Artículo Original / Original Article

Impregnación al vacío de proteínas de lactosuero concentrado en las cáscaras de naranja valencia (*Citrus sinensis*)

Vacuum impregnation of whey protein concentrate into valencia orange peel (*Citrus sinensis*)

RESUMEN

María Andamay¹, Edgar Acosta L^{1*}.

El objetivo de la investigación fue incorporar compuestos bioactivos provenientes del concentrado del desecho de la industria quesera en cáscaras de naranja variedad Valencia, aplicando la técnica de la impregnación al vacío. Asimismo, fue evaluar los efectos de la presión de vacío (50-60 kPa), tiempo de impregnación (5-15 min) y concentración osmótica de lactosuero (50-60°Brix). Se determinó las características fisicoquímicas y acondicionamiento de la materia prima. El diseño de la investigación para la optimización utilizado fue un diseño Box-Benhken con el programa Design Expert 11, teniendo 15 tratamientos con valores de las variables. El mayor contenido proteico se obtuvo por la combinación de tratamientos, ajustando a las cualidades del equipo, siendo la presión de vacío a 57,0 kPa, concentración de sólidos solubles 54 °Brix y el tiempo de 7,70 min, lo que produjo $3,84 \pm 0,10$ g de proteínas/100 g de muestra. Finalmente, se evaluó las características fisicoquímicas del producto optimizado, la transferencia de masa, ganancia de agua e incremento de sólidos y se realizó el análisis microbiológico que nos indicó que este alimento es apto para el consumo humano.

Palabras clave: Alimento funcional; *Citrus sinensis*; Conservación de alimentos; Impregnación al vacío; Superficie de respuesta.

1. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Región Junín, Perú.

*Dirigir Correspondencia: Edgar Rafael Acosta López.
Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Avenida Mariscal Castilla 3909. Provincia de Huancayo,
Región Junín, Perú.
Email: eacosta1981@uncp.edu.pe

ABSTRACT

The objective of the research was to incorporate bioactive compounds in orange peels of the Valencia variety from waste concentrate found in the cheese industry, applying the technique of vacuum impregnation. The effects of vacuum pressure (50 - 60 kPa), impregnation time (5-15 min) and osmotic concentration of whey (50-60°Brix) were also evaluated. The physicochemical and conditioning characteristics of raw material were determined. The research design for optimization used was a Box-Benhken design with the Design Expert 11 program, having 15 treatments with variable values. The highest protein content was obtained by the combination of treatments adjusted to equipment qualities: vacuum pressure of 57.0 kPa, soluble solids concentration 54 °Brix and 7.70 min, which produced

3.84 ± 0.104 g protein/100 g of sample. Finally, the physicochemical characteristics of the optimized product, mass transfer, water increase and solids increase were evaluated and microbiological analysis to determine if this food is suitable for human consumption was performed.

Keywords: *Citrus sinensis*; Food preservation; Functional food; Response surface; Vacuum impregnation.

INTRODUCCIÓN

La manufactura de quesos desarrolla grandes volúmenes de aguas residuales con notables problemas de contaminación debido a su relevante contenido en materia orgánica. El lactosuero comprende componentes activos biológicamente y péptidos bioactivos, como fragmentos específicos de

proteínas, que tienen un efecto positivo sobre funciones o condiciones corporales¹. La producción de cítricos ha incrementado de los cuales la naranja al ser procesada industrialmente para producción de jugos, genera aproximadamente 44% de cáscaras como subproducto². La mayor composición proximal de las cáscaras de naranja es en términos de carbohidratos y fibra³, además tiene una configuración altamente porosa que puede ser utilizada para la incorporación de bioactivos.

La impregnación al vacío combinada con el secado al aire, permite la alta calidad como ingredientes alimentarios o como materia prima para otros procesos⁴. El desarrollo de métodos de procesamiento que preserven la calidad de las cáscaras y mejoren su aceptación sensorial es necesario para producir nuevos alimentos⁵.

La mayor problemática ambiental y económico siguen siendo los remanentes del proceso de manufactura de la leche y las naranjas, debido a que las empresas transformadoras se responsabilizan de los elevados costos de resolución. Por lo que se justifica el aporte de esta investigación al utilizar ambos sobrantes para obtener un alimento con alto valor biológico y funcional.

