ARTÍCULO CIENTÍFICO

Rivar
REVISTA IBEROAMERICANA DE VITICULTURA, AGROINDUSTRIA Y RURALIDAD

Editada por el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Santiago de Chile

# EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA Y NUTRICIONAL DE SNACK DE MANGO/ PIÑA DESHIDRATADO POR VENTANA DE REFRACTANCIA

*Physicochemical and nutritional evaluation of dehydrated mango/pineapple snack by refractance window*
*Avaliação físico-química e nutricional de lanche de manga/abacaxi desidratado por janela de refractância*

**Elisabeth Lugo Salazar**
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia
ORCID 0009-0008-7871-0287
*elisabet.lugo@correounivalle.edu.co*

**Juan José Villada Alvarado**
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia
ORCID 0009-0006-1565-4359
*juan.jose.villada@correounivalle.edu.co*

**Anna María Polanía Rivera**
Universidad del Valle
Tuluá, Colombia
ORCID 0000-0001-9646-2266
*anna.polania@correounivalle.edu.co*

**Volumen 13, número 41, 294-312, octubre 2026**
ISSN 0719-4994

Artículo de investigación
https://doi.org/10.35588/w0gdmq42

**Recibido**
9 de junio de 2025

**Aceptado**
28 de noviembre de 2025

**Publicado**
13 de noviembre de 2026

**Cómo citar**
Lugo Salazar, E., Villada Alvarado, J.J. y Polanía Rivera, A.M. (2026). Evaluación fisicoquímica y nutricional de snack de mango/piña deshidratado por ventana de refractancia. *RIVAR, 13*(41), 294-312. https://doi.org/10.35588/w0gdmq42

**ABSTRACT**
The objective of this research was to evaluate the effect of incorporating mango and pineapple pulps and peels on the physicochemical and nutritional properties of a dehydrated snack, using the refractance window drying technique. The hypothesis was that incorporating peels would significantly increase the bioactive compound content and antioxidant capacity of the snack while maintaining desirable physicochemical properties and high sensory acceptability. Nine formulations (10-18) were designed, including a central point in triplicate. The evaluated physicochemical properties included drying time, water activity ($a_w$), texture, and color. The nutritional properties focused on ascorbic acid content, total phenolic compounds, and antioxidant capacity (DPPH and ABTS). Overall acceptability was assessed sensorially. The main results showed that the formulations reached moisture levels close to 5% in an average of 117 minutes, with $a_w$ values below 0.6. The initial texture ranged between 1.11 N and 1.33 N, and the color tended toward reddish/yellowish tones with lower luminosity. Nutritionally, ascorbic acid (60-100 mg/100 g dry basis) and total phenolic compounds increased with the incorporation of peels, with the central point being optimal. The antioxidant capacity was notable, and sensory acceptance was high (scores ≥ 4/5).

**KEYWORDS**
Drying, fruit, wastes, vitamins, nutrition.

**RESUMEN**
El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la incorporación de pulpas y cáscaras de mango y piña en las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de un snack deshidratado, empleando la técnica de ventana de refractancia. La hipótesis fue que la incorporación de cáscaras aumentaría significativamente el contenido de compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante del snack, manteniendo propiedades fisicoquímicas deseables y una alta aceptabilidad sensorial. Se diseñaron nueve formulaciones (10-18), incluyendo un punto central por triplicado. Las propiedades fisicoquímicas evaluadas incluyeron tiempo de secado, actividad de agua ($a_w$), textura y color. Las propiedades nutricionales se centraron en el contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS). La aceptabilidad general se evaluó sensorialmente. Los resultados principales mostraron que las formulaciones alcanzaron humedades cercanas al 5% en un promedio de 117 minutos, con $a_w$ inferiores a 0.6. La textura inicial osciló entre 1.11 N y 1.33 N, y el color tendió a tonos rojizos/amarillos con menor luminosidad. Nutricionalmente, el ácido ascórbico (60-100 mg/100 g ms) y los compuestos fenólicos totales aumentaron con la incorporación de cáscaras, siendo el punto central óptimo. La capacidad antioxidante fue destacable y la aceptación sensorial fue alta (puntuaciones ≥ 4/5).

**PALABRAS CLAVE**
Secado, fruta, desperdicio, vitamina, nutrición.

**RESUMO**
O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da incorporação de polpas e cascas de manga e abacaxi nas propriedades físico-químicas e nutricionais de um lanche desidratado, empregando a técnica de janela de refractância. A hipótese foi que a incorporação das cascas aumentaria significativamente o teor de compostos bioativos e a capacidade antioxidante do lanche, mantendo propriedades físico-químicas desejáveis e alta aceitabilidade sensorial. Nove formulações (10-18) foram desenvolvidas, incluindo um ponto central em triplicata. As propriedades físico-químicas avaliadas incluíram tempo de secagem, atividade de água ($a_w$), textura e cor. As propriedades nutricionais focaram no teor de ácido ascórbico, compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante (DPPH e ABTS). A aceitabilidade geral foi avaliada sensorialmente. Os principais resultados mostraram que as formulações atingiram teores de umidade próximos a 5% em uma média de 117 minutos, com valores de $a_w$ inferiores a 0,6. A textura inicial variou entre 1,11 N e 1,33 N, e a cor tendeu a tons avermelhados/amarelados com menor luminosidade. Nutricionalmente, o ácido ascórbico (60-100 mg/100 g base seca) e os compostos fenólicos totais aumentaram com a incorporação das cascas, sendo o ponto central o ideal. A capacidade antioxidante foi notável, e a aceitação sensorial foi alta (pontuações ≥ 4/5).

**PALAVRAS-CHAVE**
Secagem, fruta, desperdício, vitamina, nutrição.

## Introducción

Actualmente, la industria de frutas en Colombia genera grandes volúmenes de subproductos, como cáscaras y semillas, que a menudo son desechados. Esto provoca contaminación y pérdidas económicas, ya que estos materiales no se aprovechan de manera eficiente. Particularmente los residuos de procesamiento suelen oscilar entre el 40% y el 60%, siendo para la piña principalmente cáscara (29-42%) y el corazón (9,4-20%) y en menor cantidad por corona (2,7-5,9%) (Paz-Arteaga et al., 2024).

