002>.
- Doymaz I, Kipcak As, Piskin S. 2015. Characteristics of thin-layer infrared drying of green bean. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(1):83–90. <http://dx.doi.10.17221/423/2014-CJFS>.
- Fito P, Andrés A, Chiralt A, Pardo P. 1996. Coupling of hydrodynamic mechanism and deformation-relaxation phenomena during vacuum treatments in solid porous food-liquid systems. *Journal of Food Engineering*, 27(3), 229–240. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(95\)00005-4](https://doi.org/10.1016/0260-8774(95)00005-4).
- Fito P, Chiralt A, Betoret N, Gras M, Cháfer M, Martínez-Monzó J, Andrés A, Vidal D. (2001). Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. *Journal of Food Engineering*, 49: 175-183.
- Fito, P. 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, 22(1-4), 313–328. [https://doi.org/10.1016/0260-8774\(94\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0260-8774(94)90037-X).
- Gaithersburg, Association of Oficial Analytical Chemists. ISBN 0-935584-54-4.
- Garzón, GA. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biol Colomb*, 13:27-36.
- Giusti MM, Wrolstad RE. Unit F1.2.:1-13. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. Wrolstad. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. New York: Wiley, 2001.
- Gorriti-Gutierrez A, Arroyo-Acevedo J, Negron-Ballarte L, Jurado-Teixeira B, Purizaca-Llajaruna H, Santiago-Aquise I, Taype-Espinoza E, Quispe-Jacobo F. 2009. Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8: 509–518.
- Gutiérrez-Pulido H, Vara-Salazar H. Análisis y diseño de experimentos. 2° edición. México: McGraw-Hill; 2008.
- Jie L, Xiao-ding L, Yun Z, Zheng-dong Z, Zhi-ya Q, Meng L, Shao-hua Z, Shuo L, Meng W, Lu Q. 2013. Identification and thermal stability of purple-fleshed sweet potato anthocyanins in aqueous solutions with various pH values and fruit juices. *Food Chemistry*, 136 (3-4): 1429-1434. <https://doi.10.1016/j.foodchem.2012.09.054>.

- Kotz JC, Treichel PM, Weaver GC. Química y reactividad química. 6a ed. Cengage Learning / Thomson Internacional, 2005.
- Loyppimai P, Moongngarm A, Chottanom P. 2016. Thermal and pH degradation kinetics of anthocyanins in natural food colorant prepared from black rice bran. *Journal Food Science Technology*, 53(1): 461-70. <https://doi.10.1007/s13197-015-2002-1>.
- Martelo, Y.C., Cortés, M.R., & Restrepo, D.M. (2011). Dinámica de impregnación al vacío en apio (*Apium graveolens* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista MVZ Córdoba*, 16(2), 2584-2592. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1031>.
- Mercali GD, Gurak PD, Schmitz F, Ferreira-Marczak LD. 2015. Evaluation of non-thermal effects of electricity on anthocyanin degradation during ohmic heating of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) juice. *Food Chemistry*, 171: 200–205. <https://doi.10.1016/j.foodchem.2014.09.006>.
- Min-Sheng S, Po-Jung Ch. 2007. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) fluid products as affected by fermentation. *Food Chemistry* 104(1): 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.021>.
- Moldovan B, David L, Chişbora C, Cimpoi C. 2012. Degradation kinetics of anthocyanins from european cranberrybush (*Viburnum opulus* L.) fruit extracts. Effects of temperature, pH and storage solvent. *Molecules*, 17(0): 11655-11666. <https://doi.org/10.3390/molecules171011655>.
- Olanipekun BF, Tunde-Akintunde TY, Oyelade OJ, Adebisi MG, Adenaya TA. 2015. Mathematical modeling of thin-layer pineapple drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 1431–1441. <http://dx.doi.10.1111/jfpp.12362>.
- Ostos SL, Díaz AC, Suárez HM. 2012. Evaluación de diferentes condiciones de proceso en la fortificación de mango (*Tommy Atkins*) con calcio mediante impregnación a vacío. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(2): 181-190. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000200007>.
- Páez RB. 2013. Desarrollo de cultivos probióticos deshidratados por secado spray para aplicación en alimentos. Estudios microbiológicos y tecnológicos. [tesis], Universidad Nacional de La Plata.
- Paquin P. Functional and speciality beverage technology. New York: Editorial CRC; 2009.
- Puente-Díaz L, Ah-Hen K, Vega-Galvez A, Lemus-Mondaca R, Di Scala K. 2013. Combined infrared-convective drying of murta (*Ugni molinae* Turcz) berries: kinetic modeling and quality assessment. *Drying Technology*, 31(3): 329-338. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2012.736113>.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10): 1231-1237.
- Romero-Cascales I. 2008. Extracción de compuestos fenólicos de la uva al vino. Papel de los enzimas de maceración. Tesis doctoral Universidad de Murcia.
- Sablani SS, Andrews PK, Davies NM, Walters T, Saez H, Syamaladevi RM, Mohekar PR. 2010. Effect of thermal treatments on phytochemicals in conventionally and organically grown berries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(5): 769-778, 2010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3882>.
- Salvatori D, Andrés A, Chiralt A, Fito P. 1998. The response of some properties of fruits to vacuum impregnation. *Journal of Food Process Engineering*, 21(1), 59–73. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.1998.tb00439.x>.
- Sandri IG, Lorenzoni CMT, Fontana RC, da Silveira MM. 2013. Use of pectinases produced by a new strain of *Aspergillus niger* for the enzymatic treatment of apple and blueberry juice. *LWT-Food Science and Technology*, 51(2):469-475. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.015>.
- Sanzana-Ramos SX. 2010. Viabilidad del desarrollo de alimentos funcionales frescos por incorporación de aloe vera a la matriz estructural de endibia (*Cichorium intybus* L. var. foliosum), brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica), coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis) y zanahoria (*Daucus carota* L.) mediante la técnica de impregnación a vacío. Tesis doctoral Universidad Politécnica de Valencia.