Hay evidencias sobre la influencia de las condiciones de secado en la deshidratación de la cáscara de los cítricos⁵; ganancia de sólidos, pérdida de agua, cambios de color y forma debido a la osmódeshidratación con sacarosa⁶. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la concentración de lactosuero, nivel de presión de vacío, tiempo, variación de agua y solutos en la impregnación a vacío de proteínas procedentes de lactosuero concentrado en cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) variedad Valencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima. Se utilizaron cáscaras de naranja variedad "Valencia" (*Citrus sinensis*) producida en la provincia de Satipo, región Junín, Perú (11°15'14.78" S, 74°38'17.37" W). Se cortaron en forma rectangular de dimensiones 30 mm x 6 mm y espesor promedio de $3,06 \pm 0,37$ mm, se lavaron y desinfectaron con una solución a 50 ppm de hipoclorito de sodio⁷. El lactosuero procedió de la planta procesadora de productos lácteos "El ingenio" ubicado en el distrito de Ingenio, región Junín, Perú (11°53'25.31" S, 75°16'1.78" W).

Métodos de análisis. Composición químico proximal. Se determinó la humedad de acuerdo a la AOAC 934.06⁸. El contenido de proteínas AOAC 920.152; cenizas AOAC 940.26, fibra cruda AOAC 962.09 y grasas AOAC 960.39. La determinación de carbohidratos por diferencia porcentual respecto a la suma de proporciones de los demás componentes. Los resultados fueron obtenidos por triplicado y expresados en base húmeda⁹.

Evaluación físico-química. Se cuantificó el contenido de sólidos solubles³ con refractómetros analógicos (escala 0-32% marca Isolab y 28- 62% marca Atago). Se determinó la acidez titulable según el procedimiento estándar AOAC 937.05^{9,10} y pH por el método AOAC 981.12 con un potenciómetro ST 3100 marca Ohaus. La densidad aparente se determinó por

la metodología de Restrepo et al¹¹ por desplazamiento de volumen usando una probeta. La densidad de la solución osmótica se determinó siguiendo el método oficial AOAC 945.06. Para determinar la densidad real de las cáscaras se utilizó el método propuesto por Atarés et al¹². Para la determinación de la porosidad real de las cáscaras de naranja (€) se utilizó la relación entre densidad real de la cáscara y densidad aparente¹³.

Análisis microbiológico. Se utilizó el método propuesto con referencia de los límites permitidos de acuerdo a la normativa peruana sanitaria NTS 071-MINSA/DIGESA- V01, norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de inocuidad y calidad sanitaria para bebidas y alimentos de consumo humano, con base técnica en los principios y la aplicación de criterios microbiológicos para los alimentos del código alimentarius, del grupo de alimentos de la sección XIV.3 frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas en el cual los límites por gramo inferior y superior respectivamente, para agentes microbianos son mohos (10^2 - 10^3 ufc/g), levaduras (10^2 - 10^3 ufc/g), *Escherichia coli* (10 - 5.10^2 ufc/g) y *Salmonella* sp. (Ausente/ 25 g).

Metodología experimental. Acondicionamiento de las cáscaras. El desamargado se basó en la metodología de Restrepo et al³ exponiendo a las cáscaras de naranja a seis lavados continuos, solo en el primer lavado se realizó con una solución de bicarbonato al 10%, a temperaturas entre 65 y 70 °C por 5 min con la finalidad de solubilizar grupos de terpenos y flavonoides (naringina y hesperidina). Estos componentes le otorgan el sabor amargo en la cáscara de naranja. Después de realizar el desamargado, las cáscaras de naranja fueron secadas a 30 °C y alcanzó un contenido de humedad cercano a los 30 g/100 g⁵. Preparación de la solución de impregnación. Se preparó con lactosuero concentrado en el rotavapor a 37 °C hasta alcanzar los 21 °Brix, luego se le añadió azúcar para obtener los 50 °Brix¹⁵, 55 °Brix y 60 °Brix¹⁵. Impregnación al vacío. Las cáscaras de naranja fueron pesadas en una balanza analítica, luego seguido fueron inmersas en la solución osmótica del concentrado de lactosuero; manteniendo una relación cáscaras: medio de 1:4^{16,17}.

