

Chemical composition, color y moisture of slices dried by refractance window of two *Ullucus tuberosus* morphotypes

Martha Pari-Castro, B¹, Pedro Arteaga-Llacza Msc², Angélica Miranda-Jara, Msc², Patricia Quispe-Barrantes, Msc², Helí Miranda-Chávez, D³, Miguel Ángel Quispe-Solano, D⁴, Roberto Chuquilín-Goicochea, Msc¹

¹Universidad Nacional de Huancavelica, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Perú, marthapariastro330@gmail.com, roberto.chuquilin@unh.edu.pe

²Universidad Nacional Federico Villarreal, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Perú, pedro01arteaga@hotmail.com, amiranda@unfv.edu.pe, patriciaq19@hotmail.com

³Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, Perú, amiranda@uct.edu.pe

⁴Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Perú, mquispe@uncp.edu.pe

Abstract— *This work aimed to evaluate the effect of cut thickness and drying time on two morphotypes (Quello Lisa and Puka Lisa) of Ullucus tuberosus from Huancavelica. A rotatable central composite design, taking to 2 - 4 mm as minimum and maximum thickness values and 15 - 45 min as minimum and maximum time values. The final moisture content of the product and its color parameters (L *, a *, b *, C and H) were evaluated. It was found a significant effect of the cut thickness and drying time was found on the dependent variables, in both morphotypes studied. The optimal thickness was found to be 2.25 and 2.45 mm, for Quello Lisa and Puka Lisa, respectively; and the refractive window drying time, 51.2 min., that maximize color and final moisture for both morphotypes. A stable dehydrated product suitable for commercialization as an input for typical peruvian food was obtained.*

Keywords— *puka, quello, luminosidad, Ventana refractante, ollquito.*

I. INTRODUCCIÓN

El tubérculo andino *Ullucus tuberosus* (familia Basellaceae), fue domesticado en los Andes durante hace aproximadamente 5500 años antes de la llegada española [1], [2]. Es comúnmente conocido como papa lisa, olluco o melloco en los Andes centrales y meridionales, pero es más conocido como olluco en español.

La piel del olluco puede tener una gran cantidad de colores como amarillo, naranja, rojo, magenta y púrpura, con o sin pecas de color; cuya pigmentación es debida a colorantes naturales y funcionales llamados betalainas [3], [4]. En este trabajo se usaron dos morfotipos de color amarillo (Quello lisa) y color rosa (Puka lisa).

Los compuestos fenólicos identificados en olluco son: rutina, narcisina y kaempferol 3-O- (2, 6 -di-O- α -Lrhamnopyranosyl) - β -D-glucopyranoside [6]. Otros compuestos fenólicos presentes en olluco se ha informado que el kaempferol flavonoide exhibe una fuerte actividad antioxidante [7], [8] e inhibe la hemólisis, la peroxidación lipídica y la generación de radicales superóxido [9].

En general, se observa la tendencia de una mayor capacidad antioxidante para genotipos con mayor contenido fenólico [10].

Los aminoácidos esenciales limitantes de olluco son leucina, lisina y metionina más cisteína. Los tubérculos muestran la característica común de un considerable porcentaje de aminoácidos sulfurosos y lisina [5].

Se ha visto que para conservar el olluco deshidratado, sin afectar demasiado sus propiedades química, sensoriales y vida útil, se puede secar con una tecnología denominada ventana refractante. El secado por ventana refractante (VR) es un sistema que usa una película delgada que tiene altas velocidades de transferencia de calor y masa que acelera la velocidad de secado. Esta lámina de plástico es transparente a la radiación infrarroja que transmite calor a los alimentos durante el proceso de secado con mayor velocidad, mayor retención de nutrientes y baja pérdida de aroma y sabor [11]–[13].

Los productos deshidratados por RW son prometedores y se pueden preparar inmediatamente después de la producción como refrigerios o en la sustitución de otros ingredientes, como las algas en el sushi [14].

La combinación de ultrasonido e infrarrojo con hidro-secado conductivo o VR puede conducir a un proceso de eficiencia energética con capacidad de retención de buena calidad [15].