Otro ejemplo es la producción de jugo de mango, donde grandes cantidades de cáscaras y semillas se descartan como residuos industriales, a pesar de que la cáscara puede representar entre el 15% y el 20% del peso total de la fruta (Rubiano-Charry et al., 2019, p.2).

En Colombia, la piña es la segunda fruta más producida (después de los cítricos), con un promedio anual de 400.000 toneladas, concentrada principalmente en los departamentos de Santander, Valle del Cauca, Cauca y Risaralda (Ardila Ramírez et al., 2018: 163). Esto subraya la magnitud del subproducto potencial en esta industria también.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), para el año 2050, la producción total de alimentos debería aumentar en un 70%, para poder satisfacer los requerimientos de la población (Carrera i Gallissà, 2017: 25). Es preciso mencionar entonces, que tanto las cáscaras de mango como las de la piña, en conjunto con el corazón de esta última, poseen componentes químicos de gran valor industrial y comercial, que, de ser aprovechados sirven para el desarrollo y formulación de nuevos productos. Específicamente la harina de cáscara de mango según Jibaja Espinoza y Sánchez González (2016: 25), posee un 11.2 % de fibra y compuestos antioxidantes capaces de inhibir a los radicales libres.

La malnutrición en Colombia es un problema de salud pública multifactorial que abarca desde la desnutrición hasta la sobrenutrición por consumo excesivo de alimentos calóricos pero pobres en micronutrientes. Una solución viable es desarrollar nuevos productos funcionales atractivos y sabrosos, que aporten los micronutrientes esenciales. En este contexto, la innovación con subproductos frutales es una alternativa prometedora. No obstante, su alto contenido de humedad es una desventaja. Aplicar procesos de secado resulta útil (Ayala Aponte et al., 2022: 167), ya que reduce el volumen del producto y minimiza los costos de almacenamiento y transporte (Rubiano et al., 2016: 329).

La calidad nutricional de productos secos disminuye por la sensibilidad al calor de los nutrientes y cambios fisicoquímicos en frutas y verduras (Tirado et al., 2016: 104) . Por ello, la ventana de refractancia es una técnica innovadora: permite la deshidratación de alimentos termosensibles como frutas sin reducir drásticamente su calidad fisicoquímica, y con bajos costos de mantenimiento comparada con otras tecnologías (Ormaza et al., 2016: 85).


CC BY

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de subproductos de mango y piña (cáscaras de mango y piña con pulpa de mango) en la elaboración de un snack mediante secado por ventana de refractancia. Se buscaron aprovechar sus propiedades funcionales, crear un producto atractivo para el consumidor y que fuera ambientalmente sostenible, todo determinado por pruebas fisicoquímicas y nutricionales.

## Materiales y métodos

### *Materia prima*

La experimentación se realizó en el Laboratorio de Alimentos de la Universidad del Valle en Tuluá, Colombia, a una temperatura promedio de 26ºC. Se trabajó con mango variedad Tommy Atkins con un grado de madurez color 3 de acuerdo con la norma técnica colombiana (NTC 5206) y piña MD2 con un grado de madurez color 3 (NTC 5207), ambas frutas fueron lavadas y desinfectadas antes de iniciar el proceso. El porcentaje entre la pulpa de piña y su corazón se mantuvo constante en el valor del 50%.

### *Secado por ventana de refractancia*

Se realizaron las operaciones de pelado, cortado y molienda de cada matriz frutal para posteriormente realizar las diversas mezclas. Con dichas mezclas se procedió a deshidratar las muestras en un hidrosecador comercial a escala de laboratorio (CEI-ROBOTS, Colombia) a una temperatura para el calefactor de agua de 90 ± 2 °C, y la superficie del agua fue cubierta con una película plástica (Mylar) hasta alcanzar un porcentaje de humedad del 5 % (CHbh). El espesor de las muestras fue de 2 mm, para controlar dicho espesor, se utilizaron moldes en acrílico.

### *Diseño experimental*

Se empleó un diseño experimental de mezclas con vértices extremos con una ampliación en los puntos centrales en el programa MINITAB 19, para obtener un total de 9 experimentos, enumerados desde la formulación 10 hasta la 18. Los porcentajes de cáscaras tanto de mango como de piña y la pulpa de mango estuvieron entre el 10 y el 20% de la composición total del producto y representaron el 50% total de la mezcla (Tabla 1).


RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

**Tabla 1**. Diseño experimental
*Table 1. Experimental design*

| Formulación | % Pulpa de mango | % Cáscara de mango | % Cáscara de piña |
|---|---|---|---|
| 10 | 20 | 10 | 20 |
| 11 | 10 | 20 | 20 |
| 12 | 20 | 20 | 10 |
| 13 | 16,67 | 16,67 | 16,67 |
| 14 | 18,33 | 13,33 | 18,33 |
| 15 | 13,33 | 18,33 | 18,33 |
| 16 | 18,33 | 18,33 | 13,33 |
| 17 | 16,67 | 16,67 | 16,67 |
| 18 | 16,67 | 16,67 | 16,67 |

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Una vez realizados los experimentos y obtenidos los valores de las variables de respuesta (actividad de agua, color, dureza, vitamina C, contenido fenólico total y % actividad antioxidante por DPPH y ABTS), se aplicó la función de deseabilidad para realizar el proceso de optimización y se encontraron las proporciones bajo las cuales se obtiene un mayor valor nutricional del producto, y a la proporción identificada como óptima se le realizó el análisis sensorial.

Los resultados fueron analizados estadísticamente por medio de ANOVA en el programa MINITAB 19, se ajustaron a una significancia de 0.05 con un intervalo de confianza del 95%. Se realizaron pruebas de aceptabilidad con una escala hedónica de cinco puntos.