Los componentes del sistema para impregnación al vacío fueron una bomba de vacío de alta presión y un desecador redondo con manómetro incorporado. La metodología de impregnación al vacío se realizó con las concentraciones osmóticas de lactosuero de 50 °Brix¹⁴, 55 °Brix y 60 °Brix¹⁵. La presión al vacío relacionada con la capacidad de la bomba (50 kPa, 55 kPa, 60 kPa). Los tiempos de impregnación fueron de 5, 10 y 15 min¹⁵ y consecutivos a cada tiempo de impregnación se sometió a una recuperación de 10 min a presión atmosférica¹¹. Las muestras se almacenaron en bolsas de polietileno de alta densidad.

Cálculos realizados en la impregnación

- a. Variación de masa fue expresado por la ecuación¹⁸:

$$\text{Variación de masa (\%)} = (M_f - M_o) / (M_o) \times 100 \quad (I)$$

- donde M_o : masa inicial de las cáscaras de naranja (g), M_f masa final de las cáscaras de naranja después del tiempo de impregnación (g).
- b. Variación en la masa de sólidos se calcularon por la ecuación¹⁹:

$$SV = ((SM_t - SM_o) / ((M_o)))$$

2

- donde SV: variación en la masa de sólidos (g/g en base seca), M_o masa inicial de las cáscaras de naranja (g), SM_o masa seca inicial las cáscaras de naranja (g), SM_t masa seca de las cáscaras de naranja (g) después del tiempo de impregnación (t).
- c. Variación en el contenido de agua se determinó con la ecuación²⁰:

$$W_L = ((M_o \cdot x_o) - (M_t \cdot x_t)) / M_o$$

(3)

donde W_L : variación en el contenido de agua (g/g), M_o : masa inicial de cáscaras de naranja (g), M_t : masa final de las cáscaras de naranja (g), x_o : contenido de humedad inicial de las cáscaras de naranja (g.g⁻¹), x_t es el contenido de humedad de las cáscaras de naranja (g.g⁻¹) después del tiempo de impregnación (t).

Secado por aire caliente. Después de los 10 min de recuperación a presión atmosférica, las muestras se disponen en forma de capa fina sobre una malla de acero inoxidable dentro del secador de bandejas por convección a una temperatura del aire de 40,0 ± 0,2 °C²¹ por 2 horas, a una velocidad de 1 ± 0,1 m/s.

Análisis estadístico. El diseño experimental fue un diseño factorial dos elevado a tres. Para el procesamiento de datos se utilizó el propuesto por Design Expert 11 (StatEasy, Minneapolis, MN; EE.UU.); los experimentos se establecieron sobre la base de un diseño de Box-Behnken con tres factores y tres niveles que incluye 15 experimentos

y tres puntos centrales. Con un nivel de confianza de los términos en base al valor F del 95,0% (p<0,050). Se obtuvieron graficas de superficie de respuesta para las interacciones entre los tratamientos y se identificó las condiciones óptimas para la impregnación.

RESULTADOS

Composición de la materia prima. En la tabla 1 se presenta los resultados del aumento en la composición química proximal de las muestras de lactosuero concentrado en rotavapor con respecto al lactosuero inicial.

Evaluación fisicoquímica. La cáscara de naranja está compuesta por mesocarpio, flavedo y albedo¹⁵. La tabla 2 reporta densidad aparente, densidad real y la porosidad, las cuales son propiedades que permiten conocer la microestructura de los alimentos importantes para la impregnación.

Las características fisicoquímicas del lactosuero concentrado en rotavapor fueron de 21° Brix, acidez titulable de 0,977 ± 0,083 ácido láctico/100 g de muestra a un pH 6,43 ± 0,034.

Impregnación al vacío. En la tabla 3 se presentan los datos experimentales aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) para determinar las variaciones de masa, masa de sólidos y contenido en agua respectivamente.

Impregnación de proteínas. En la tabla 4 muestra los datos de la determinación de proteínas por el método Kjeldahl (N. 6,38) en base húmeda, por triplicado. Los parámetros alcanzados para la optimización fueron: una concentración de sólidos solubles 53,8 °Brix, presión de vacío 56,8 kPa y el tiempo de 7,70 min. Bajo estas condiciones, la predicción del valor máximo para el contenido de proteínas fue de 3,92 g/100 g de muestra. También es considerado como punto de validación ajustando a la presión de vacío que permite el equipo a 57,0 kPa, concentración de sólidos solubles 54,0 °Brix y el tiempo de 7,70 min siendo 3,85 ± 0,10 g/100g de muestra.

