

ÁREA TEMÁTICA: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y DESARROLLO PRODUCTIVO

# Secado y estabilidad de recubrimientos elaborados con sustitutos de aceite y azúcar

## Drying and stability of edible coatings made with oil and sugar substitutes

**Barge, Leticia C.** | Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), Universidad Nacional del Litoral - CONICET. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

**Peralta, Juan Manuel** | Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), Universidad Nacional del Litoral - CONICET. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

 <https://orcid.org/0000-0003-2114-7039>

**Meza, Barbara E.** | Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), Universidad Nacional del Litoral - CONICET. Santa Fe, Argentina.

Contacto: [bmeza@intec.unl.edu.ar](mailto:bmeza@intec.unl.edu.ar)

 <https://orcid.org/0000-0001-8723-5467>

### RESUMEN

En este trabajo, se elaboraron recubrimientos para alimentos panificados (baños de repostería), utilizando ingredientes tradicionales (cacao en polvo, leche, aceite vegetal y sacarosa), junto con sustitutos funcionales del aceite (maltodextrina) y del azúcar (polidextrosa y sucralosa). Para ello, las formulaciones se secaron a 50°C y 19% humedad relativa ambiente y las curvas obtenidas se describieron matemáticamente. Para la evaluación de su estabilidad, los baños de repostería fueron utilizados para recubrir galletitas dulces

Recibido: 9/03/2026 | Aceptado: 16/06/2026 | Publicado: 22/06/2026

DOI: <https://doi.org/10.64876/radi.v27.4>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.



comerciales. Las mismas se almacenaron a 25°C y actividad de agua = 1, midiéndose la adsorción de agua en función del tiempo. Además, se determinaron propiedades fisico-químicas (pH, viscosidad, actividad de agua, espesores y humedad) a 25°C. Pudo observarse que las galletitas recubiertas con la formulación con maltodextrina adsorbieron menos humedad que la muestra control. Este comportamiento es congruente con lo observado en las curvas de secado, permitiendo inferir una mayor estabilidad de estas muestras durante el almacenamiento.

## ABSTRACT

In this work, confectionery coatings for baked goods were developed using traditional ingredients, including cocoa powder, milk, vegetable oil and sucrose, together with oil and sugar substitutes such as maltodextrin, polydextrose and sucralose, which have not been previously addressed in the literature. The formulations were dried under controlled conditions at 50°C and 19% relative humidity, and the resulting drying curves were mathematically described. To evaluate stability, the coatings were applied to commercial sweet biscuits, which were stored at 25°C under saturated conditions (water activity equal = 1). Water adsorption was measured as a function of time. Physicochemical properties, including pH, viscosity, water activity, film thickness, and moisture content, were also determined. According to the obtained results, the sweet biscuits coated with the maltodextrin formulation adsorbed less moisture than the control sample. This behaviour is consistent with the drying curves, suggesting a better stability of these samples during storage.

**Palabras clave:** baños de repostería; galletitas comerciales; actividad de agua; maltodextrina; polidextrosa

**Keywords:** confectionery coatings; commercial biscuits; water activity; maltodextrin; polydextrose

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha incrementado el uso de recubrimientos comestibles en la industria alimentaria. Las coberturas dulces o baños de repostería, son muy utilizadas en nuestro país debido a que mejoran las características organolépticas del alimento, brindando textura, brillo, color y sabor dulce (Código Alimentario Argentino, 1969, arts. 767-818). Las formulaciones suelen incluir ingredientes tradicionales tales como cacao en polvo, sólidos de leche, agentes edulcorantes y grasas. La aplicación de estas coberturas dulces en productos panificados horneados como panes, galletitas y tortas, resulta de especial interés debido a que son alimentos de consumo masivo. Para ello, suelen utilizarse técnicas destinadas a recubrir los panificados. Las principales son la inmersión (*dip-coating*) y esparcimiento (*blade-coating* o *spreading*). La consolidación final de la cobertura se obtiene usualmente mediante el secado o por reducción de la temperatura, permitiendo la concentración de los sólidos o la solidificación de la fase grasa, respectivamente (Meza y Peralta, 2020; Schweizer, 2022).

La elaboración de alimentos reducidos en azúcares y grasas resulta estratégica para un sector de la industria dedicada a la elaboración de productos con alto valor agregado. Esta clase de alimentos se encuentra dirigido a un sector amplio y específico de la población, que desea o necesita consumir productos con contenido calórico reducido y un perfil nutricional adecuado, debido a su condición física y/o metabólica (Muñoz-Labrador et al., 2023).

Los sustitutos de grasas y aceites son ingredientes que tienen la capacidad de imitar una o más propiedades funcionales de los lípidos en los alimentos donde son incorporados (Syan et al., 2024). Entre ellos se encuentran los derivados de proteínas, como el lactosuero y el huevo, y de carbohidratos, como las maltodextrinas y almidones modificados (Gao et al., 2024). Particularmente las maltodextrinas con bajo dextrosa equivalente, al ser carbohidratos complejos, aportan menor contenido calórico ( $4 \text{ kcal g}^{-1}$ ) en comparación con las grasas y derivados ( $9 \text{ kcal g}^{-1}$ ). Además, las mismas son metabolizadas de forma similar al almidón nativo y, por lo tanto, no presentan implicaciones toxicológicas, pudiendo ser utilizadas por personas con problemas metabólicos relacionados con el azúcar (Roller, 1996).