## Caracterización fisicoquímica y sensorial

### *Contenido de humedad*

Se realizó siguiendo el método AOAC 20.013 (AOAC, 1980), para frutas ricas en azúcar. Este método consistió en la determinación de la pérdida de peso del producto en una estufa de secado (LabTech, China) a 70 °C durante 24 horas, basado en la diferencia de pesos antes y después de secado. El contenido de humedad se determinó en intervalos de 10 min y el proceso de secado terminó cuando el snack llegó a un porcentaje de humedad fijo del 5% (CHbh).

### *Actividad de agua*

Se midió con base en el punto de rocío por triplicado, utilizando el equipo AQUALAB 3 (Meter Group, Pullman, WA, USA modelo 2020).

### *Color*

Se utilizó un colorímetro (3NH-310, China) del cual se obtuvieron las coordenadas de color CIE-L*a*b*. Con dichos valores se calcularon las coordenadas de Croma (*C**), diferencia global de de color (ΔE*) y tono (ΔH). Para hallar las diferencias, se usaron como valores de referencia los que se midieron antes del proceso de secado de las muestras y los valores de muestra serán los que se midan después de finalizado el proceso.

### *Medición de la Textura*

Para esta medición se usó el equipo TX-700 (Lhamy Rheology, Francia), realizando la prueba de flexión de tres puntos, que es un método destructivo, que puede imitar el proceso de masticación, pero en el cual no hay relación con las sensaciones involucradas en la boca.

### *Contenido de vitamina C*

El contenido de vitamina C se midió mediante el método del Indofenol como se describe en el método AOAC 967.21 (AOAC International, 2000). Se agregó 1 g de las muestras en polvo en 100 mL de una solución de ácido oxálico al 2%, de esta solución se tomaron 10 mL y se tituló con la solución de colorante de Indofenol hasta que persistiera el color rosado en la solución.

### *Contenido fenólico total (CFT)*

El contenido de fenoles totales se determinó mediante un método espectrofotométrico con el reactivo de *Folin-Ciocalteau*, descrito por Gutiérrez Avella et al. (2008: 1-5). Para la determinación, se colocaron 500 µL de la muestra diluida (1:40) en un tubo de ensayo, se agregaron 800 µL del reactivo de *Folin-Ciocalteau* (1N), se mezclaron y se dejó la solución por 5 min para permitir la reacción. Después de este tiempo, se agregaron 800 µL de carbonato de sodio (0.01 M) y se dejó reposar nuevamente durante 5 min. Finalmente, la solución se leyó en un espectrofotómetro a una absorbancia de 760nm. La curva de calibración se realizó con estándar ácido gálico (0-100 mg/L).

### *Actividad antioxidante (DPPH)*

Se realizó mediante el ensayo DPPH utilizando el método de Brand-Williams y Cuvelier (1995: 25-30). Las diversas concentraciones (a partir de 5 mg/ml) de extractos de 1 ml se sometieron a diluciones dobles. Posteriormente, se dispensaron 20 µL de cada muestra en diferentes concentraciones en una placa de 96 pocillos que contenía 180 µL de una solución de etanol con DPPH 80 µM. La placa de 96 pocillos se incubó en la oscuridad durante aproximadamente 30 minutos a temperatura


CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

ambiente. La absorbancia de la solución resultante se midió a 490 nm en un lector de microplacas (Biotek, modelo 800 TSUV).

### *Capacidad antioxidante por ABTS*

El ensayo ABTS, modificado por Raudone et al. (2019: 2), implica la generación de $ABTS^{+}$. Esto se logró mezclando ABTS 2 mM y persulfato de potasio 2,45 mM (concentración final) en una proporción de volumen de 1:1. La mezcla resultante se almacenó en una habitación oscura a temperatura ambiente durante 16 h para garantizar que la absorbancia de la solución se mantuviera en 0,70 ± 0,02 a 734 nm. Para las muestras, se dispensaron 20 µl de las muestras en una placa de 96 pocillos. Después de esto, se agregaron 180 µL de la solución ABTS y la mezcla se incubó durante 30 min. La absorbancia se midió a 630 nm en un lector de microplacas (Biotek, modelo 800 TSUV).

### *Análisis sensorial*

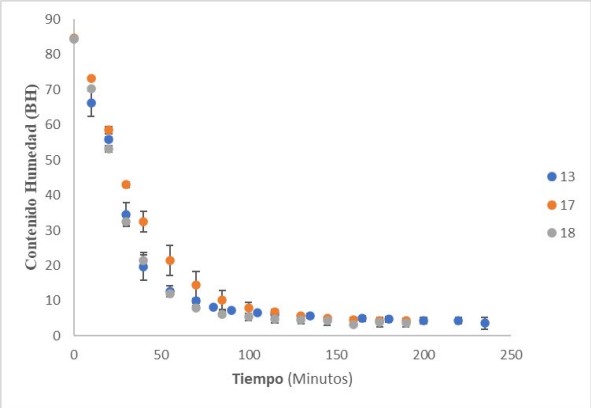
Se realizó una prueba de aceptación con escala hedónica con un total de 75 participantes considerando una igualdad de género, con edades entre los 18 y 61 años, distribuidos en poblaciones de jóvenes y adultos. Los encuestados realizaron la evaluación respondiendo un cuestionario con los atributos a evaluar: aspecto, color, olor, textura y sabor en una escala hedónica de cinco (5) puntos en el nivel de aceptabilidad, donde 1 denota el valor mínimo (extremadamente desagradable) y 5 (extremadamente agradable).