Tabla 1. Composición nutricional de lactosuero dulce fresco y de las cáscaras de naranja variedad Valencia por g/100 g de muestra.

Componentes	Lactosuero	Lactosuero concentrado
Sólidos solubles (°Brix)	6,93 ± 0,094	21,1 ± 0,125
Humedad (g)	92,6 ± 0,046	69,8 ± 0,081
Proteínas (g)	0,939 ± 0,308	9,39 ± 0,308
Grasa (g)	0,410 ± 0,002	10,4 ± 0,507
Cenizas (g)	0,510 ± 0,020	0,894 ± 0,611
Carbohidratos (g)	5,56	9,47

Los valores son la media ± DS de los triplicados.

Tabla 2. Características físicas de las cáscaras de naranja en promedio.

Características	Resultado promedio
% de cáscaras de naranja	11,8 ± 1,37
Espesor de las cáscaras (mm)	3,06 ± 0,370
Espesor del albedo (mm)	1,37 ± 0,358
Densidad aparente de las cáscaras (g/ml)	0,483
Densidad real de las cáscaras (g/ml)	0,634
Porosidad real de las cáscaras (%)	23,86
Porosidad efectiva	0,859
Fracción volumétrica Xv	0,153
Sensación de deformaciones γ	0,316
Deformación γ_i	0,384

*Los valores son la media ± DS de los triplicados.

Tabla 3. Combinaciones de factores y sus valores experimentales para las respuestas de impregnación al vacío.

Tratamientos	Variación de masa (%)	Variación de masa de sólidos g/g muestra	Variación de contenido de agua g/g muestra
C1P1T1	17,4± 0,11	20,4 ± 0,69	5,05± 0,24
C1P1T2	28,4± 0,39	24,5 ± 0,42	5,19± 1,21
C1P2T1	20,3± 0,22	26,9 ± 0,78	6,08± 0,31
C1P2T2	22,2± 0,12	28,0 ± 0,15	9,54± 0,58
C2P2T1	43,7± 0,13	29,4 ± 0,99	9,97± 0,64
C2P2T2	45,1± 0,05	30,8 ± 0,63	10,2± 0,75
C2P1T1	50,2± 0,21	31,1 ± 0,53	10,4± 0,69
C2P1T2	51,1± 0,07	32,3 ± 0,10	10,8± 0,58

Tabla 4. Resultados del contenido de proteínas después de la impregnación.

Tratamientos	Sólidos solubles (°Brix)	Presión (KPa)	Tiempo (min)	Proteínas (g/100 g)*
1	55	55	10	3,65 ± 0,24
2	55	55	10	3,57 ± 0,10
3	50	60	10	2,83 ± 0,36
4	50	55	15	2,13 ± 1,68
5	60	60	10	2,88 ± 0,10
6	55	50	15	2,88 ± 0,11
7	55	60	15	3,16 ± 0,05
8	50	55	5	3,58 ± 0,11
9	55	60	5	3,15 ± 0,04
10	55	50	5	2,54 ± 0,09
11	50	50	10	2,35 ± 0,03
12	60	50	10	2,26 ± 0,17
13	60	55	5	2,3 ± 0,09
14	60	55	15	2,89 ± 0,05
15	55	55	10	3,44 ± 0,05

*Los valores son la media ± DS de los triplicados.

El análisis ANOVA mostró que el modelo tuvo el valor del Modelo F de 7,88 lo cual implicó que fue significativo. Por su parte, la falta de ajuste no fue significativa ($p=0,138$), lo que significa que el contenido total de proteínas puede predecirse de forma precisa utilizando el modelo cuadrático obtenido. El efecto de tres factores sobre el contenido de proteínas fue “presión > sólidos solubles > tiempo”^{22,23}. La presión y la combinación de sólidos solubles y tiempo tuvieron un efecto significativo sobre el valor de respuesta del contenido de proteínas ($p<0,050$).