Los sustitutos de azúcares, también llamados edulcorantes, son ingredientes que tienen la capacidad de generar sabor dulce aportando menor contenido energético que la sacarosa. Dependiendo del proceso de obtención, se clasifican en artificiales o sintetizados químicamente como la sucralosa, o naturales extraídos de fuentes vegetales como la stevia. Además, se considera que son no cariogénicos y que no afectan los niveles de glucosa o insulina en la sangre cuando son ingeridos, siendo aptos para personas diabéticas (Muñoz-Labrador et al., 2023). Específicamente, la polidextrosa es un agente de carga bajo en calorías ( $1 \text{ kcal g}^{-1}$ ) que puede sustituir total o parcialmente la sacarosa en los alimentos en los cuales es incorporada. Pero como prácticamente no aporta dulzor, debe ser combinada convenientemente con otros edulcorantes de alta intensidad en baja concentración, como la sucralosa, a fin de sustituir eficazmente al azúcar (Veena et al., 2016).

Dependiendo del contenido de grasas y carbohidratos de la formulación, se pueden generar problemas tecnológicos derivados de cambios en la capacidad de adsorción/desorción de agua de los alimentos recubiertos durante el almacenamiento, que determinarán la vida útil de los mismos ante determinadas condiciones ambientales (temperatura, humedad y tiempo) (Labuza y Altunakar, 2020a, 2020b).

Si se estudia la conservación de alimentos panificados recubiertos, teniendo en cuenta posibles cambios durante el secado y la adsorción de agua en los productos terminados, se podría comprender cómo la reducción del contenido de grasas y azúcares y las condiciones de almacenamiento afectarán las características físicas y químicas de los alimentos recubiertos. Además, se podrían optimizar tanto el valor nutricional como la vida útil de los productos panificados, con especial perspectiva de comercialización hacia otras regiones. Por este motivo, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar y caracterizar baños de repostería elaborados con sustitutos funcionales del aceite (maltodextrina) y del azúcar (polidextrosa y sucralosa) no abordados en la literatura, evaluando su comportamiento frente al secado y la adsorción de humedad para aportar información relevante sobre su conservación.

## METODOLOGÍA

### Materiales

Para la elaboración de los baños de repostería, se utilizaron los siguientes productos comerciales de grado alimenticio: azúcar impalpable (Oscar Santomero, Santa Fe, Argentina), aceite de maíz (Aceitera General Deheza S.A., Córdoba, Argentina), lecitina de soja (Laboratorios Yeruti S.R.L., Santa Fe, Argentina), leche en polvo descremada (Sucesores de Alfredo Williner S.A., Santa Fe, Argentina), cacao amargo desgrasado en polvo (Sucesores de José Salgado SAIC, Buenos Aires, Argentina), maltodextrina con dextrosa equivalente 2,7 (Glucidex 1, Roquette, Francia), polidextrosa (BLB Group Cia LTDA, Shandong, China) y edulcorante en polvo conteniendo 1,55% p/p de sucralosa (La Virginia S.A., Santa Fe, Argentina). Además, se usaron reactivos de grado analítico: sorbato potasio (Cicarelli, Santa Fe, Argentina) como conservante, glicerina anhidra (Cicarelli, Santa Fe, Argentina) como plastificante y agua destilada obtenida en el laboratorio.

Para la evaluación de la estabilidad durante el almacenamiento, se adquirieron galletitas dulces comerciales (Mauri S.A., Santa Fe, Argentina) con  $11,7 \pm 0,2$  mm de espesor y  $37,3 \pm 0,3$  mm de diámetro, medidos por quintuplicado con un micrómetro digital ESP1-001PLA (Schwyz, China).

### Elaboración de sustitutos de aceite y azúcar

El sustituto de aceite consistió de una suspensión de maltodextrina 16% p/p. La misma se elaboró dispersando la cantidad necesaria de maltodextrina en agua destilada a  $95 \pm 3^\circ\text{C}$  con agitación (Kanyuck et al., 2019), utilizando un agitador magnético con control de temperatura (IKA C-MAG HS7, IKA, Alemania) durante 30 min a 100 rpm. La completa disolución de la maltodextrina se corroboró debido a que la suspensión se volvió incolora durante el tratamiento térmico (Kanyuck et al., 2019; Loret et al. 2004). Luego, la suspensión se enfrió a temperatura ambiente durante 3 h y se almacenó a  $7 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 7 días para asegurar que las interacciones entre las moléculas de almidón modificado tengan lugar y asegurar la formación de la estructura necesaria que simule la consistencia aceite (Kanyuck et al., 2019; Loret et al. 2004).

El sustituto del azúcar consistió en una solución de polidextrosa 40% p/p con la adición de sucralosa. La misma se elaboró dispersando la cantidad necesaria de polidextrosa en agua destilada a  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  con agitación, utilizando el mismo agitador magnético descrito anteriormente durante 10 min a 100 rpm. Luego, la solución obtenida se enfrió a temperatura ambiente durante 1 h y se almacenó a  $7 \pm 1^\circ\text{C}$  por 48 h. Para completar el proceso, 5 g de sucralosa fue pesada y adicionada a 35 g de solución de polidextrosa, mezclándose manualmente con agitación suave para mejorar la integración de ambos componentes. Esta proporción fue seleccionada siguiendo las recomendaciones del fabricante del edulcorante, para asegurar que la mezcla obtenga un poder endulzante similar al de la sacarosa.

Además, se elaboró una solución de sacarosa 50% p/p, pesando la cantidad necesaria de azúcar impalpable y disolviéndola en agua destilada a  $40 \pm 1^\circ\text{C}$  con agitación, utilizan-

do el mismo agitador magnético descrito anteriormente durante 10 min a 100 rpm. La solución se almacenó a temperatura ambiente y se utilizó dentro de las 2 h de elaborada para evitar la recristalización de la sacarosa. Por otro lado, 10 g de aceite de maíz se mezclaron con 1 g de lecitina de soja, acondicionando el aceite a 40°C durante 10 min con agitación manual suave para una mejor integración de ambos componentes. La mezcla obtenida se almacenó a temperatura ambiente hasta su utilización.