## Resultados y discusión

### *Contenido de humedad*

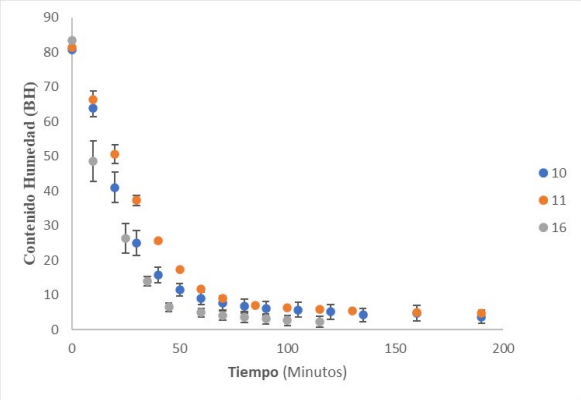
Las Figuras 1, 2 y 3 muestran las cinéticas de deshidratación por ventana de refractancia a 90 °C, analizando la humedad libre para alcanzar el 5% de humedad final. Se observó que la temperatura real de secado en el Mylar fue menor, aproximadamente 73.23°C (reducción del 18.63%), lo que concuerda con reportes como el de Spolmann Ortega (2019: 26) que indican una reducción del 20-30% en la temperatura del Mylar.

**Figura 1.** Cinéticas de secado formulaciones 13, 17 y 18
*Figure 1. Drying kinetics of formulations 13, 17, and 18*



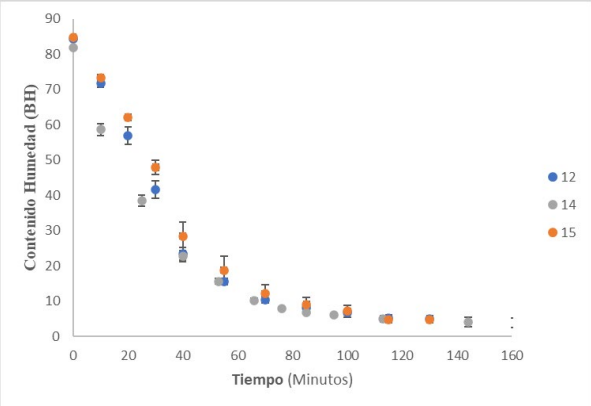

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

**Figura 2.** Cinéticas de secado formulaciones 10,11 y 16
*Figure 2. Drying kinetics of formulations 10, 11, and 16*




Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

**Figura 3.** Cinéticas de secado formulaciones 12, 14 y 15
*Figure 3. Drying kinetics of formulations 12, 14, and 15*




Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.


CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Las cinéticas de secado, presentadas en las Figuras 1, 2 y 3, detallan el tiempo requerido para que las mezclas alcancen un contenido de humedad del 5%. Específicamente, en la Figura 1, las mezclas 13, 17 y 18 lograron este nivel de humedad en rangos de 135-165, 130-145 y 100-115 minutos, respectivamente. Por su parte, la Figura 2 mostró que las formulaciones 10, 11 y 16 alcanzaron el 5% de humedad en 120-135, 130-160 y 45-60 minutos. Finalmente, en la Figura 3, las mezclas 12, 14 y 15 obtuvieron el mismo contenido de humedad en 115-130, 95-113 y 100-115 minutos.

El contenido de humedad inicial de las 9 formulaciones osciló entre 80.91% y 84.72%, similar a los valores reportados para la piña (Ayala Aponte et al., 2022: 170). El tiempo promedio para alcanzar un 5% de humedad fue de 117 minutos, notablemente más corto que con otras tecnologías, como el secado en horno (Rodríguez et al., 2022: 8), que requiere 18 horas para humedades inferiores al 8%. Esta rápida deshidratación en la ventana de refractancia (VR) se atribuye a la combinación de transferencia de calor por convección, conducción y radiación.

Los resultados concuerdan con los de Ayala Aponte et al. (2022: 167), quienes obtuvieron contenidos de humedad cercanos al 9% en menos de 90 minutos para snacks de piña, utilizando secado por ventana de refractancia a 90 °C. La Tabla 2 resume los análisis fisicoquímicos y nutricionales de las variables de respuesta.

**Tabla 2**. Resultados de las variables de respuesta obtenidos paras las 9 formulaciones.
*Table 2. Results of the response variables obtained for the 9 formulations*

| Formulación | Actividad de agua ($a_w$) | Color | | | Dureza (N) | Vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g de muestra seca) | Contenido fenólico total (mg EAG/100 g de muestra seca) | % Actividad antioxidante (DPPH) | % Actividad antioxidante (ABTS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C* | ΔE | ΔH | | | | | |
| 10 | 0,408 ± 0,026 | 25,36 | 4,5 | -2,42 | 1,33 ± 0,269 | 72,78 ± 2,57 | 189,59 ± 0,46 | 75,08 ± 0,0035 | 84,97 ± 0,019 |
| 11 | 0,536 ± 0,020 | 22,8 | 3,9 | -3,56 | 1,14 ± 0,011 | 74,76 ± 0,86 | 269,37 ± 0,46 | 73,67 ± 0,0047 | 90,74 ± 0,009 |
| 12 | 0,463 ± 0,007 | 22,52 | 5 | -1,9 | 1,11 ± 0,004 | 59,41 ± 0,09 | 230,56 ± 0,37 | 75,58 ± 0,0012 | 70,21 ± 0,018 |
| 13 | 0,341 ± 0,022 | 26,72 | 6,1 | -2,31 | 1,13 ± 0,009 | 74,26 ± 0,19 | 217,81 ± 3,95 | 73,92 ± 0,0082 | 91,44 ± 0,009 |
| 14 | 0,441 ± 0,030 | 27,27 | 7,5 | -4,55 | 1,13 ± 0,016 | 95,30 ± 2,14 | 180,40 ± 0,37 | 75,25 ± 0,013 | 90,39 ± 0,017 |
| 15 | 0,451 ± 0,009 | 24,58 | 6 | -2,43 | 1,16 ± 0,095 | 98,77 ± 2,10 | 240,08 ± 0,37 | 71,33 ± 0,0009 | 78,51 ± 0,022 |
| 16 | 0,372 ± 0,024 | 28,35 | 9,4 | -9,65 | 1,14 ± 0,004 | 65,59 ± 2,14 | 160,40 ± 3,21 | 75,17 ± 0,0047 | 82,27 ± 0,015 |
| 17 | 0,361 ± 0,004 | 26,85 | 6,6 | -2,97 | 1,12 ± 0,025 | 74,26 ± 0,09 | 221,27 ± 2,62 | 72,58 ± 0,0059 | 91,09 ± 0,019 |
| 18 | 0,335 ± 0,028 | 26,61 | 6,9 | -2,45 | 1,13 ± 0,019 | 73,27 ± 1,72 | 217,16 ± 0,99 | 71,58 ± 0,0035 | 91,00 ± 0,019 |

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

## Caracterización fisicoquímica y sensorial

### *Actividad de agua ($a_w$)*

La Tabla 2 presenta los valores de $a_w$ para las 9 formulaciones, se observa que todas tuvieron un valor inferior a 0.6, permitiendo el control del crecimiento microbiano en el snack, ya que con valores inferiores al agua crítica de 0.6 la fruta deshidratada es estable durante el almacenamiento contra el ataque de microorganismos a temperatura ambiente (Polanía et al., 2023: 2).