Se encontró la siguiente ecuación matemática para la optimización que relaciona los parámetros establecidos con anterioridad (Sólidos solubles “S”, presión “P” y tiempo “T”):

Impregnación de proteínas de lactosuero concentrado = $-103,487 + 2,30.S + 1,69.P - 0,770.T + 0,001.S^2 + 0,021.S.T - 0,003.P.T - 0,024.S^2 - 0,015.P^2 - 0,010.T^2$

La figura 1 muestra los efectos de la interacción de las tres variables en las superficies de respuestas. La relación de tiempo de impregnación y presión, al incrementar la presión de vacío, se observó mayor incorporación de proteínas al interior de los poros del tejido vegetal; sin embargo, el tiempo de impregnación no afectó la incorporación

de proteínas. La relación de sólidos solubles y tiempo de impregnación, el incrementar el tiempo, redujo la incorporación de proteínas al mínimo. Por otra parte, al incrementar los sólidos solubles en la solución osmótica disminuyeron la incorporación de proteínas. Para la relación de presión y sólidos solubles, a medida que aumentó la presión de vacío, se incorporaron mayor cantidad de proteínas en las muestras, sin embargo, al incrementar la concentración de sólidos solubles en la solución osmótica hubo un descenso de proteínas incorporadas²³.

Composición proximal de las cáscaras de naranja. En la tabla 5 al comparar el contenido químico proximal de las cáscaras de naranja al inicio y después de la aplicación de la técnica de impregnación al vacío, se determinó que existió un incremento en los sólidos solubles de 28,2 °Brix, debido al secado inmediato. Después de impregnar las cáscaras con la solución osmótica de lactosuero, la humedad disminuyó en 50,3 g/g de muestra, las proteínas incrementaron en 1,68 g/100 g de muestra, el contenido de grasa incremento en 13,9 g/100 g de muestra, aumentó el contenido de cenizas en 1,93 g/100 de muestra, fibra incremento en 6,88 g y el contenido de carbohidratos incrementó en 27,2 g/100 g de muestra.

Figura 1: Superficie de respuesta (3D) que muestran los efectos de la relación de presión de vacío y tiempo de impregnación; sólidos solubles y tiempo de impregnación; sólidos solubles y presión de vacío en el contenido de proteínas después de la impregnación.

Tabla 5. Composición de cáscaras de naranja desamargadas y de las cáscaras después del secado con aire caliente por g/100 g de muestra.

Componentes	Cáscaras de naranja desamargadas	Cáscaras de naranja impregnadas con lactosuero concentrado
Sólidos solubles	1,33 ± 1,18	29,6 ± 1,07
Humedad	67,4 ± 0,78	17,0 ± 1,41
Proteínas	2,17 ± 0,26	3,85 ± 0,10
Grasa	0,917 ± 0,12	14,9 ± 0,99
Cenizas	3,29 ± 0,04	5,22 ± 0,07
Fibra cruda	10,5 ± 0,06	17,4 ± 0,23
Carbohidratos	14,5	41,7

Los valores son la media ± DS de los triplicados.

Análisis microbiológico. Las cáscaras impregnadas al vacío con lactosuero concentrado, después del secado, se sometieron a diferentes ensayos microbiológicos de acuerdo a la normativa peruana. Los resultados indicaron mohos 2,00.10 ufc/g; levaduras de 98,0.10 ufc/g; *Escherichia Coli* ausente y *Salmonella* ausente por cada 25,0 g. Según estos resultados, al compararse con los límites establecidos por norma, es un alimento apto para el consumo humano.

DISCUSIÓN

Composición de la materia prima. La composición nutritiva aproximada de lactosuero dulce obtenida, concuerda con poca variabilidad con los reportados por Chen et al²⁴ y Molero et al²⁵. Las diferencias son asociadas a la procedencia de la leche, proceso de obtención de suero lácteo y del queso además de condiciones ambientales que afectan directamente las características físico-químicas de la leche y por consiguiente del lactosuero²⁶.

Evaluación fisicoquímica. En la tabla 2, el valor de la porosidad es mayor a lo obtenido por Cháfer et al²⁷ que utilizaron soluciones isotónicas con sacarosa y glucosa en la impregnación de cáscaras de cítricos (naranja, mandarina, pomelo y limón). Además se considera que la porosidad es mayor debido a que parte del albedo se quedó en el endocarpio, siendo el albedo el responsable de la capacidad de impregnación. El valor de la porosidad real fue menor a la porosidad efectiva ya que las fracciones volumétricas de poros han sido utilizados en el proceso para incluir líquido en su interior por efectos de la capilaridad y modificaciones estructurales ocasionados por los cambios de presión del sistema¹³.

Los resultados positivos de deformación γ_1 y γ señalan que la estructura de la fruta se expandió durante el proceso y el poro incrementó por la expansión inicial del gas, respecto al valor inicial¹³.

