

Rodajas de plátano fritas impregnadas con calcio y reducidas en contenido lipídico

Jackeline Sarmiento Mendoza y Patricia Della Rocca

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Escuela de Posgrado y Centro de Tecnologías Químicas CTQ, Medrano 951 (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

patriciadellarocca@hotmail.com

Recibido el 12 de enero de 2023, aprobado el 20 de febrero de 2023

Resumen

El objetivo de este trabajo fue diseñar un *snack* de plátano (*Musa Paradisiaca*) fortificado en calcio (316 mg/100g), reducido en contenido de lípidos (5,3 g/100 g) y sodio (20,6 mg/100g). El tratamiento de las rodajas de plátano (chips) consistió en un pretratamiento por osmodeshidratación e impregnación simultánea (OD/I) con calcio durante 30 min. Posteriormente, las rodajas se recubrieron con una película de solución acuosa de carboximetilcelulosa, CMC, al 0,25 % para reducir la absorción de aceite durante la subsiguiente fritura. Los lípidos del *snack* poseen principalmente ácidos grasos insaturados: un 57,23 % de ácido graso linoleico y 25,9 % de ácido graso oleico.

PALABRAS CLAVE: SNACK DE PLÁTANO - PLÁTANO FORTIFICADO CON CA - SNACK REDUCIDO EN LÍPIDOS - RECUBRIMIENTO CON CMC

Abstract

The aim of this work was to design a banana (variety *Musa Paradisiaca*) snack fortified in calcium (316 mg/100g), reduced in lipid content (5,3 g/100g) and sodium (20,6 mg/100g). The treatment of the banana slices (chips) consisted of a pretreatment by osmodehydration and simultaneous impregnation (OD/I) with calcium during 30 min. Afterwards, they were covered with a film of carboxymethylcellulose, CMC (0.25 % in aqueous solution) to reduce oil absorption during later frying. The lipids in the snack have mainly unsaturated fatty acids: 57,23% linoleic fatty acid and 25,9% oleic fatty acid.

KEYWORDS: BANANA SNACK - BANANA FORTIFIED WITH CALCIUM - SNACK REDUCED IN LIPID - COATING WITH CMC

Introducción

La actual creciente demanda de productos nutritivos y saludables motivan a desarrollar productos alimenticios fortificados con minerales y vitaminas, reducido en lípidos y de bajo contenido en sodio. Los productos frutihortícolas, muy perecederos por su alto contenido en agua necesitan de procesos de conservación para extender su vida útil. Sin embargo, muchos nutrientes pueden dañarse durante estos procesamientos. Por ello, los intentos de búsqueda de condiciones de procesamiento que puedan provocar mínimas variaciones en el contenido de nutrientes de los alimentos. La aplicación de la deshidratación osmótica (osmodeshidratación) a los productos frutihortícolas como pretratamiento antes de otros procesos posteriores como la fritura, congelación, secado, liofilización, etc., resulta muy ventajosa, ya que permite disminuir parcialmente su humedad (extender su vida útil) y simultáneamente, adicionar minerales y vitaminas al producto a través de la solución de deshidratación/impregnación y mejorar sus características organolépticas.

Los productos fritos son muy apetecibles por sus características organolépticas y actualmente, los consumidores buscan alimentarse de forma saludable con bajo contenido en grasas y en sodio. El plátano verde, un fruto de la familia de las Musáceas, especie *Musa paradisiaca*, es originario del Sudoeste Asiático y puede consumirse frito. Sus características nutricionales y organolépticas mejoran luego de un proceso previo de deshidratación osmótica/impregnación con calcio y además un recubrimiento de carboximetilcelulosa para disminuir la absorción de aceite durante la fritura.

La especie *Musa Cavendishii* (banana) es comestible cuando está fresca, pero la *Musa Paradisiaca* (plátano) necesita cocinarse antes de comer debido a su alto contenido de almidón. El plátano es muy rico en minerales como potasio y magnesio pero pobre en calcio. Con el fin de mejorar la nutrición y características texturales, se añadió calcio durante la deshidratación osmótica. La deshidratación osmótica OD consiste en la parcial deshidratación e impregnación simultánea de los plátanos por inmersión en soluciones concentradas. De esta forma, la actividad del agua del producto se reduce, alargando su vida útil y se pueden añadir nutrientes como minerales para fortificar el fruto. Además, con el pretratamiento de deshidratación osmótica, el tiempo del proceso posterior necesario -como fritura, secado, congelación, liofilización, etc.-, para la obtención de un producto estable, con una reducida actividad de agua, disminuye.