### **Elaboración de baños de repostería**

Para la elaboración del baño de repostería utilizado como muestra control (Control) se pesaron, utilizando una balanza granataria Ohaus Scout Pro (Ohaus, EEUU) y una balanza analítica Sartorius Entris II (Sartorius, EEUU), 20 g de cacao desgrasado en polvo, 10 g de leche en polvo descremada, 40 g de solución de sacarosa 50%, 10 g de la mezcla aceite de maíz y lecitina de soja, 1 g de glicerina, 0,1 g de sorbato de potasio y la cantidad necesaria de agua destilada para completar 100 g de formulación.

Para la elaboración del baño de repostería conteniendo el sustituto de aceite (MD), se reemplazó los 10 g de la mezcla de aceite de maíz y lecitina de soja por 10 g de la suspensión de maltodextrina 16% p/p. De la misma forma, para el baño de repostería con el sustituto de azúcar (PD), se reemplazó los 40 g de la solución de sacarosa 50% p/p por 40 g de la mezcla de solución de polidextrosa 40% p/p y sucralosa.

Todos los ingredientes se mezclaron utilizando una batidora planetaria PE-BM65V (Peabody SA, Argentina) con un batidor de acero inoxidable tipo lira, para evitar la incorporación excesiva de burbujas de aire, mezclando durante 10 min a ~50 rpm (velocidad 1). Las formulaciones obtenidas fueron colocadas en recipientes de plástico y se acondicionaron en un baño ultrasónico (Testlab, EEUU) durante 15 min a temperatura ambiente para eliminar las burbujas de aire visibles. Posteriormente, se almacenaron a  $7 \pm 1^\circ\text{C}$  durante 48 h.

### **Caracterización fisicoquímica de los sustitutos de aceite y azúcar y de los baños de repostería fluidos**

Se midió la viscosidad ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $100 \text{ s}^{-1}$  de velocidad de deformación y por duplicado) de las soluciones de sacarosa 50% p/p y polidextrosa 40% p/p, del aceite de maíz y de la suspensión de maltodextrina 16% p/p utilizando un viscosímetro cono-plato Brookfield DV3TLVCP (Brookfield Engineering Laboratories Inc., EEUU). Las muestras de mayor viscosidad fueron analizadas con un cono CPA-52Z (ángulo de  $3^\circ$  y 24 mm de diámetro) y las de menor viscosidad con un cono CPA-40Z (ángulo de  $0,8^\circ$  y 48 mm de diámetro). La temperatura durante el experimento fue acondicionada utilizando un baño termostático con recirculación de agua (LKB 2219 Multitemp II, Suecia).

El pH de los sustitutos de aceite y azúcar, del aceite de maíz, de la suspensión de maltodextrina 16% p/p y de los baños de repostería fluidos fue medido a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  por duplicado, utilizando un pHmetro de penetración Waterproof pH Spear (Oakton Instruments, EEUU) previamente calibrado con soluciones estandarizadas (rango de pH 2-7). La actividad de agua ( $a_w$ ) de los baños de repostería fue determinada a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  por duplicado, utilizando

un higrómetro de punto de rocío (Aqualab Serie 4TE, EEUU). Para ello, 2 g de cada formulación fue colocada en recipientes plásticos provistos por el equipo de medición.

### Secado de los recubrimientos de baños de repostería

Los recubrimientos fueron secados mediante la técnica utilizada por Meza et al. (2021) conocida como secado en placa (*casting*). Para ello, se pesaron aproximadamente 10 g de cada baño de repostería y se colocaron en recipientes de vidrio de dimensiones conocidas (9 cm de diámetro y 2 cm de alto) por triplicado y se secaron en una estufa eléctrica con convección natural Dalvo TDC60 (Tecno Dalvo SRL, Santa Fe, Argentina) a  $50 \pm 3^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2\%$  de humedad relativa. La temperatura fue controlada utilizando un controlador Dhacel CD101 (Dhacel SRL, Argentina) y la humedad relativa se monitoreo con un registrador Schwyz DAT 10 (Schwyz, China). Los recipientes con las muestras se pesaron utilizando una balanza granataria Ohaus Scout Pro (Ohaus, EEUU) cada 60 min durante 7 h y, posteriormente, a las 48 h.

La pérdida de la humedad de las muestras fue analizada mediante un modelo matemático de capa fina semiempírico derivado del primer término de la solución general de la segunda ley de difusión de Fick (modelo logarítmico) (Meza et al., 2021):

$$M^* = (M_t - M_{eq}) / (M_0 - M_{eq}) = a \exp(-k t) + c \quad (1)$$

donde  $M^*$  [-] es una humedad adimensional,  $M_t$  [ $\text{kg kg}^{-1}$ ] es la humedad en base seca de la muestra al tiempo  $t$ ,  $M_0$  [ $\text{kg kg}^{-1}$ ] es la humedad en base seca inicial de la muestra,  $M_{eq}$  [ $\text{kg kg}^{-1}$ ] es la humedad de equilibrio en base seca de la muestra en las condiciones de estudio,  $t$  [min] es el tiempo de almacenamiento,  $k$  [ $\text{min}^{-1}$ ] es una constante cinética de secado y  $a$  y  $c$  son parámetros adimensionales. Los valores de  $M_{eq}$  se asumieron iguales a los valores de  $M_t$  medidos a las 48 h de haber transcurrido el proceso de secado a la temperatura y humedad relativa estudiadas.