- Sui X, Bary S, Zhou W. 2016. Changes in the color, chemical stability and antioxidant capacity of thermally treated anthocyanin aqueous solution over storage. *Food Chemistry*, 192: 516-524.
- Taghian-Dinani S, Hamdami N, Shahedi M, Havet M. 2014. Mathematical modeling of hot air/electrohydrodynamic (EHD) drying kinetics of mushroom slices. *Energy Conversion and Management*, 86: 70–80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.010>.
- Vieira da Mota R. 2006. Caracterização do suco de amora-preta elaborado em extrator caseiro. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 26(2): 303-308. <http://www.scielo.br/pdf/cta/v26n2/30177.pdf>.
- Villareal YD, Mejía DFE, Osorio OM, Cerón AFC. 2013. Efecto de pasteurización sobre características sensoriales y contenido de vitamina c en jugos de frutas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2): 66-75. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612013000200008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200008).
- Vrhovsek U, Masuero D, Palmieri L, Mattivi F. 2012. Identification and quantification of flavonol glycosides in cultivated blueberry cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(1); 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.04.015>.

**PID 8086**

**Denominación del Proyecto**

Diseño de jugo de arándanos con propiedades antioxidantes y probióticas

**Directora del proyecto**

Dra. Luz Marina ZAPATA

**Co-director**

Juan Manuel CASTAGNINI

**Unidad Ejecutora**

Facultad de Ciencias de la Alimentación

**Dependencia**

Universidad Nacional de Entre Ríos

**Área:**

Ciencia y Tecnología de alimentos

**Contacto**

[zapatam@fca.luner.edu.ar](mailto:zapatam@fca.luner.edu.ar)

**Integrantes del Proyecto**

Carlos Fabio QUINTEROS, Antonio Dario MALLERET, Ana Micaela HEREDIA,  
Noelia BETORET VALLS (Integrante externo)

**Becarios de investigación**

Agustina Beatriz FLORES

**Fechas de iniciación y de finalización efectivas**

01/02/2014 y 31/01/2018

Aprobación del Informe Final por Resolución CS N° 174/18 (08/08/2018)

[<<< VOLVER AL INICIO](#)