Proceso de fritura

Durante la fritura de un alimento se producen varios cambios físicos y químicos. No todas las modificaciones que tienen lugar en el aceite y en el alimento durante la fritura son perjudiciales, algunos son responsables de que el producto frito adquiera sus propiedades sensoriales típicas.

Durante el proceso de fritura, las materias grasas sufren una serie compleja de reacciones tales como autooxidación, polimerización térmica, oxidación térmica, isomerización, ciclación e hidrólisis

Oxidación

Las reacciones de oxidación de los aceites se producen fundamentalmente en los ácidos grasos insaturados de los triglicéridos. El oxígeno atmosférico reacciona con el aceite en la superficie de contacto y ataca a los dobles enlaces y como consecuencia se pueden producir olores desagradables en los aceites. Es la única reacción química de deterioro que normalmente se desarrolla durante el período de almacenamiento. Algunos metales, tales como el cobre y el hierro, aceleran la oxidación de las grasas y deben ser evitados. A pesar de existir diferencias entre la alteración oxidativa que se produce a baja y a

alta temperatura, la principal vía de obtención de compuestos de oxidación incluye la formación de los hidroperóxidos.

Los hidroperóxidos formados pueden sufrir tres tipos principales de degradación: 1) Fisión: donde se producen alcoholes, aldehídos, ácidos e hidrocarburos. 2) Deshidratación: que produce cetonas. 3) Formación de radicales libres, que originan monómeros oxidados, dímeros y polímeros oxidables, trímeros, epóxidos, alcoholes, hidrocarburos, dímeros no polares y polímeros. Los productos finales estables incluyen compuestos carbonílicos de cadena corta, que son los responsables del sabor rancio y de las reacciones paralelas que conducen a un deterioro generalizado y a la formación de los polímeros.

Los cambios físicos y químicos que sufre la grasa de fritura se ven influidos por numerosos parámetros del proceso. Los compuestos formados dependen, obviamente, de la composición del aceite y de la del alimento a freír. Las elevadas temperaturas y largos períodos de fritura y los contaminantes metálicos promueven la descomposición del aceite. La oxidación del aceite es más rápida cuanto más elevado sea el cociente superficie-volumen. Se libera continuamente agua de éste que migra del alimento al aceite caliente, produciéndose un efecto de arrastre de la corriente de vapor de los productos volátiles de la oxidación del aceite. El agua liberada agita, además, el aceite y acelera la hidrólisis. La capa de vapor de agua formada sobre la superficie del aceite tiende a reducir la cantidad de oxígeno disponible para la oxidación. En el alimento, se pueden generar compuestos volátiles (por ej., compuestos azufrados y derivados de la pirazina) que pueden formarse también por interacción entre el alimento y el aceite. El alimento absorbe cantidades variables de aceite durante la fritura profunda. La presencia de alimentos acelera el oscurecimiento del aceite.

Durante la fritura, y a partir del aceite, pueden aparecer los siguientes compuestos:

Volátiles. Las reacciones oxidativas que implican la formación y descomposición de hidroperóxidos conducen a compuestos tales como aldehídos saturados e insaturados, cetonas, hidrocarburos, lactonas, alcoholes, ácidos y ésteres. La cantidad de productos volátiles varía ampliamente, dependiendo del tipo de aceite, el alimento y el tratamiento térmico, pero generalmente alcanzan un valor meseta, debido probablemente a que se alcanza un equilibrio entre la formación de volátiles y su pérdida por evaporación o descomposición.

Compuestos polares no poliméricos de volatilidad moderada (por ej., hidroxi y epoxiácidos). Estos compuestos se producen a lo largo de varias rutas oxidativas, en las que participan los radicales alcoxi.