### *Color*

En la Tabla 2 se presentan los valores de C*, ΔE y ΔH para las formulaciones. Donde C* es la medida de pureza o croma de un color, esta se toma desde el punto central del espacio del color (donde a* = b* = 0), un valor C* de cero indica un estímulo acromático, sin ninguna orientación hacia rojo, verde, azul o amarillo, y un color con un valor alto de C* es un color altamente saturado. ΔH es la diferencia de tono del snack y la mezcla antes de secarse, el tono es el atributo de la sensación visual según la cual una superficie parece similar a uno, o a proporciones de dos, de los colores percibidos rojo, naranja, amarillo, verde, azul y púrpura; y ΔE es la diferencia global de color (Talens Oliag, 2017: 5). Se observa que los valores del croma se encuentran entre 25-27, indicando que el snack tiene una saturación moderada, ya que como se mencionó anteriormente entre más cercano es el valor del croma a 0 más acromático sería el snack. Por otra parte, se observa un ΔH negativo en todas las formulaciones indicando una disminución de la tonalidad después del proceso de secado.

Por otra parte, cuando ΔE se aproxima a 2.3 siendo en todo caso inferior a 3, se estaría hablando de una diferencia global de color apenas perceptible que se produce entre dos niveles de intensidad de un estímulo sensorial o, dicho de otra forma, una diferencia de color muy difícilmente apreciable. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, aunque el ojo humano tiene dificultades para diferenciar un tono púrpura incluso con un ΔE de 5 unidades o más, para una escala de grises es capaz de diferenciarlo desde un valor de ΔE=0,5. Para esto la Norma ISO 12647 establece el criterio que se muestra en la Tabla 3 sobre la producción de impresos en artes gráficas, el cual sirve de guía.

**Tabla 3.** Referencias Delta E de la Norma ISO 12647
*Table 3. Delta E References from ISO 12647 Standard*

| Valores de | Calidad |
|---|---|
| 0 y 1 | Excelente |
| 1 y 2 | Buena |
| 2 y 4 | Normal |
| 4 y 5 | Suficiente |
| Superiores a 5 | Mala |

Fuente/source: Norma ISO 12647.


CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Con base en lo anterior, se infiere que 6 de las 9 formulaciones presentaron un cambio global de color perceptible al ojo humano, lo cual se debe a los cambios de a*, b* y L*. Esto lo corrobora el análisis de ANOVA realizado donde el valor p de interacción de los tres componentes (cáscara de mango, pulpa de mango y cáscara de piña) presentaron diferencias estadísticamente significativas (p=0.015). En la Figura 4 se observa el cambio de color del snack antes, durante y después del proceso de secado.

**Figura 4.** Fotografías del efecto del secado sobre el color del snack
*Figure 4. Photographs of the drying effect on snack color*



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

## *Textura*

La Tabla 2 muestra los valores de dureza (N) de cada formulación. Un análisis ANOVA, con un modelo cúbico especial y un $R^2$ del 99.82%, reveló un buen ajuste del modelo a los datos experimentales para todas las combinaciones, respecto al valor p de las interacciones se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas ya que la interacción triple (p=1.000) indica que la combinación específica de los tres factores no tiene un efecto especial o sinérgico en la dureza de los snacks, lo que se puede inferir ya que todos los valores de textura fueron muy similares en las formulaciones evaluadas.

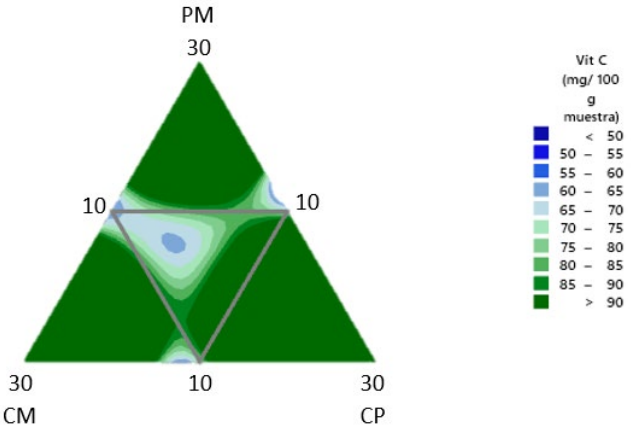
Los valores de dureza variaron  entre 1,33N y 1,11N; siendo el mayor el obtenido por la formulación 1 la cual contiene mayor cantidad de pulpa de mango y cáscara de piña, con base en que la fuerza de penetración de los snacks varía debido a la presencia de poros y la rugosidad en el área de contacto (Cazzaniga, 2022: 46). los valores de dureza pudieron ser afectados por la rugosidad de la cáscara de piña que pese a ser licuada no se pudo eliminar por completo las protuberancias que le dan una textura rugosa a la misma.