Impregnación al vacío

En la variación de masa de los datos de la tabla 3, se linealizaron, siendo tratamiento (x) versus variación de masa (y), se obtuvo la ecuación $y = 5,24x + 11,2$ con un $R^2 = 0,826$ que muestra la variación de peso en porcentaje, en las cáscaras de naranja por cada tratamiento. El mejor tratamiento fue C2P1T2 (60 °Brix, 50 kPa, 15 min) debido a que la aplicación de vacío promovió la eliminación de gases y líquidos de los poros capilares, así como la conducción a la expansión de gases. Luego, la restauración de la presión atmosférica produjo la succión de la solución osmótica dentro de los poros, aumentando la superficie de transferencia de masa³⁰, un incremento en la ganancia de peso a medida que incrementan los sólidos solubles con el incremento en el tiempo de tratamiento; asimismo las consecuencias que posee la aplicación de altas presiones de vacío por prolongados tiempos de procesamiento producen un incremento de la pérdida de peso porque las moléculas de sacarosa saturan la superficie de las membranas vegetales evitando la difusión a través de todo el tejido³¹.

En la variación de sólidos se obtuvieron los datos de la tabla 3, se linealizaron, siendo tratamiento (x) versus variación de sólidos solubles (y), la ecuación $y = 1,57x + 20,9$ con un $R^2 = 0,92$ mostró la captación de sólidos solubles en las cáscaras de naranja al aumentar la concentración de sólidos. Por cada 1,00% que se incrementó en la concentración de la solución osmótica, aumentó 1,57 más 20,9 g/g de muestra. El mejor tratamiento fue C2P1T2 (60 °Brix, 50 kPa, 15 min) y se debió al incremento por el acoplamiento de la mecánica hidrodinámica con los fenómenos difusionales promovidos por los gradientes de concentración⁴. La ganancia de solutos es baja en condiciones de corto tiempo, pero la misma se incrementa a medida en que aumenta el tiempo de procesamiento, favoreciendo el intercambio de solutos³⁰. La ganancia de sólidos se atribuye a la estructura particular de la médula, que fue capaz de absorber una cantidad elevada de solución osmótica gracias a sus amplios espacios intercelulares³².

Para la variación en el contenido de agua con los datos de la tabla 3, se linealizaron, siendo tratamiento (x) versus variación de contenido de agua (y), se obtuvo la ecuación $y = 0,939x + 4,17$ con un $R^2 = 0,985$ que mostró la ganancia de agua en las cáscaras de naranja en cada tratamiento. El mejor tratamiento fue C2P1T2 (60 °Brix, 50 kPa, 15 min). La influencia de la solución osmótica en la ganancia de contenido de agua, está influenciada por la viscosidad. Por lo tanto, a menor viscosidad, la impregnación sobre el alimento es mayor; una viscosidad baja facilita que la solución osmótica fluya en el interior de la membrana del alimento^{28,29}. El efecto de la viscosidad de la disolución determina la entrada del líquido en los poros de la matriz¹³, las disoluciones más concentradas es decir con mayor viscosidad, presentan mayor dificultad en penetrar los poros de la fruta lo que acompañado de la mayor presión osmótica, favorecería el proceso de deshidratación¹⁹.

Impregnación de proteínas

Bajo las condiciones óptimas obtenidas por superficie de respuesta para la impregnación al vacío de lactosuero concentrado en las cáscaras de naranja; Cháfer et al²⁷, utilizaron cáscaras de diferentes cítricos impregnándolas al vacío con soluciones isotónicas de sacarosa y glucosa, siendo excelentes matrices para la obtención de nuevos alimentos con interesantes componentes nutricionales debido a su estructura porosa; Díaz et al¹⁵ obtuvieron un snack de las cáscaras de naranja impregnándolas al vacío con miel de abeja con aceptación sensorial en las muestras sometidas a 60,0 °Brix y 45,0 kPa cercanos a los resultados optimizados de experimentación (54,0 °Brix y 57,0 kPa). Para Quintanilla et al¹⁶ las condiciones óptimas de tratamiento para incorporar pectina y cloruro de calcio en frambuesas rojas fueron un nivel de vacío de 50,8 kPa, 7 min de tiempo para impregnar cercano al parámetro optimizado de 7,70 min resultados de la experimentación.