Algunas dificultades de secar slice con VR se han encontrado que, por ejemplo, existe una relación exponencial entre la tasa de secado y el factor de cambio de volumen [16].

Sin embargo, la mayoría de las propiedades organolépticas de los kiwis secos con VR en slice, incluido el sabor, el color, la textura, la contracción y la aceptación general, estaban en el rango de calidad media a buena [17].

Trabajar el secado de productos sólidos en slice mediante ventanas refractantes a demostrado ser una buena idea por ejemplo se ha secado lúcuma logrando humedad final de 9,3%, con un espesor de 1,3 mm y un tiempo de secado de 15 minutos [18], mangos con buenos coeficientes de difusión [19], kiwi [20], entre otros.

En este trabajo de investigación se ha usado VR para secar slice de olluco de dos morfotipos con el fin de conservar su composición química, su color y lograr una humedad final que prolongue la vida útil del producto. Este producto intermedio puede ser usado con diferentes fines y asegura la comercialización de este producto estacional, por todo el año.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LEIRD).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LEIRD).

DO NOT REMOVE

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Diseño experimental y análisis de datos

TABLA I
DISEÑO COMPUESTO CENTRAL ROTABLE

| Factores | -1,41 | -1 | 0 | 1 | 1,41 |
|------------------------|-------|----|----|----|------|
| Espesor (mm) | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 4,5 |
| Tiempo de secado (min) | 9 | 15 | 30 | 45 | 50 |

Se utilizó un Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) para lograr optimizar el contenido de humedad, del siguiente tipo $2n + 2*n + pc$, la codificación se presenta en la Tabla I. Se optimizó el color y la humedad final del producto y al producto optimizado se le analizó su composición química proximal, para ambos morfotipos de olluco.

B. Obtención de slices de olluco por ventana refractante

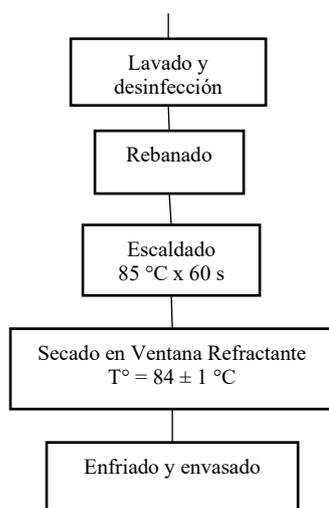


Fig. 1 Diagrama de flujo de slice de olluco

Se adquirieron 10 kg ollucos sanos, física y fitosanitariamente. Se emplearon dos morfotipos: Quello Lisa (amarilla) y Puka Lisa (roja). Se lavaron con abundante agua para eliminar la tierra impregnada, y luego se desinfectó con una solución de agua clorada a 100 ppm. Luego se rebanaron con una cortadora regulable para obtener láminas de diferentes espesores, en este punto se manipuló la primera variable de estudio, el espesor (E). Se escaldaron a 85 °C durante 60 s para ablandar los tejidos e inactivar enzimas responsables del pardeamiento. Se secaron los slices por ventana refractante. El diseño del secador (Fig 1) estuvo compuesto de una bañera termostática de acero inoxidable de 500 mL llena de agua potable. La superficie del agua calentó las superficies plásticas (material acetato de celulosa) sobre el que se colocaron los slices espaciados uniformemente, para cada prueba. La temperatura del baño se fijó en 84°C ± 1°C. El tiempo (T) fue la segunda variable de estudio y se aplicó lo establecido por el diseño experimental. El producto final se envasó para su análisis posterior.

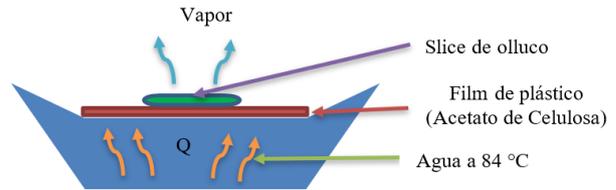


Fig 2. Diseño del secador por ventana refractante

C. Humedad final (HF)

Se usó el método de la AOAC 925.4072, basada en la pérdida de peso que sufre la muestra por calentamiento hasta obtener peso constante [21].