Los baños de repostería secos, obtenidos luego del proceso de secado, fueron almacenados en bolsas plásticas herméticas a temperatura ambiente ( $\sim 25^\circ\text{C}$ ) para su posterior análisis.

### Caracterización física de los recubrimientos de baños de repostería secos

Los espesores de los recubrimientos de baños de repostería secos fueron medidos por quintuplicado con un micrómetro digital ESP1-001PLA (Schwyz, China). El contenido de humedad en base seca se determinó por triplicado por un método gravimétrico utilizando una estufa de vacío Yamato ADP310C (Yamato Scientific America Inc., USA) acondicionada a  $70 \pm 1^\circ\text{C}$  y 0,01 atm de presión durante al menos 6 h. La  $\alpha_w$  fue determinada a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  por duplicado, utilizando un higrómetro de punto de rocío (Aqualab Serie 4TE, EEUU). Para ello, 2 g de cada una de las muestras de recubrimientos secos fueron trituradas y colocadas en los recipientes plásticos provistos por el equipo de medición.

### Recubrimiento y secado de las galletitas

Se seleccionó una muestra representativa de las galletitas dulces comerciales, teniendo en cuenta su homogeneidad e integridad estructural. Las mismas fueron recubiertas por triplicado pesando 1 g de cada uno de los baños de repostería, aplicando la técnica de esparcimiento (*spreading*). Para ello, se utilizó una espátula de acero inoxidable que permitió distribuir manualmente y de manera cuidadosa la cobertura sobre la superficie. Luego, las galletitas recubiertas se secaron en una estufa eléctrica con convección natural Dalvo TDC60 (Tecno Dalvo SRL, Argentina) a  $50 \pm 3^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2\%$  de humedad relativa durante 1 h. Las muestras secas se enfriaron a temperatura ambiente por 1 h (Figura 1), se colocaron en bolsas plásticas con cierre hermético y se almacenaron a temperatura ambiente ( $\sim 25^\circ\text{C}$ ) durante 48 h.

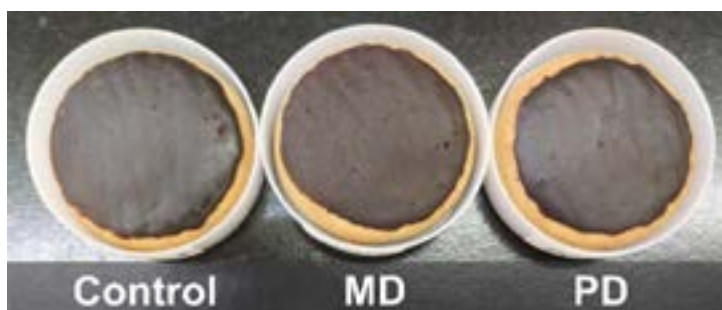


Figura 1. Fotos representativas de galletitas recubiertas con baños de repostería por medio de la técnica de esparcimiento (*spreading*). Control: elaborado con aceite de maíz y azúcar, MD: elaborado con sustituto de aceite (suspensión de maltodextrina 16% p/p) y PD: elaborado con sustituto de azúcar (solución de povidona 40% p/p con sucralosa).

El contenido de humedad inicial en base seca de las galletitas recubiertas fue determinado por método gravimétrico utilizando una estufa de vacío Yamato ADP310C (Yamato Scientific America Inc., USA) acondicionada a  $70 \pm 1^\circ\text{C}$  y 0,01 atm de presión durante al menos 6 h.

### Adsorción de agua de las galletitas recubiertas durante el almacenamiento

Para la evaluación de la estabilidad de los recubrimientos de baños de repostería durante el almacenamiento, las galletitas recubiertas fueron colocadas por triplicado dentro de recipientes plásticos herméticos conteniendo agua pura en su interior, simulando un ambiente saturado (100% de humedad relativa o  $a_w = 1$ ), siguiendo el procedimiento publicado por Meza et al. (2023). Las muestras se pesaron con una balanza analítica Sartorius Entris II (Sartorius, EEUU) y se les determinó la  $a_w$ , utilizando el equipo Aqualab Serie 4TE (Decagon Devices, EEUU). Ambas mediciones fueron realizadas por triplicado a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  cada 60 min durante 7 h.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó aplicando análisis de varianza (ANOVA). Cuando el efecto de los factores fue significativo ( $p < 0,05$ ), se aplicó el test de Tukey para la com-

paración de medias con un 95% de nivel de confianza. La capacidad de ajuste de la Ec. (1) fue evaluada a través de la raíz cuadrada del error medio  $RMSE$  [-] y del error medio absoluto porcentual  $MAPE$  [%]:

$$RMSE = [(1/n) \sum_{(i=1 \dots n)} (y_{exp,i} - y_{teor,i})^2]^{1/2} \quad (2)$$

$$MAPE = (100/n) \sum_{(i=1 \dots n)} |1 - y_{teor,i}/y_{exp,i}| \quad (3)$$

donde  $y_{exp,i}$  es el  $i$ -ésimo valor experimental de  $M^*$ ,  $y_{teor,i}$  es el  $i$ -ésimo valor teórico de  $M^*$  predicho por la Ec. (1) y  $n$  es el número total de datos en cada experimento.