Dímeros y polímeros de ácidos y glicéridos. Estos compuestos se generan por combinaciones térmicas y oxidativas de radicales libres. La polimerización produce un aumento sustancial de la viscosidad del aceite de fritura.

Ácidos grasos libres. Estos compuestos se producen por hidrólisis de los triacilgliceroles, por el calentamiento en presencia de agua.

La lipólisis o rotura (hidrólisis) de los enlaces éster de los lípidos (fundamentalmente triglicéridos) en presencia de agua produce ácidos grasos, diglicéridos, monoglicéridos y glicerol. Es una de las reacciones principales producidas durante la fritura profunda de los alimentos, debido a la gran cantidad de agua que estos aportan y a las temperaturas relativamente altas a las que se somete la grasa. El enriquecimiento en ácidos grasos libres durante la fritura suele acompañarse de un descenso en el punto de humo y en la tensión superficial del aceite, así como de una merma de la calidad del producto frito. Los ácidos grasos libres son más susceptibles a la oxidación que cuando se encuentran esterificando al glicerol (Fennema, 2017).



Fig. 1. Reacciones principales y compuestos formados durante la fritura (Juárez y Sammán, 2007)

Existen dos maneras básicas para la realización de una fritura:

a) Fritura superficial: emplea una pequeña cantidad de aceite en un recipiente poco profundo y se expone al alimento por un periodo corto de tiempo.

b) Fritura por inmersión: se utiliza un recipiente hondo donde el alimento es sumergido completamente en el aceite previamente calentado (Caspary, 2022). Este proceso implica cambios químicos y físicos en los alimentos que incluyen gelatinización de almidones, desnaturalización de proteínas, vaporización de agua y formación de corteza.

Deterioro de aceites y formación de compuestos polares

Durante la fritura, los ácidos grasos se desdoblán de la glicerina, formándose, además de los ácidos grasos libres, entre otras cosas, los mono y diglicéridos, triglicéridos poliméricos o productos de degradación oxidativa, como aldehídos y cetonas. Se agrupan bajo el nombre de componentes polares totales y se usan como una medida para conocer el grado de descomposición del aceite.

En los aceites con un alto contenido de componentes polares, el agua puede escapar más rápido a través de ella y el producto se seca más rápido. Debido a la rápida pérdida de agua, la cubierta protectora de vapor desaparece también al mismo tiempo, de modo que el aceite tiene un contacto más prolongado con la superficie del alimento. Como resultado, penetra más aceite al interior de la fritura.

Factores que afectan la absorción de aceite

Los recubrimientos comestibles son capas delgadas elaboradas a partir de diferentes tipos de materiales poliméricos, aplicados de forma directa sobre el alimento (De Ancos, González-Peña, Colina-Coca, Sánchez-Moreno, 2015). Esta aplicación superficial se realiza de forma tradicional por métodos de inmersión, rociándolos directamente o cepillándolos con polímeros considerados como seguros (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) y que cumplen con las regulaciones establecidas para el alimento (Dhall, 2013; Rosero *et al.*, 2020).

Los recubrimientos de hidrocoloides permiten reducir el contenido graso de los alimentos, ya que actúan como barrera a los lípidos. Entre los hidrocoloides más estudiados se destacan los derivados de la celulosa, principalmente metilcelulosa e hidroxipropil-