### *Vitamina C*

En la Tabla 2 se observan los valores de ácido ascórbico presente en las diversas formulaciones. Es pertinente mencionar que las formulaciones 13, 17 y 18 corresponden al punto central y la proporción de ingredientes que se maneja en estas es la misma. Con base en dicha tabla, se puede observar que las formulaciones 14 y 15 son las que presentan una mayor cantidad de ácido ascórbico, estos dentro de su formulación poseen (ver Tabla 1) un valor de 18.33% de cáscara de piña y porcentajes de pulpa y cáscara de mango variables. Por medio del ANOVA con un valor (p=0.001) para la interacción triple, se demostró que si existe una diferencia significativa entre las medias y que el modelo cúbico especial con un valor de del 99.95 % es el que mejor se ajusta, mostrando de esta manera, que si existe una relación entre los porcentajes de los ingredientes (% pulpa de mango, % cáscara de mango y % cáscara de piña) y el contenido de vitamina C de las muestras, esto se corrobora porque las formulaciones (14 y 15) con mayor contenido de cáscara de piña y mango fueron las que presentaron valores más altos en este parámetro (95,30 ± 2,14 y 98,77± 2,10 mg ácido ascórbico/100 g de muestra seca, respectivamente).

Para conocer cuál o cuáles componentes de la mezcla maximizan el contenido de ácido ascórbico en el snack, se utilizó un gráfico de contorno (Figura 5).

**Figura 5**. Gráfico de contorno para el contenido de vitamina C en las muestras de snacks
*Figure 5. Contour plot for vitamin C content in snack samples*




Donde CM: Cáscara de mango, PM: pulpa de Mango y CP: Cáscara de piña. Fuente: elaboración propia. Where CM: Mango peel, PM: Mango pulp, and CP: Pineapple peel. Source: own elaboration.

La Figura 5 ilustra que el contenido de vitamina C se intensifica a medida que aumenta el porcentaje de cáscara de piña o mango, o su combinación en proporciones similares, lo que consecuentemente reduce la cantidad de pulpa de mango en la mezcla. Aunque las pulpas frutales ya contienen vitamina C, diversos estudios indican que las cáscaras de piña y mango poseen mayores concentraciones de esta vitamina. Por lo tanto, la Figura 5 corrobora que una mayor incorporación de estas cáscaras resulta en mejores niveles de vitamina C en el producto final.


CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

### *Contenido fenólico total (CFT)*

Los compuestos fenólicos tienen la capacidad de eliminar los radicales libres, los cuales pueden causar numerosas enfermedades en los seres humanos (Meena et al., 2022: 4153). En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en la determinación de los compuestos fenólicos totales en las diversas mezclas. Se puede observar que los niveles más altos de contenido fenólico total se observaron en las formulaciones 11 y 15, las cuales contenían el máximo porcentaje de cáscara de piña (20%), además, las formulaciones 12, 13, 17 y 18 también exhibieron valores elevados en la variable de interés. El análisis estadístico revelo un buen ajuste del modelo cubico especial con $R^2$ de 99.89% y se identificó un valor p=0.003 para la interacción triple indicando una diferencia estadísticamente significativa, lo cual sugiere que el CFT depende de la proporción de los tres componentes, esto se evidencia cuando se compara la formulación 11 la cual presento el mayor CFT (269,37±0,46 mg EAG/ 100 g de muestra seca) y la 16 que presento el menor valor (160,40±3,21 mg EAG/ 100 g de muestra seca) en la primera se encontraban en mayor proporción las cáscaras de mango y piña, mientras que en la segunda la pulpa de mango estaba en mayor cantidad. Esto podría estar correlacionado con el hecho de que las cáscaras de frutas presentan mayor CFT que incluso la pulpa.

### *Actividad antioxidante (DPPH)*

La actividad antioxidante se define como la capacidad de un compuesto químico para inhibir la degradación oxidativa. Por lo tanto, un antioxidante se caracteriza por su capacidad para neutralizar los radicales libres (Rivera Atondo, 2023: 25). Los porcentajes de reducción de actividad antioxidante cuantificada se muestran en la Tabla 2, en esta se puede observar que los valores obtenidos en las diferentes formulaciones son muy similares, por lo que a través de un análisis de varianza (ANOVA), se determinó que no existe una diferencia significativa a nivel estadístico entre las medias ya que el valor P fue mayor a 0.05 (p=0.502).

### *Capacidad antioxidante por ABTS*

Mediante este método, es posible cuantificar la capacidad antioxidante de diferentes formulaciones mediante un porcentaje de inhibición, evaluando su habilidad para donar un hidrógeno y estabilizar el radical ABTS. Se compara la decoloración experimentada por la solución de ABTS durante la reacción con la decoloración provocada por un antioxidante (Berrocal Graciano, 2018: 26).

La Tabla 2 presenta los resultados de la capacidad antioxidante, destacando que las formulaciones 13, 17 y 18, correspondientes al punto central del diseño experimental, exhiben los valores más altos. Estas formulaciones lograron una reducción de radicales del 91%, un valor cercano al 100%, lo que subraya su potente efecto antioxidante en comparación con otros productos. Cabe mencionar que en el punto central se utilizaron proporciones idénticas (16.67%) de cáscaras de mango, cáscaras de piña y pulpa de mango, manteniendo constante el 50% de pulpa de piña en todas las formulaciones.

Para obtener un resultado que abarque las variables de respuesta más importantes, es crucial optimizar la mezcla para alcanzar porcentajes en los componentes que maximicen el contenido nutricional y minimicen cambios bruscos en el color. Con base en esto, las variables seleccionadas para maximizar la deseabilidad del snack se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Parámetros seleccionados para optimizar las variables de respuesta del snack
*Table 4. Selected parameters for optimizing snack response variables*

| Sustancia | Meta | Inferior | Objetivo | Superior | Ponderación | Importancia |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Compuestos Fenólicos | Máximo | 220 | 240 | 240 | 1 | 5 |
| MgVitC/100 | Máximo | 90 | 98 | 98 | 1 | 4 |
| Cambio global de color (ΔE) | Mínimo | 4 | 4 | 5 | 1 | 2 |
| Aw | Mínimo | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 1 | 2 |

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La deseabilidad compuesta obtenida fue del 0.985, muy cercana a 1, la cual representa un excelente valor de partida. Dichas variables de respuesta elegidas engloban parámetros nutricionales y fisicoquímicos importantes en la aceptabilidad general y vida útil del snack, dichas variables fueron los compuestos fenólicos totales, contenido de ácido ascórbico (vitamina C), el cambio global de color (ΔE) y valor de actividad de agua ($a_w$). Además, se definieron valores objetivos y se asignaron niveles de importancia con el fin de que se generara una formulación que priorizara las variables más relevantes. A través de MINITAB 19, se obtuvo la solución global con los porcentajes de cada componente, estos se muestran la Tabla 5.