Composición proximal de las cáscaras de naranja

En la tabla 5, el tratamiento de la cáscara antes de la impregnación ayudó a la desgasificación y aumentar la permeabilidad de las células³³.

La naturaleza porosa de la cáscara de naranja ofrece una gran oportunidad en la forma de la matriz, la cual es ideal para impregnar al vacío los elementos bioactivos/funcionales/esenciales. Por tanto, este procedimiento puede ser utilizado como una técnica económicamente viable para fortificar las cáscaras de naranja con nutrientes esenciales, a base de aperitivos que son considerados desechos industriales que tienen beneficios potenciales para la salud³.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se demostró que la presión de vacío (57,0 kPa) influyó en el contenido de proteínas en cáscaras de naranja enriquecidas. Asimismo, la interacción de las variables del concentrado de lactosuero (54,0 °Brix) con el tiempo de impregnación de proteínas (7,70 min) produjo una concentración óptima de $3,85 \pm 0,104$ g de proteínas/100 g de muestra. Además, se propuso un modelo predictivo de la captación de proteínas durante la impregnación a través de un gráfico de superficie de respuesta (3D). Aplicando la técnica de impregnación al vacío, la transferencia de masa que se refleja en el óptimo incremento de la ganancia de sólidos solubles y mayor pérdida de agua en las cáscaras de naranja evidentemente en el tratamiento fue de 60 °Brix, 50 kPa y 15 min. Las características físicoquímicas del mejor tratamiento de impregnación al vacío presentaron un incremento en el contenido expresado en g/100 g de muestra respectivamente.

Agradecimientos. El trabajo de investigación fue financiado con fondos de canon sobre Canon y regalías mineras con resolución N° 2156 – R-2018 de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

BIBLIOGRAFÍA

1. Poveda E. Dairy serum, generalities and potential use as a source of highly bioavailable calcium. *Rev Chil Nutr* 2013; 40: 397-403.
2. Rafiq S, Kaul R, Sofi A, Bashir N, Nazir F, Ahmad G. Citrus peel as a source of functional ingredient: A review. *J Saudi Soc Agric Sci* 2016; 17: 351-358.
3. Restrepo A, Arredondo A, Morales C, Tamayo M, Benavides Y, Bedoya V, Vélez C. Application of the vacuum impregnation technique in the development of minimally processed orange shells fortified with potassium, sodium and vitamin B1, B6 and B9. *J En Technol* 2012; 1: 41-45.
4. Fito P, Chiralt A, Betoret N, Gras M, Cháfer M, Martínez J, Vidal D. Vacuum impregnation and osmotic dehydration in matrix engineering application in functional fresh food development. *J Food Eng* 2001; 49: 175-183.
5. Manjarres K, Cortes M, Rodríguez E. Effect of drying conditions on the physical properties of impregnated orange peel. *Brazilian J Chem Eng* 2013; 30: 667-676.
6. Cortellino G, Gobbi S, Torreggiani D. New prospects for high quality ingredients obtained from citrus fruit peel. *Procedia Food Sci* 2011; 1: 1848-1853.
7. Nierop M, Abee T, Van BH. Inactivation of conidia from three *Penicillium* spp. isolated from fruit juices by conventional and alternative mild preservation technologies and disinfection treatments. *Food Microbiol* 2018; 81: 108-114.
8. AOAC. Association of Official Agricultural Chemists. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 15th ed. Washington, D.C., The Association, 1990.
9. García L, Tejada V, Pérez E, Serna S, Campanella H, Welti J. Functional and compositional changes of orange peel fiber thermally-treated in a twin extruder. *LWT-Food Sci Technol* 2019; 111: 673-681.
10. Pacheco M, Porras O, Velasco E, Morales E, Navarro A. Effect of the milk-whey ratio on the physicochemical and rheological properties in a fermented milk drink. *Eng Compet* 2017; 19: 83-91.
11. Restrepo A, Rodríguez E, Manjarrés K. Edible orange peel: an approach to the development of value-added products from agro-industrial waste. *Clea Prod* 2011; 6: 47-57.
12. Atares L, Chiralt A, Gonzales-Martinez C. Effect of solute on osmotic dehydration and rehydration of vacuum impregnated apple cylinders (cv. Granny Smith). *J Food Eng* 2008; 89: 49-56.
13. Ostos L, Díaz A, Suarez H. Evaluation of different process conditions in the fortification of handle (Tommy Atkins) with calcium through vacuum impregnation. *Rev Chil Nutr* 2012; 39: 181-190.
14. Corrêa G, Pereira M, Vieira S, Hubinger D. Mass transfer kinetics of pulsed vacuum osmotic dehydration of guavas. *J Food Eng* 2010; 96: 498-504.
15. Díaz L, Puelles J, Retto P, Valderrama C, Rodríguez K, Valderrama C. Effect of the pressure and concentration of bee honey solutions on the mass transfer and sensory acceptability of orange peels (*Citrus sinensis*) variety "Huando" impregnated under vacuum. *Agroind Sci* 2014; 4: 95-107.
16. Quintanilla A, Mencia A, Powers J, Rasco B, Tang J, Sablani S. Vacuum impregnation of firming agents in red raspberries. *J Sci Food Agric* 2018; 98: 3706-3714.
17. Neri L, Di Biase L, Sacchetti G, Di Mattia C, Santarelli V, Mastrocola D, Pittia P. Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. *J Food Eng* 2016; 179: 98-108.
18. Senturk T, Schmid M, Müller K. Effect of dipping and vacuum impregnation coating techniques with alginate-based coating on physical quality parameters of cantaloupe melon. *J Food Sci* 2018; 83: 929-936.
19. Galvão M, Nunes S, da Silva R. Application of pulsed-vacuum on the salt impregnation process of pirarucu fillet. *Int Food Res* 2019; 120: 407-414.
20. Gomes L, Branquinho D, Soares de Mendonça K. Pulsed vacuum osmotic dehydration of tomatoes: Sodium incorporation reduction and kinetics modeling. *LWT-Food Sci Technol* 2016; 71: 17-24.
21. Zura-Bravo L, Rodríguez A, Stucken K, Vega-Gálvez A. Drying kinetics of probiotic-impregnated murta (*Ugni Molinae* T.) berries. *J Food Sci Technol* 2018; 56: 103-113.
22. Montville J, Matthews R. Food microbiology an introduction. *Clin Microbiol Rev* 2005; 1: 19-20.
23. Radziejewska E, Biegańska R, Kidoń M. Applicability of vacuum impregnation to modify physico-chemical, sensory and nutritive characteristics of plant origin products-A review. *Int J Mol Sci*. 2014; 15: 16577-16610.