D. Color

El color de la muestra fue medida usando un Equipo MINOLTA CR-200b. Se midieron las coordenadas rectangulares: Luminosidad (L), parámetro verde – rojo (a*) y parámetro azul-amarillo (b*), y las coordenadas cilíndricas: croma (C) y tono (H) [22].

G. Composición química

Se determinó proteína, grasa, ceniza, fibra, humedad de acuerdo al método AOAC [21] y carbohidratos por diferencia.

II. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A. Análisis estadístico

TABLA II
ANÁLISIS DE VARIANZA DEL DCCR MODELO CUADRÁTICO

| VARIABLES DE RESPUESTA | FUENTE DE VARIACIÓN | | | | | | R ² |
|------------------------|---------------------|--------|----------------|----------------|--------|--------|----------------|
| | E | T | E ² | T ² | E x T | FA | |
| QUELLO LISA | | | | | | | |
| L | 0,348 | 0,961 | 0,469 | 0,119 | 0,783 | 0,232 | 58,04% |
| A* | 0,015* | 0,298 | 0,082 | 0,002* | 0,041* | 0,001* | 87,53% |
| B* | 0,219 | 0,823 | 0,002* | 0,177 | 0,505 | 0,096 | 80,10% |
| C | 0,202 | 0,805 | 0,001* | 0,134 | 0,465 | 0,071 | 82,94% |
| H | 0,233 | 0,669 | 0,553 | 0,919 | 0,843 | 0,506 | 25,17% |
| %H | 0,000* | 0,000* | 0,011* | 0,166 | 0,000* | 0,264 | 98,84% |
| PUKA LISA | | | | | | | |
| L | 0,002* | 0,001* | 0,001* | 0,000* | 0,049* | 0,033* | 95,79% |
| A* | 0,188 | 0,005* | 0,212 | 0,677 | 0,727 | 0,006* | 80,92% |
| B* | 0,001* | 0,038* | 0,018* | 0,002* | 0,102 | 0,000* | 90,57% |
| C | 0,860 | 0,207 | 0,340 | 0,070 | 0,282 | 0,550 | 57,12% |
| H | 0,000* | 0,000* | 0,000* | 0,000* | 0,003* | 0,000* | 97,25% |
| %H | 0,000* | 0,000* | 0,000* | 0,016* | 0,249 | 0,238 | 97,93% |

E: TÉRMINO LINEAL DEL ESPESOR, T: TÉRMINO LINEAL DEL TIEMPO, E²: TÉRMINO CUADRÁTICO DEL ESPESOR, T²: TÉRMINO CUADRÁTICO DEL TIEMPO, E x T: INTERACCIÓN ESPESOR – TIEMPO, FA: FALTA DE AJUSTE, R²: COEFICIENTE DE REGRESIÓN.
*SIGNIFICATIVO A $\alpha=0,05$

En la tabla II, se puede observar que, los parámetros de color del slice de Quello Lisa no fueron afectados en el caso

de luminosidad y tono, por otro lado, el croma y el parámetro azul-amarillo (b^*) por el término cuadrático del espesor, y solo el parámetro verde-rojo (a^*) fue afectado por el espesor, la interacción espesor-tiempo y el término cuadrático del tiempo. La ausencia de efectos en el color del slice de este morfotipo demuestra que la ventana refractante conserva el color del producto original como lo asevera Shende & Datta [23].

El color del slice de Puka Lisa sufrió un cambio radical debido al secado por ventana refractante (VR), salvo en el croma. Esto se debe a que este morfotipo es rico en betalainas [24], y la inestabilidad de estas aumenta con la temperatura y el periodo de calentamiento [25]–[27], produciendo cambios de color en el slice.