**Tabla 5.** Solución global con los porcentajes sugeridos por Minitab para optimizar las variables de respuesta
*Table 5. Global solution with percentages suggested by Minitab for optimizing response variables*

| Componentes | |
|---|---|
| Pulpa de mango (%) | 15,4562 |
| Cáscara de mango (%) | 16,5519 |
| Cáscara de piña (%) | 17,9919 |

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.


CC BY
RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

Con base en la Tabla 5, y teniendo en cuenta que los valores allí presentes corresponden a porcentajes de la formulación se procedió a desarrollar dicha mezcla optimizada y a cuantificar en esta las variables de respuesta elegidas, los resultados se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Datos obtenidos de las variables de respuesta correspondientes a la Solución Global optimizada
*Table 6. Data obtained from the response variables corresponding t o the optimized Global Solution*

| Variable de respuesta | Valores esperados | Valores obtenidos |
|---|---|---|
| Vitamina C (mg Ácido Ascórbico / 100 g de ms) | 98,044 | 82,185 ± 0,858 |
| Compuestos Fenólicos Totales (mg EAG / 100 g de ms) | 242,014 | 187,64 ± 11,46 |
| Actividad de Agua ($a_w$) | 0,419 | 0,326 ± 0,005 |
| Cambio Global de Color (ΔE) | 3,772 | 8,463 ± 0,291 |

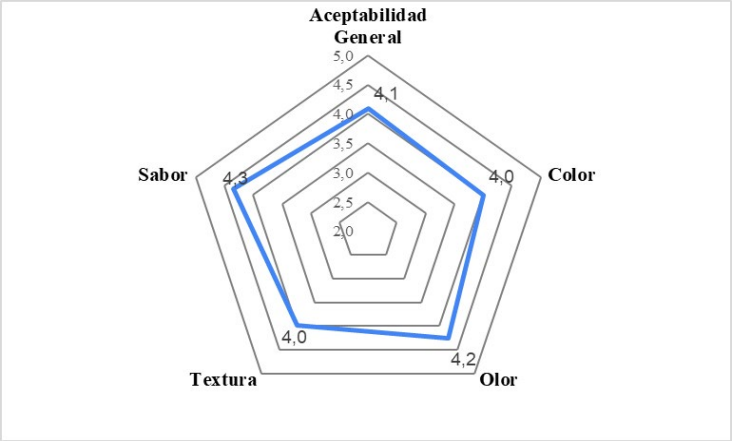
Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

De acuerdo con las respuestas pronosticadas el único parámetro que logro cumplir fue la actividad de agua, la cual estuvo por debajo del valor esperado (ideal para este tipo de productos) porque se logra inhibir el crecimiento microbiano. Por otro lado, el cambio global de color fue 2.6 veces mayor al esperado, lo cual se debe al efecto de la temperatura sobre los carotenoides presentes en ambas frutas. Finalmente, los compuestos fenólicos y vitamina C también estuvieron por debajo, pero con una diferencia de solo el 19.33±4.44%. Son valores muy similares a los reportados por otros autores para este tipo de productos (Ayala Aponte et al., 2022: 174).

## *Análisis sensorial*

En la Figura 6 se presenta un gráfico de araña con los valores promedio obtenidos de la encuesta tipo escala hedónica de cinco puntos, donde 1 denota el valor mínimo (extremadamente desagradable) y 5 (extremadamente agradable) para cada atributo evaluado (sabor, color, olor, textura) y la percepción general del producto. Esta encuesta se aplicó a un total de 77 personas, donde 39 personas corresponden a mujeres y 38 a hombres, en un rango de edad de personas con menos de 18 años hasta personas con más de 61 años.

**Figura 6.** Gráfico radial de la formulación optimizada
*Figure 6. Spider chart of the optimized formulation*




Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

El snack demostró una buena aceptación sensorial general, con puntuaciones promedio de 4.3 para sabor, 4.0 para color, 4.3 para olor, 4.0 para textura y 4.1 para percepción general. Aunque la textura y el color obtuvieron las puntuaciones ligeramente más bajas, la mayoría de los valores fueron de 4 o superiores, indicando que el producto fue bien recibido por los catadores. Esto confirma que, al utilizar matrices frutales como el mango y la piña, incluyendo sus subproductos (cáscaras y corazón), es posible crear productos innovadores y funcionales que son sensorialmente agradables, benefician la salud del consumidor y son sostenibles ambientalmente.

## Conclusiones

La cinética de secado por ventana de refractancia a 90°C, a pesar de alterar perceptiblemente el color (ΔE>5) de los snacks, fue efectivo al mantener la actividad de agua ($a_w$) por debajo de 0.6, asegurando la inocuidad y prolongando la vida útil del producto. La incorporación de cáscaras de mango y piña incrementó significativamente la dureza de los snacks, debido a su alto contenido de fibra.

Nutricionalmente, las formulaciones con mayor porcentaje de cáscaras de piña y mango mostraron un aumento notable en vitamina C y compuestos fenólicos totales, confirmando su valor como subproductos. Aunque la actividad antioxidante medida por DPPH no varió significativamente con las proporciones, el método ABTS indicó que el punto central de la formulación fue óptimo para la eficacia antioxidante.

Finalmente, el producto con la formulación optimizada obtuvo una excelente aceptación sensorial, con puntuaciones promedio de 4 o más en todos los atributos evaluados. Esto valida que la incorporación de subproductos en este tipo de snacks permite elaborar alimentos funcionales y agradable para los consumidores.