Todos los cálculos se realizaron usando subrutinas escritas en Python (Python Software Foundation. Versión 3.12.3) y la herramienta *Solver* en LibreOffice Calc 24.2.7.2 (The Document Foundation).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización fisicoquímica de los sustitutos de aceite y azúcar y los baños de repostería fluidos

Los valores de pH de los sustitutos de aceite y azúcar utilizados se encuentran detallados en la Tabla 1. Los mismos se encuentran dentro del rango de los valores publicados para muestras similares. Shende y Sidhu (2015) publicaron valores de pH cercanos a la neutralidad (~6) para aceite extraído de germen de maíz. Loret et al. (2004) encontraron que las suspensiones elaboradas con maltodextrina con DE menor a 3 en un rango de concentraciones entre 1% y 40% p/p, presentaron un pH entre 5,5 y 7,0. Además, Mitchell (1996) publicó valores de pH entre 2,5 a 3,5 para polidextrosa en solución.

**Tabla 1: Valores de viscosidad (a 25°C y 100 s<sup>-1</sup>) y pH de los ingredientes utilizados.**

Ingrediente	Viscosidad [cP]	pH [-]
Aceite de maíz	52,27 ± 1,01 <sup>b</sup>	5,23 ± 0,95 <sup>b</sup>
Maltodextrina 16% p/p	52,86 ± 0,24 <sup>b</sup>	4,95 ± 0,06 <sup>b</sup>
Sacarosa 50% p/p	13,66 ± 0,19 <sup>a</sup>	5,64 ± 0,04 <sup>c</sup>
Polidextrosa 40% p/p	12,85 ± 0,23 <sup>a</sup>	3,25 ± 0,05 <sup>a</sup>

Valores promedio y desvíos estándares de dos réplicas. Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Puede observarse que tanto el aceite de maíz como la suspensión de maltodextrina 16% p/p presentaron valores similares de pH, mientras que la solución de polidextrosa 40% p/p evidenció un valor de pH ligeramente inferior en comparación a la solución de sacarosa 50% p/p utilizada como control. No obstante, ambos valores de pH se encuentran dentro del rango de acidez (pH entre 3 a 6) característico de algunos aditivos comerciales y permitido de acuerdo a la normativa vigente (Código Alimentario Argentino, 1969, arts. 1391-1406).

Los valores de viscosidad (a 25°C y 100 s<sup>-1</sup>) de los sustitutos de aceite y azúcar se encuentran también detallados en la Tabla 1. De acuerdo a la literatura, todas las muestras analizadas presentan un comportamiento newtoniano en el rango de trabajo estudiado (Hidayanto et al., 2010; Loret et al., 2004; Mitchell, 1996; Stanciu, 2020), por este motivo la viscosidad medida a 100 s<sup>-1</sup> puede tomarse como representativa del comportamiento general de estos fluidos.

Los valores de viscosidad hallados son del orden de magnitud de los publicados por otros autores en un estrecho rango de temperatura (25 a 30°C). Mitchell (1996) reportó un valor de viscosidad de ~16 cP para una solución de polidextrosa 40% p/p a 25°C. Hidayanto et al. (2010) determinó experimentalmente una viscosidad de 10,70 cP para una solución de sacarosa 50% p/p a 30°C. Stanciu (2020) publicó que el aceite de maíz presentó un valor de viscosidad de ~44 cP a 30°C. Debido a que tanto los ingredientes originales (solución de sacarosa 50% p/p y aceite de maíz) como los sustitutos elaborados a base de almidones modificados presentaron valores de pH y viscosidad similares, se procedió a utilizarlos para la elaboración de baños de repostería.

Los valores de  $a_w$  y pH de los baños de repostería fluidos se encuentran detallados en la Tabla 2. La actividad de agua de todas las muestras fue alta (~0,945) y los valores de pH estuvieron cerca del valor de neutralidad (~6,66). No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de estas propiedades entre las muestras Control y las elaboradas con los sustitutos de aceite y azúcar, indicando que la sustitución del aceite de maíz de la sacarosa en las formulaciones no tendría efecto significativo en estas propiedades en las muestras elaboradas en las condiciones de este trabajo. Estos valores son comparables con los observados ( $a_w = 0,96-0,98$  y pH = 6,4-7,2) para formulaciones líquidas de leche, chocolate y sacarosa (Mendoza-López y Vélez-Ruiz, 2025).

**Tabla 2: Valores de actividad de agua ( $a_w$ ) y pH de los baños de repostería fluidos.**

Muestra	$a_w$ [-]	pH [-]
Control	0,939 ± 0,004 <sup>a</sup>	6,64 ± 0,00 <sup>a</sup>
MD	0,949 ± 0,003 <sup>a</sup>	6,68 ± 0,01 <sup>a</sup>
PD	0,946 ± 0,006 <sup>a</sup>	6,67 ± 0,03 <sup>a</sup>

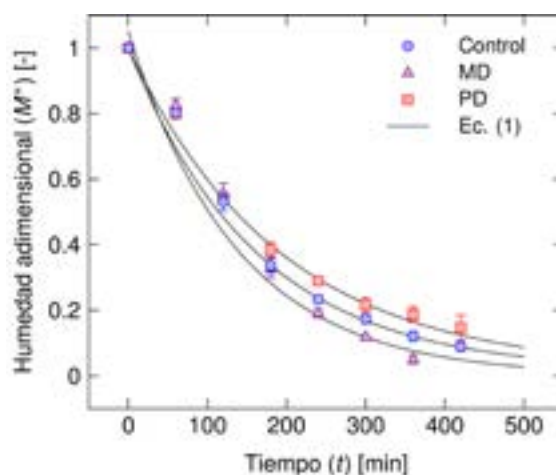
Control: muestra elaborada con aceite de maíz y azúcar, MD: muestra elaborada con sustituto de aceite (suspensión de maltodextrina 16% p/p) y PD: muestra elaborada con sustituto de azúcar (solución de polidextrosa 40% p/p con sucralosa).