El contenido en humedad final si fue explicado por el modelo cuadrático en ambos morfotipos ($R^2 = 98,84\%$ y $97,93\%$, respectivamente), lo que permite predecir la humedad final del slice con estas dos variables. Esto coincide con Topuz *et al.* quienes hallaron una baja humedad en p prika secado con esta técnica [28]. El secado por ventana refractante tiene la ventaja de lograr bajos niveles de humedad final en corto tiempo y a baja temperatura [29]. Durante el secado por ventana refractante se observó deformación de los slices, sin embargo, se logró la humedad final necesaria (menor a 14%), pues este secado implica aplicar una capa delgada del producto sobre una lámina transparente de plástico resistente a la deformación y al calor térmicamente estable [30].

El olluco en slice secado por ventanas refractantes se logró con menor espesor y esto conllevó a obtener en menor tiempo buenos resultados, con una humedad que permite alargar su vida útil. Esto permitió establecer los parámetros de secado para ambos morfotipos. Quello lisa se recomienda secar a un espesor de 2,25 mm y un tiempo de 51,2 minutos. Puka lisa se recomienda secar a 2,45 mm y un tiempo de 51,5 minutos. Ambos a una temperatura de $84 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

En comparación del secado de kiwi en slice con el olluco, el análisis de la varianza para el efecto de las condiciones de VR sobre el tiempo de secado indicó que el grosor del kiwi tiene efectos significativos en la duración del secado ($p < 0,05$) [31]. En el caso del grosor, debe mencionarse que el método de secado VR depende del grosor del corte; el grosor es un factor limitante en este tipo de secado [32]. En VR se produce enfriamiento por evaporación, evitando que el producto alcance la temperatura del agua de calentamiento [33].

TABLA III
COMPOSICIÓN QUÍMICA PROXIMAL DEL PRODUCTO FRESCO Y DEL SLICE

| COMPONENTE | QUELLO LISA | | PUKA LISA | |
|----------------------|-----------------------|--------|-----------|--------|
| | FRESCO | SLICE | FRESCO | SLICE |
| | G/ 100 G MATERIA SECA | | | |
| HUMEDAD (BH) | 85,55 | 6,44 | 83,44 | 8,05 |
| CENIZA | 0,14 | 0,039 | 0,156 | 0,043 |
| GRASA | 0,001 | 0,009 | 0,002 | 0,010 |
| PROTEÍNA | 0,09 | 0,11 | 0,093 | 0,118 |
| FIBRA | 0,01 | 0,05 | 0,021 | 0,057 |
| CARBOHIDRATOS | 0,02 | 0,77 | 0,030 | 0,740 |
| ENERGÍA TOTAL (KCAL) | 44,9 | 327,41 | 49,83 | 318,66 |

BH: BASE HÚMEDA

La tabla III muestra el cambio de la composición química proximal del olluco al transformarse en slice, y se observa que principalmente se perdió agua, y se conservaron todos los componentes, y se incrementó la energía total. Es importante resaltar que los productos secado en VR como slice, han mostrado un poder superior de reconstitución como en el kiwi [17], será factible probar más adelante las propiedades funcionales del olluco en slice.

IV. CONCLUSIONES

Los rangos óptimos del espesor y tiempo de secado por ventana refractante que maximizan las características sensoriales y humedad final de dos morfotipos de olluco en slice, estos fueron: espesor de 2,25 mm y un tiempo de 51,2 minutos (Quello Lisa) y 2,45 mm y un tiempo de 51,5 minutos (Puka Lisa). El espesor tuvo efectos significativos en la humedad final, luminosidad y a^* de olluco morfotipo Quello Lisa en slice secado por ventana refractante. El espesor tuvo efectos significativos en la humedad final, luminosidad y b^* del olluco morfotipo Puka Lisa en slice secado por ventana refractante. El tiempo de secado tuvo efectos significativos en la humedad final de olluco morfotipo Quello Lisa en slice secado por ventana refractante. El tiempo de secado tuvo efectos significativos en la humedad final, luminosidad, a^* , b^* y tono del olluco morfotipo Puka Lisa en slice secado por ventana refractante. Para terminar, se puede afirmar que se lograron dos productos intermedios que pueden servir como insumos de la cocina t pica peruana, de buena calidad química y de color.