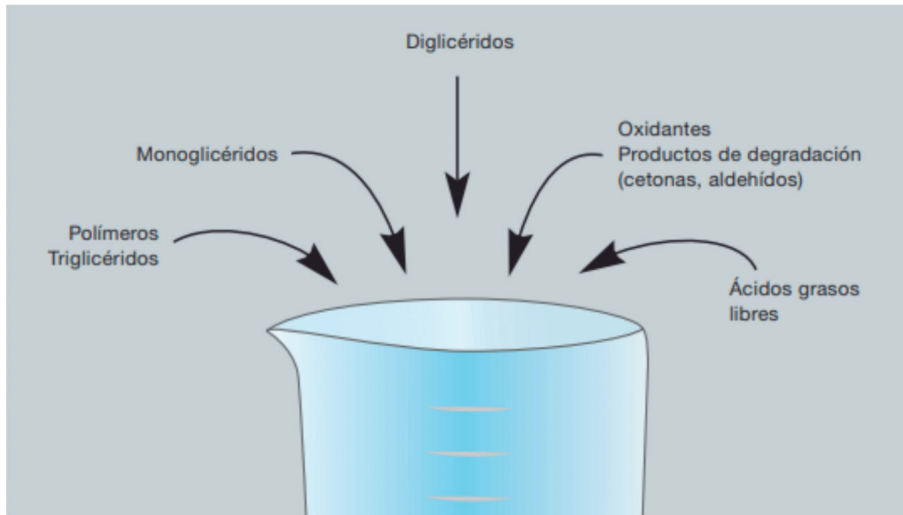


Fig. 2. Componentes Molares Totales formados en el aceite durante la fritura (Testo, 2015)

metilcelulosa (1, 2, 3, 4, 5). Las formulaciones para recubrimientos comestibles deben incluir un componente capaz de formar una matriz cohesiva y continua; generalmente es necesaria la incorporación de un plastificante para mejorar sus propiedades físicas (Tavera Quiroz *et al.*, 2010).

La carboximetilcelulosa, es empleada en la industria ya que tiene un carácter hidrofílico el cual le proporciona alta viscosidad en soluciones diluidas, presenta también buenas propiedades para formar películas y excelente comportamiento como coloide protector y adhesivo, su capacidad de formar recubrimientos fuertes y resistentes al aceite la hace de gran importancia en situaciones donde se busca obtener un producto con menor contenido de grasa.

Los agentes humectantes se relacionan con el deterioro del aceite, ya que la composición del mismo se va modificando durante el proceso generando compuestos polares que reducen la tensión superficial entre aceite y agua, aumentando la absorción de aceite (Brannan, 2014). El tipo de aceite/grasa que se utiliza también influye en la absorción. Los aceites de alto contenido de ácido graso oleico presentan mayor estabilidad en su estructura química al ser sometidos a altas temperaturas, es el caso del aceite de oliva y los aceites modificados genéticamente como el de girasol y cártamo "alto oleico" (Tirado *et al.*, 2012). Así mismo, el incremento del área de contacto del alimento con el aceite, tendrá una mayor incidencia en la absorción durante la fritura.

Algunos de los pre y post tratamientos utilizados para reducir la absorción de aceite son la deshidratación osmótica, tecnologías innovadoras como el campo de pulso eléctrico y radiación infrarroja, recubrimientos superficiales de las matrices tratadas, procesamiento de fritura por vacío asistida por microondas o mediante convección de aire y diferentes secados posteriores a la fritura.

Luego de la fritura, cuando comienza el enfriamiento del alimento, la presión del vapor disminuye y se produce un efecto de succión (vacío), que contribuye a que el aceite depositado en la superficie pueda atravesar la costra.

Rodríguez *et al.* (2013) estudió la aplicación de deshidratación osmótica previo a la fritura, en *snacks* de banano. Las muestras presentaron menor absorción de lípidos que aquellas que no tenían el pretratamiento.

Objetivo principal

Diseñar un *snack* de plátano fortificado en calcio y con bajo contenido lipídico y de sodio. El propósito es poder aportar calcio a través del consumo de un producto no lácteo. De esta manera, se tiene en cuenta las necesidades de ingestión de este mineral por aquellas personas que restringen parcial o totalmente el consumo de lácteos por problemas gastrointestinales.

Se pretende obtener un producto deshidratado con mejores propiedades nutricionales, color y textura que el fresco. Otras ventajas adicionales son su elaboración con procesos sustentables de bajo consumo energético y la posibilidad de obtener un producto con mayor valor agregado.

Según el artículo 1363 del Código Alimentario Argentino, CAA, se entiende por Alimentos Fortificados aquellos alimentos en los cuales la proporción de proteínas y/o aminoácidos y/o vitaminas y/o sustancias minerales y/o ácidos grasos esenciales es superior a la del contenido natural medio del alimento corriente, por haber sido suplementado significativamente. La porción del alimento fortificado deberá aportar entre un 20 % y 50 % para minerales de los Requerimientos Diarios Recomendados.