Valores promedio y desvíos estándares de dos réplicas. Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

## Secado de los baños de repostería

En la Figura 2 se pueden observar las curvas de secado de los baños de repostería analizados. Las tres formulaciones presentaron un comportamiento similar a los publicados por Meza et al. (2021) en coberturas con contenido reducido de azúcar elaborados con un edulcorante natural (stevia). Se puede observar una alta velocidad de secado inicial seguida por una etapa más lenta. La curva de secado correspondiente a la formulación elaborada con el sustituto de aceite (muestra MD) evidencia una menor retención de humedad y su secado es más rápido. Este comportamiento es posiblemente debido a la

baja capacidad humectante que presentan las maltodextrinas con bajos valores de dextrosa equivalente (< 20) durante el secado (Roller, 1996). Por otro lado, la formulación elaborada con el sustituto de azúcar (muestra PD) muestra una mayor retención de humedad y su secado es más lento que la muestra Control, posiblemente debido a que la polidextrosa presenta una mayor higroscopicidad en comparación con la sacarosa (Mitchell, 1996).



**Figura 2. Curvas de secado a  $50 \pm 3^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2\%$  de los recubrimientos de baños de repostería estudiados. Control: elaborado con aceite de maíz y azúcar, MD: elaborado con sustituto de aceite (suspensión de maltodextrina 16% p/p) y PD: elaborado con sustituto de azúcar (solución de polidextrosa 40% p/p con sucralosa). Los símbolos son los valores promedio y las barras son los desvíos estándares de tres réplicas. Las líneas corresponden al modelo matemático ajustado (Ec. 1).**

Los valores de los parámetros del modelo logarítmico (Ec. 1) utilizado para estudiar la cinética de secado de las formulaciones se presentan en la Tabla 3. De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo modelar la cinética de secado de los recubrimientos satisfactoriamente, debido a que los valores de los errores MAPE fueron relativamente bajos. Si bien la muestra MD presentó un valor de MAPE superior al 10%, todos los valores de los errores RMSE se encontraron en el orden de los valores de los desvíos estándares (o errores experimentales) hallados para los la relación de la Ec. (1) (rango de 0 a 0,04). Los valores de  $k$  en la Tabla 3 están en concordancia con los reportados en bibliografía para suspensiones líquidas de leche, cacao en polvo y azúcar ( $k = 0,007\text{-}0,008 \text{ min}^{-1}$ ) (Buljat et al., 2019) y de cacao, glicerina, grasa, azúcar o Stevia ( $k = 0,004\text{-}0,008 \text{ min}^{-1}$ ) (Meza et al., 2021).

**Tabla 3: Parámetros del modelo logarítmico (Ec. 1) ajustado para el estudio de la cinética de secado a  $50 \pm 3^\circ\text{C}$  y  $19 \pm 2\%$  de los baños de repostería estudiados.**

Muestra	$a$ [-]	$k$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$c$ [-]	RMSE [-]	MAPE [%]
Control	0,986	0,006	0,014	0,04	3,79
MD	1,049	0,007	0	0,07	16,04
PD	0,984	0,005	0,015	0,03	5,38

Control: muestra elaborada con aceite de maíz y azúcar, MD: muestra elaborada con sustituto de aceite (suspensión de maltodextrina 16% p/p) y PD: muestra elaborada con sustituto de azúcar (solución de polidextrosa 40% p/p con sucralosa).

### Caracterización física de los recubrimientos de baños de repostería secos

Los valores de espesores, contenido de humedad y actividad de agua de los recubrimientos de baños de repostería luego del proceso de secado se encuentran detallados en la Tabla 4. Puede observarse que los espesores obtenidos son idénticos para las tres formulaciones. Las muestras elaboradas con los sustitutos de aceite y azúcar poseen menor contenido de humedad que la muestra Control. Además, los baños de repostería elaborados con ambos sustitutos evidenciaron valores idénticos de  $a_w$ , pero ligeramente superiores al de la muestra Control. En la bibliografía se publicaron valores finales de  $a_w$  (~0.5) y espesor (0,97-1,14 mm) de recubrimientos secos a base de cacao, glicerina, aceite vegetal, azúcar o stevia obtenidos por secado con aire caliente a 50°C (Meza et al., 2021).

**Tabla 4: Valores de espesores, contenido de humedad y actividad de agua ( $a_w$ ) de los recubrimientos de baños de repostería secos.**

Muestra	Espesores [mm] <sup>1</sup>	Humedad [%bs] <sup>2</sup>	$a_w$ [-] <sup>3</sup>
Control	1,30 ± 0,13 <sup>a</sup>	7,07 ± 0,20 <sup>c</sup>	0,484 ± 0,049 <sup>a</sup>
MD	1,24 ± 0,10 <sup>a</sup>	6,32 ± 0,08 <sup>b</sup>	0,568 ± 0,024 <sup>b</sup>
PD	1,42 ± 0,13 <sup>a</sup>	5,68 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,538 ± 0,016 <sup>b</sup>

Control: muestra elaborada con aceite de maíz y azúcar, MD: muestra elaborada con sustituto de aceite (suspensión de maltodextrina 16% p/p) y PD: muestra elaborada con sustituto de azúcar (solución de povidona 40% p/p con sucralosa).

<sup>1</sup> Valores promedio y desvíos estándares de cinco réplicas.

<sup>2</sup> Valores promedio y desvíos estándares de tres réplicas.

<sup>3</sup> Valores promedio y desvíos estándares de dos réplicas.