REFERENCIAS

- [1] B. Valcárcel-Yamani, G. G. Rond n-Sanabria, and F. Finardi-Filho, "The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón)," *Brazilian J. Pharm. Sci.*, vol. 49, no. 3, pp. 453–464, 2013.
- [2] D. McMoran and J. Gauthier, "Experimenting with growing ulluco as a niche crop for fun and profit," *J. Hort.*, pp. 1–2, 2014.
- [3] F. M. Mej a Lotero *et al.*, "Capacidad antioxidante y antimicrobiana de tub rculos andinos (*Tropaeolum tuberosum* y *Ullucus tuberosus*)," *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica*, vol. 21, no. 2, pp. 449–456, Dec. 2018, doi: 10.31910/rudca.v21.n2.2018.1083.
- [4] M. T. Pacheco, M. T. Escribano-Bail n, F. J. Moreno, M. Villamiel, and M. Due as, "Determination by HPLC-DAD-ESI/MSn of phenolic compounds in Andean tubers grown in Ecuador," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 84, p. 103258, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jfca.2019.103258.
- [5] R. Gross, F. Koch, I. Malaga, A. F. De Miranda, H. Schoeneberger, and L. C. Trugo, "Chemical composition and protein quality of some local Andean food sources," *Food Chem.*, vol. 34, no. 1, pp. 25–34, 1989.
- [6] A. Dini, L. Rastrelli, P. Saturnino, and O. Schettino, "Minor components in food plants--II. Triterpenoid saponins from *Ullucus tuberosus*," *Boll. Soc. Ital. Biol. Sper.*, vol. 67, no. 12, pp. 1059–1065, 1991, Accessed: Jul. 04, 2020. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1840797/>.
- [7] E. J. Cho, T. Yokozawa, D. Y. Rhyu, S. C. Kim, N. Shibahara, and J. C. Park, "Study on the inhibitory effects of Korean medicinal plants and their main compounds on the 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical," *Phytomedicine*, vol. 10, no. 6–7, pp. 544–551, 2003, doi: 10.1078/094471103322331520.
- [8] M. J. Jung, H. Y. Chung, J. H. Choi, and J. S. Choi, "Antioxidant Principles from the Needles of Red Pine, *Pinus densiflora*,"