RIVAR volumen 13, número 41, 2026: 294-312 • ISSN online 0719-4994
Instituto de Estudios Avanzados, Universidad de Santiago de Chile

## Declaración de autoría (CRediT)

**Elisabeth Lugo Salazar:** Curación de datos, análisis formal, investigación, metodología y redacción – revisión y edición.

**Juan José Villada Alvarado:** Conceptualización, curación de datos, investigación, metodología, redacción – borrador original y redacción – revisión y edición.

**Anna María Polanía Rivera:** Conceptualización, curación de datos, análisis formal, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, redacción – borrador original y redacción – revisión y edición.

## Referencias

Ardila Ramírez, C., María Palacio, Á.M. y Barrera Zapata, R. (2018). Cáscara de piña como adsorbente de colorantes típicos de la industria textil. *Ciencia En Desarrollo*, *9*(2), 161-168. DOI 10.19053/01217488.v9.n2.2018.7689

Ayala Aponte, A.A., González, L.V., Polanía Rivera, A.M., Arroyo Rincón, A.M., Tobar Suarez, A. y Díaz Ortiz, A. (2022). Obtención de «snacks» de piña (*Ananas comosus*) mediante las técnicas combinadas de Ventana de Refractancia y fritura con aire caliente. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *20*(1), 165-178. DOI 10.18684/rbsaa.v19.n2.2021.1879

Berrocal Graciano, S.K. (2018). *Contenido de fenoles totales, flavonoides y actividad antioxidante de Solanum nitidum R. & P. «ñuñunga».* Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Brand-Williams, M.E. y Cuvelier, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Science and Technology*, *28*(1), 25-30. DOI 10.1016/s0023-6438(95)80008-5

Carrera i Gallissà, E. (2017). Los retos sostenibilistas del sector textil . *Revista de Química e Industria Textil* , *220*, 20-32.

Cazzaniga, A. (2022). *Desarrollo de productos crackers horneados a partir de puré deshidratado de mandioca*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Misiones.

Gutiérrez Avella. D.M., Ortiz García, C.A. y Mendoza Cisneros. (22 al 24 de octubre de 2008). Medición de fenoles y actividad antioxidante en malezas usadas para alimentación animal. En *Simposio de Metrología*. Querétaro, México.

Jibaja Espinoza, L.M. y Sánchez González, J. (2016). Determinación de la capacidad antioxidante y análisis composicional de la harina de cáscara de mango (Mangifera indica) variedad «criollo» procedente de la provincia de Sullana en Piura. *Revista Tecnología & Desarrollo*, *13*(1), 23-26. DOI 10.18050/td.v13i1.748

Meena, L., Sengar, A.S., Neog, R. y Sunil, CK. (2022). Pineapple processing waste (PPW): bioactive compounds, their extraction, and utilisation: a review. *Journal of Food Science and Technology*, *59*(11), 4152-4164. DOI 10.1007/s13197-021-05271-6

Ormaza, A.M.Z., Ayala Aponte, A. y Ortega, K.J.K. (2016). Cambios físicos durante el secado de banano bocadillo (*Musa acuminata colla*) mediante la técnica de ventana de refractancia. *Vitae*, *23*(Supl 1), 84-87.

Paz-Arteaga, S.L., Cadena-Chamorro, E., Goméz-García, R., Serna-Cock, L., Aguilar, C.N., y Torres-León, C. (2024). Unraveling the valorization potential of pineapple waste to obtain value-added products towards a sustainable circular bioeconomy. *Sustainability*, *16*(16), 7236. DOI 10.3390/su16167236

Polanía, A.M., Ramírez, C., Londoño, L., Bolívar, G. y Aguilar, C.N. (2023). Encapsulation of pineapple peel extracts by ionotropic gelation using corn starch, *Weissella confusa* Exopolysaccharide, and sodium alginate as wall materials. *Foods*, *12*(15), 2943. DOI 10.3390/foods12152943

Raudone, L., Vilkickyte, G., Pitkauskaite, L., Raudonis, R., Vainoriene, R. y Motiekaityte, V. (2019). Antioxidant activities of *Vaccinium vitis-idaea* L. leaves within cultivars and their phenolic compounds. *Molecules*, *24*(5), 844. DOI 10.3390/molecules24050844

Rivera Atondo, M. (2023). *Actividad Antioxidante e Inhibición de α-Glucosidasa de Hidrolizados de Fracciones Proteicas de Maíz (Zea mays L.) con Alto Contenido en Aceite*. Universidad Autónoma de Sinaloa.

Rodríguez, N.O., Águila-León, J., Castillo-Téllez, B., Martínez-Sarabia, F. y Contreras González, A.L. (21 al 25 de noviembre de 2022). Experiencia de secado de piña a nivel semi-industrial en una planta de secado hibrida solar-gas LP. En *Tercer Congreso Nacional de Secado, Cocción y Refrigeración Solar de Alimentos* (pp. 1-11). Campeche, México.

Rubiano, E.V., Sánchez, C.M. y Gómez, J.H. (2016). Efecto de dos pretratamientos para evitar el pardeamiento de secado convectivo de manzana. *Agronomía Colombiana*, *34*(1 Supl), 329-331.

Rubiano-Charry, K.D., Ciro-Velásquez, H.J. y Aristizabal-Torres, I.D. (2019). Aprovechamiento de los subproductos del mango, como fuente de compuestos bioactivos, para la elaboración de rollos comestibles. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, *22*(2), e1078. DOI 10.31910/rudca.v22.n2.2019.1078



CC BY

Spolmann Ortega, A.O. (2019). *Efecto del espesor de película de Mylar ® en la cinética de secado de pulpa de Physalis peruviana por método ventana de refractancia*. Tesis de pregrado. Universidad de Chile.

Talens Oliag, P. (2017). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB*. Unviersitat Politècnica de València.

Tirado, D.F., Acevedo-Correa, D. y Montero-Castillo, P. M. (2016). Secado de rodajas de fruto del árbol del pan mediante la técnica de Ventana Refractiva®. *Tecno Lógicas*, *19*(36), 103-111. DOI 10.22430/22565337.591