Letras diferentes dentro de una misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Adsorción de agua de las galletitas recubiertas durante el almacenamiento

En la Figura 3 puede observarse la evolución de la actividad de agua en función del tiempo de almacenamiento para las galletitas recubiertas con cada formulación. A tiempo inicial, todas las muestras presentan valores bajos de  $a_w$ , siendo  $0,559 \pm 0,006$  para la Control,  $0,550 \pm 0,007$  para la muestra MD y  $0,565 \pm 0,003$  para la muestra PD. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellos. Estos valores de  $a_w$  se corresponden además con los de contenido de humedad en equilibrio en las condiciones ambientales iniciales:  $5,64 \pm 0,13\%$  bs para la muestra Control,  $5,97 \pm 0,22\%$  bs para la muestra MD y  $6,10 \pm 0,07\%$  bs para la muestra PD, no encontrándose tampoco diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre estos valores.

La diferencia de actividad de agua entre el ambiente y la superficie de las galletitas recubiertas se puede considerar la fuerza impulsora que mueve el agua desde su valor inicial en la superficie hasta llegar al equilibrio con el 100% de humedad relativa ambiente (Bell, 2020; Labuza y Altunakar, 2020a). De acuerdo a lo que se puede observar en la Figura 3, durante los primeros 60 min se produce un aumento rápido debido a la adsorción de agua desde el ambiente hacia la superficie de la galletita recubierta, pero a medida que transcurre el tiempo, los valores de  $a_w$  se estabilizan. Las galletitas recubiertas con la formulación con povidona adsorben mayor cantidad de agua que las muestras Control. Además, las galletitas con la formulación con maltodextrina adsorben

menos humedad en comparación a la muestra Control. El comportamiento observado es congruente con el descrito en las curvas de secado y es debido, probablemente, a las diferencias en la capacidad higroscópica y de retención de humedad de las diferentes coberturas. Además, la forma de los perfiles es compatible con los observados para cinéticas de adsorción de agua en recubrimientos a base de azúcar y cacao, sugiriendo un comportamiento y condiciones similares (Gosh et al, 2005).

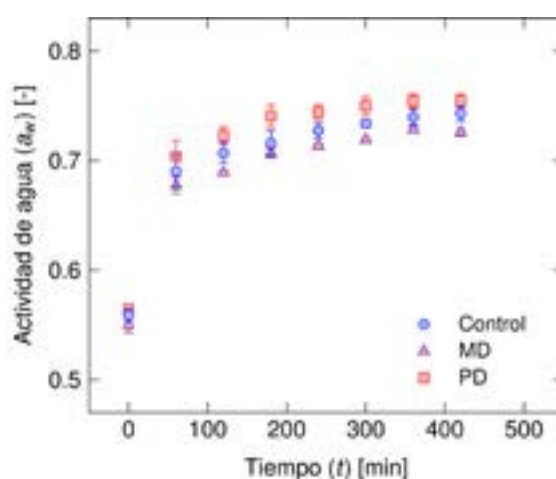


Figura 3. Curvas de adsorción de agua a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  de galletitas recubiertas con baños de repostería. Control: elaborado con aceite de maíz y azúcar, MD: elaborado con sustituto de aceite (suspensión de maltodextrina 16% p/p) y PD: elaborado con sustituto de azúcar (solución de povidona 40% p/p con sucralosa). Los símbolos son los valores promedio y las barras son los desvíos estándares de tres réplicas.

A partir de los datos experimentales descritos en la Figura 3, y por el método de interpolación, se puede estimar el tiempo necesario para alcanzar un  $a_w \geq 0,7$ , que es crítico para la proliferación de microorganismos (en especial mohos y levaduras) que pueden afectar la estabilidad de los productos recubiertos durante el almacenamiento (Tapia et al., 2020). De esta forma, los valores estimados fueron: 178 min para la muestra MD, 119 min para la muestra Control y 60 min para la muestra PD. Estos datos predichos permiten inferir que los alimentos panificados recubiertos con el baño de repostería elaborado con la suspensión de maltodextrina, presentarían una mayor estabilidad que la muestra Control durante el almacenamiento en las condiciones estudiadas en este trabajo.

## CONCLUSIONES

Se formularon y caracterizaron baños de repostería con ingredientes tradicionales (cacao, aceite y azúcar) y alternativos (maltodextrina, povidona y sucralosa) que fueron utilizados para recubrir galletitas dulces con la técnica de esparcimiento o *spreading*. De acuerdo a los resultados obtenidos, la sustitución total del aceite por una suspensión de maltodextrina 16% p/p y del azúcar por una solución de povidona 40% p/p con sucralosa, afecta tanto el proceso de secado como la adsorción de agua en condiciones

controladas de temperatura y humedad relativa ambiente de las galletitas comerciales recubiertas. Las propiedades fisicoquímicas determinadas a temperatura ambiente, tanto en las coberturas dulces fluidas como secas, se vieron parcialmente afectadas por dicha sustitución. De esta forma, los baños de repostería propuestos podrían ser una opción viable para recubrir alimentos panificados, obteniéndose productos con contenido calórico reducido.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Universidad Nacional del Litoral (UNL, Proyecto CAI+D 2024 85520240100005LI, Santa Fe, Argentina), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET, Proyecto PIP 2021-2023 GI 11220200100440CO, Argentina) y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Agencia I+D+i, Proyecto PICT 2019-209, Argentina) por la financiación recibida. Este trabajo forma parte de la Práctica Extracurricular en Investigación de la Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral (Código PE24C1-I01\_ID1004) y de la Beca Estímulo a las Vocaciones Científicas EVC-CIN del Consejo Interuniversitario Nacional (Res. P 501/2024) de Leticia C. Barge.