- Phyther. Res.*, vol. 17, no. 9, pp. 1064–1068, Nov. 2003, doi: 10.1002/ptr.1302.
- [9] T. B. Ng, F. Liu, Y. Lu, C. H. K. Cheng, and Z. Wang, "Antioxidant activity of compounds from the medicinal herb *Aster tataricus*," *Comp. Biochem. Physiol. - C Toxicol. Pharmacol.*, vol. 136, no. 2, pp. 109–115, Oct. 2003, doi: 10.1016/S1532-0456(03)00170-4.
- [10] D. Campos, G. Noratto, R. Chirinos, C. Arbizu, W. Roca, and L. Cisneros-Zevallos, "Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas)," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 86, no. 10, pp. 1481–1488, Aug. 2006, doi: 10.1002/jsfa.2529.
- [11] I. Tontul and A. Topuz, "Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil)," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 80, pp. 294–303, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.02.035.
- [12] P. T. Clarke, "Refractance Window TM-"Down Under", 2004.
- [13] R. Minjares-Fuentes, V. M. Rodríguez-González, R. F. González-Laredo, V. Eim, M. R. González-Centeno, and A. Femenia, "Effect of different drying procedures on the bioactive polysaccharide acemannan from *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller)," *Carbohydr. Polym.*, vol. 168, pp. 327–336, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.03.087.
- [14] R. D. S. da Costa, A. M. da Cruz Rodrigues, J. B. Laurindo, and L. H. M. da Silva, "Development of dehydrated products from peach palm–tucupi blends with edible film characteristics using refractive window," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 56, no. 2, pp. 560–570, 2019.
- [15] V. Baeghbal, M. Niakousari, M. O. Ngadi, and M. Hadi Eskandari, "Combined ultrasound and infrared assisted conductive hydro-drying of apple slices," *Dry. Technol.*, vol. 37, no. 14, pp. 1793–1805, 2019.
- [16] M. J. Ortiz-Jerez, T. Gulati, A. K. Datta, and C. I. Ochoa-Martínez, "Quantitative understanding of Refractance Window™ drying," *Food Bioprod. Process.*, vol. 95, pp. 237–253, 2015, doi: 10.1016/j.fbp.2015.05.010.
- [17] D. Azizi, S. M. Jafari, H. Mirzaei, and D. Dehnad, "The influence of refractance window drying on qualitative properties of kiwifruit slices," *Int. J. Food Eng.*, vol. 13, no. 2, 2017.
- [18] D. Gamboa, D. Ibáñez, M. Meléndez, E. Paredes, and R. Siche, "Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante™," *Sci. Agropecu.*, vol. 5, no. 2, pp. 103–108, 2014.
- [19] C. I. Ochoa-Martínez, P. T. Quintero, A. A. Ayala, and M. J. Ortiz, "Drying characteristics of mango slices using the Refractance Window™ technique," *J. Food Eng.*, vol. 109, no. 1, pp. 69–75, 2012.
- [20] S. Jafari, D. Azizi, H. Mirzaei, and D. Dehnad, "Comparing quality characteristics of oven-dried and Refractance Window-dried kiwifruits," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 40, no. 3, pp. 362–372, 2016.
- [21] AOAC, *Official Methods of Analysis*, Décima nov. Washington, 2012.
- [22] K. Mathias-Rettig and K. Ah-Hen, "El color en los alimentos un criterio de calidad medible," *Agro sur*, vol. 42, no. 2, pp. 57–66, 2014.
- [23] D. Shende and A. K. Datta, "Refractance window drying of fruits and vegetables: A review," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 99, no. 4, pp. 1449–1456, 2019.
- [24] M. J. Cejudo-Bastante, M. Chaalal, H. Louaileche, J. Parrado, and F. J. Heredia, "Betain profile, phenolic content, and color characterization of different parts and varieties of *Opuntia ficus-indica*," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 62, no. 33, pp. 8491–8499, 2014.
- [25] I. Saguy, "Thermostability of red beet pigments (betanine and vulgaxanthin-I): influence of pH and temperature," *J. Food Sci.*, vol. 44, no. 5, pp. 1554–1555, 1979.
- [26] Y. Cai, M. Sun, and H. Corke, "Colorant properties and stability of *Amaranthus* betacyanin pigments," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 46, no. 11, pp. 4491–4495, 1998.
- [27] Y. Cai, M. Sun, W. Schliemann, and H. Corke, "Chemical stability and colorant properties of betaxanthin pigments from *Celosia argentea*," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 49, no. 9, pp. 4429–4435, 2001.
- [28] A. Topuz, H. Feng, and M. Kushad, "The effect of drying method and storage on color characteristics of paprika," *LWT-Food Sci. Technol.*, vol. 42, no. 10, pp. 1667–1673, 2009.
- [29] A. C. C. Frabetti, A. Durigon, and J. B. Laurindo, "Effect of process variables on the drying of guava pulp by cast-tape drying," *LWT*, vol. 96, pp. 620–626, 2018.
- [30] M. F. Zotarelli, B. A. M. Carciofi, and J. B. Laurindo, "Effect of process variables on the drying rate of mango pulp by Refractance Window," *Food Res. Int.*, vol. 69, pp. 410–417, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.01.013.
- [31] I. Doymaz, "Mathematical modelling of thin-layer drying of kiwifruit slices," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 33, pp. 145–160, 2009.
- [32] C. I. Nindo, T. Sun, S. W. Wang, J. Tang, and J. R. Powers, "Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus (*Asparagus officinalis*, L.)," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 36, no. 5, pp. 507–516, 2003, doi: 10.1016/S0023-6438(03)00046-X.
- [33] B. I. Abonyi *et al.*, "Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system," *J. Food Sci.*, vol. 67, no. 3, pp. 1051–1056, 2002.