24. Chen Q, Eschbach I, Weeks M, Gras L, Kentish E. Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis. *Sep Purif Technol* 2016; 158: 230-237.
25. Molero M, Castro G, Briñez W. Physical-chemical evaluation of whey obtained from the production of white cheese using a traditional method. *Rev Cient-Fac Cien V* 2017; 27: 149-153.
26. Linares G, Díaz-Sánchez L, Haro R, Puellas J, Arana L, Retto P, Ricce C. Effect of the different proportions of culinary fruit pulp in sensory acceptance of a fermented and protein drink made from residual whey. *Agroind Sci* 2015; 4: 65-73.
27. Cháfer M, González-Martínez C, Chiralt A, Fito P. Microstructure and vacuum impregnation response of citrus peels. *Food Res Int* 2003; 36: 35-41.
28. Chiralt A, Fito P, Barat JM, Andrés A, González-Martínez C, Escribá I, Camacho M. Use of vacuum impregnation in food salting process. *J Food Eng* 2001; 49: 141-151.
29. Sulistyawati I, Dekker M, Fogliano V, Verkerk R. Osmotic dehydration of mango: Effect of vacuum impregnation, high pressure, pectin methylesterase and ripeness on quality. *LWT-Food Sci Technol*. 2018; 98: 179-186.
30. Duque L, Mejía M, Fernández J. Kinetics of vacuum impregnation of parallelepipeds of cidra (*sechium edule* (jacq.) swartz) with mora and grape formulations. *Rev ION* 2018; 31: 111-115.
31. Phisut N. Factors affecting mass transfer during osmotic dehydration of fruits. *Food Res Int* 2012; 19: 7-18.
32. Chaparro L, Soto N, García T, Gutiérrez J, Palmero J. Effect of vacuum pressure, total soluble solids and processing time on osmotic dehydration of melon slices. *Bioagro* 2010; 22: 223-228.
33. Ashwini B, Navin R. Ways and means for the infusion of bioactive constituents in solid foods, *Critical Reviews in Food Sci Nutr* 2015; 1: 1-59.