Objetivos específicos

- Impregnar el plátano con calcio a través de un proceso de deshidratación osmótica, DO a presión atmosférica.
- Modelar matemáticamente el proceso de DO/impregnación a través de modelos de Magee y de Crank y estimar el coeficiente de difusividad efectiva del agua, al aplicar este último a los datos experimentales cinéticos.
- Recubrir el plátano con un material polimérico antes de la fritura para reducir la absorción de aceite de la fritura. (se probaron tres polímeros: carboximetilcelulosa, pectina y alginato de sodio).
- Analizar el efecto del tipo de proceso de fritura: inmersión o superficie en el contenido grasa final.
- Seleccionar un tiempo y temperatura de proceso óptimo para la fritura en el que el aceite no llegue a deteriorarse y se forme la menor cantidad de compuestos polares totales posibles.
- Analizar la degradación del aceite de fritura por espectroscopía infrarroja.
- Continuar la deshidratación de los plátanos hasta alcanzar una humedad del 25 % (valor sugerido por el Código Alimentario Argentino).
- Determinar la composición química del producto final (*snack*).
- Determinar el perfil de ácidos grasos presentes en el producto (*snack*).

Parte Experimental

Materiales

Materia Prima

Plátano (*Musa Paradisiaca*) y banana (*Musa Cavendishii*): se compraron en comercios minoristas de verduras de CABA, buscando tamaños similares para lograr láminas homogéneas.

Agua destilada

Sacarosa: se empleó azúcar blanca comercial, marca Ledesma.

Cloruro de calcio, marca Biopak

Ácido ascórbico, marca Biopack, grado farmacéutico y alimenticio (USP) (*United States Pharmacopeia*).

Carboximetilcelulosa sódica, marca de MG Química.

Aceite de girasol comercial de la marca Cañuelas.

Métodos

Los plátanos fueron pelados y cortados en rodajas de 5 mm de espesor. Las condiciones de operación de las experiencias de DO fueron: concentración de sacarosa: 40 % m/m, cloruro de calcio 5 % m/m, ácido ascórbico 5 % m/m, ácido cítrico 1 % m/m (55 °Brix), temperatura: 40 °C, proporción de solución en masa a producto en masa 4/1 y nivel de agitación: 120-130 rpm. Se determinó la impregnación de calcio del producto, los cambios en la concentración de sólidos solubles (°Brix) de la solución y del producto y la humedad en ambas especies *Musa Paradisiaca* y *Musa Cavendish* durante el tiempo de osmodeshidratación/impregnación. Las concentraciones de calcio en el producto se midieron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica de llama, °Brix mediante un refractómetro. La humedad se determinó por el método gravimétrico (A.O.A.C., 1996). Se estudió la cinética de DO. Se aplicaron dos modelos matemáticos para el ajuste de los datos experimentales. Ellos fueron: Modelo de Crank, basado en la segunda ley de difusión de Fick y el modelo empírico de Magee, apropiado para tiempos de proceso cortos, donde la transferencia de masa ocurre principalmente por el mecanismo difusional y es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo.

Antes de freírse, se sometió al producto a un proceso de deshidratación osmótica/impregnación (DO/I) durante 30 minutos para reducir el contenido de humedad en un 38 % respecto de su valor inicial y para fortificarlo con calcio

El contenido lipídico se realizó por extracción Soxhlet (AOAC, 1990, 15^o Edición). La degradación del aceite durante la fritura se determinó a través de la medición de los componentes polares totales (TPM, por sus siglas en inglés) y por espectroscopía infrarroja. Los componentes polares totales se midieron con un medidor capacitivo TESTO 270 y los espectros infrarrojos en un equipo Perkin Elmer, Spectrum Two.

Modelado del proceso de osmodeshidratación

Modelo de Magee

$$PA = K_A t^{0.5} + K_{A0} \quad (1)$$

PA: pérdida de agua

t: tiempo

K_A y K_{A0} : parámetros cinéticos empíricos a los que se les puede asignar un significado físico.