## REFERENCIAS

- Código Alimentario Argentino [CAA]. Ley 18284 de 1969, texto actualizado a noviembre de 2025. Capítulo X: Alimentos Azucarados (arts. 767-818). 18 de julio de 1969 (Argentina).
- Código Alimentario Argentino [CAA]. Ley 18284 de 1969, texto actualizado a mayo de 2025. Capítulo XVIII: Aditivos Alimentarios (arts. 1391-1406). 18 de julio de 1969 (Argentina).
- Bell, L. N. (2020). Moisture effects on food's chemical stability. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, y T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods* (2da ed., pp. 227-253). John Wiley & Sons, Inc.
- Buljat, A. M., Jurina, T., Jurinjak Tusek, A., Valinger, D., Gajdos Kljusuric, J. y Benkovic, M. (2019). Applicability of foam mat drying process for production of instant cocoa powder enriched with lavender extract. *Food Technology & Biotechnology*, 57(2), 159-170.
- Gao, Y., Zhao, Y., Yao, Y., Chen, S., Xu, L., Wu, N. y Tu, Y. (2024). Recent trends in design of healthier fat replacers: Type, replacement mechanism, sensory evaluation method and consumer acceptance. *Food Chemistry*, 447, 138982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138982>
- Ghosh, V., Ziegler, G. R. y Anantheswaran, R. C. (2005). Moisture migration through chocolate-flavored confectionery coatings. *Journal of Food Engineering*, 66(2), 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.012>
- Hidayanto, E., Tanabe, T. y Kawai, J. (2010). Measurement of viscosity and sucrose concentration in aqueous solution using portable brix meter. *Berkala Fisika*, 13(2), A23-A28. [https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala\\_fisika/article/view/2821](https://ejournal.undip.ac.id/index.php/berkala_fisika/article/view/2821)

- Kanyuck, K. M., Mills, T. B., Norton, I. T. y Norton-Welch, A. B. (2019). Temperature influences on network formation of low DE maltodextrin gels. *Carbohydrate Polymers*, 218, 170-178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.039>
- Labuza, T. P. y Altunakar, B. (2020a). Diffusion and sorption kinetics of water in foods. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, y T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods* (2da ed., pp. 287-309). John Wiley & Sons, Inc.
- Labuza, T. P. y Altunakar, B. (2020b). Water activity prediction and moisture sorption isotherms. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, y T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods* (2da ed., pp. 161-205). John Wiley & Sons, Inc.
- Loret, C., Meuniera, V., Fritha, W. J. y Fryer, P. J. (2004). Rheological characterisation of the gelation behaviour of maltodextrin aqueous solutions. *Carbohydrate Polymers*, 57(2), 153-163. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.03.026>
- Mendoza-López, R. y Vélez-Ruiz, J. F. (2025). Elaboration and characterizing of a chocolate milk prepared with a regional chocolate. *MOJ Food Processing & Technology*, 13(1):24-30. <https://medcraveonline.com/MOJFPT/MOJFPT-13-00320.pdf>
- Meza, B. E., Beuter, D. A., Brumovsky, L. A. y Peralta, J. M. (2021). Secado y estimación de coeficientes efectivos de difusión de recubrimientos con contenido reducido de azúcar. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 35, 54-60. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2021.35.007>
- Meza, B. E., González, M. P. y Peralta, J. M. (2023). Estimación de coeficientes efectivos de difusión de agua en galletitas comerciales. *Revista Argentina de Ingeniería*, 21(11), 95-100. <https://radi.org.ar/index.php/radi/article/view/98>
- Meza, B. E. y Peralta, J. M. (2020). *Engineering aspects of confectionery coatings in baked products*. En O. Lasekan (Ed.), *A Comprehensive Guide to Processed Foods* (pp. 113-128). Nova Science Publishers.
- Mitchell, H. (1996). The role of the bulking agent polydextrose in fat replacement. En S. Roller y S. A. Jones (Eds.), *Handbook of Fat Replacers*. CRC Press LLC.
- Muñoz-Labrador, A., Hernandez-Hernandez, O. y Moreno, F. J. (2024). A review of the state of sweeteners science: the natural versus artificial non-caloric sweeteners debate. *Stevia rebaudiana* and *Siraitia grosvenorii* into the spotlight. *Critical Reviews in Biotechnology*, 44(6), 1080-1102. <https://doi.org/10.1080/07388551.2023.2254929>
- Roller, S. (1996). Starch-derived fat mimetics: maltodextrins. En S. Roller y S. A. Jones (Eds.), *Handbook of Fat Replacers*. CRC Press LLC.
- Schweizer, P. M. (2022). *Premetered Coating Methods: Attractiveness and Limitations, Engineering Materials*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-04180-8>
- Shende, D. y Sidhu, G. K. (2015). Effect of process parameters on the oil recovery of maize germ oil. *International Journal for Science and Advance Research in Technology*, 1(8), 2395-1052.
- Stanciu, I. (2020). Dependence viscosity of temperature and shear rate for vegetable oil used as biodegradable lubricant. *Oriental Journal of Chemistry*, 36(3), 563-566. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/360329>

- Syan, V., Kaur, J., Sharma, K., Patni, M., Rasane, P., Singh, J. y Bhadariya, V. (2024). An overview on the types, applications and health implications of fat replacers. *Journal of Food Science and Technology*, 61(1), 27-38. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05642-7>
- Tapia M. S., Alzamora, S. M. y Chirife, J. (2020). Effects of water activity (aw) on microbial stability as a hurdle in food preservation. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, y T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods* (2da ed., pp. 323-355). John Wiley & Sons, Inc.
- Veena, N., Surendra Nath, B. y Sumit A. (2016). Polydextrose as a functional ingredient and its food applications: A review. *Indian Journal of Dairy Science*, 69(3), 239-251. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJDS/article/view/51101>