El parámetro K_A se asocia con la velocidad de transferencia de agua que ocurre mediante el mecanismo osmótico-difusional puesto que la transferencia de masa que ocurre por mecanismos difusionales es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo en procesos cortos. K_{A0} cuantifica la pérdida de agua que ocurre después de tiempos cortos también debido a la acción del modelo hidrodinámico, HDM, provocado por presiones impuestas o capilares (Giraldo *et al.*, 2003).

Este modelo es válido a tiempos cortos durante las primeras etapas del proceso de osmodeshidratación en las cuáles las modificaciones más significativas se producen en estos lapsos de tiempo en los procesos industriales (Serenó *et al.*, 2001)

Modelo de Crank

Es un modelo fenomenológico que se aplica para representar el proceso de osmodeshidratación a presión atmosférica. Consiste en un grupo de soluciones de la segunda ley de Fick para diferentes geometrías, condiciones límite y condiciones iniciales en estado estacionario y que describe el mecanismo difusional (Crank, 1975).

Mediante este modelo, se estiman los coeficientes de difusividad efectiva del agua, simulando los experimentos con condiciones límites y resolviendo las ecuaciones analítica

o numéricamente, pero las suposiciones que se hacen no siempre son fáciles de lograr. Las limitaciones del modelo de difusión de Fick para propósitos prácticos son: (1) se asume un cuerpo semi-infinito por lo tanto la transferencia de masa es unidireccional, (2) se asume que el agente osmótico es un medio semi-infinito, por lo tanto se requiere una relación disolución/alimento muy grande, (3) aunque tiene en cuenta la forma y las dimensiones, sólo hay soluciones analíticas para láminas planas, cilindros, cubos y esferas, entonces se requieren técnicas numéricas para materiales irregulares, (4) el punto de equilibrio tiene que determinarse experimentalmente, (5) se asume que sólo se presenta el mecanismo de difusión para la extracción de agua, (6) no hay efecto de los sólidos ganados ni de los solutos perdidos sobre la pérdida de agua, (7) se desprecia el encogimiento debido a la transferencia de masa y (8) se desprecia la resistencia externa a la transferencia de masa, pero esto no se puede lograr a baja temperatura ni a alta concentración de soluto (Parjoko *et al.*, 1996; Ochoa-Martínez y Ayala-Aponte, 2005)

La ecuación para láminas infinitas de semi espesor L es:

$$\ln \left[\frac{H - H_e}{H_0 - H_e} \right] = \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \right) - \frac{D_{ef} \pi^2}{4L} t \quad (2)$$

Donde:

D_{ef} : es el coeficiente efectivo de difusión de agua en m^2/s

L: es el semiespesor de la rodaja, m

t: es el tiempo, s

H_0 y H_t : son la humedad inicial y en el instante de tiempo t, respectivamente

H_e : es la humedad en el equilibrio. Se consideró cero.

Esta ecuación fue la que se empleó para representar la pérdida de agua en las rodajas de plátano y de banana.

Fritura

Las muestras de plátano previamente pretratadas por deshidratación osmótica/impregnación fueron recubiertas con una solución acuosa de CMC al 0,25% m/m por aspersion. Se realizó un secado posterior al recubrimiento bajo dos condiciones diferentes: un secado combinado en horno microondas con convección con aire caliente con una potencia 1000W por 4 minutos y otro un secado por convección con aire caliente a 70 °C durante 10 minutos. Posteriormente se llevó a cabo la fritura. Se realizó una búsqueda de temperatura y tiempo óptimo de fritura que reduzca la absorción de aceite en el producto. Para determinar los parámetros adecuados para el producto final, se realizaron pruebas de fritura en un rango de 160 °C - 180 °C y se consideraron tiempos de proceso entre 2 a 5 minutos.

Determinación de lípidos por Soxhlet

El disolvente utilizado fue éter de petróleo (35-60 °C). La muestra se dejó durante 3 horas.

En el producto final (*snack*) se realizaron los siguientes ensayos:

Determinación de Humedad. Se realizó por secado en estufa a 100 °C según Método AOAC 934.01 - 17 ed.

Determinación de Proteínas. Se empleó factor de conversión de nitrógeno 6,25. Se realizó la determinación por el Método AOAC 984.13 - 17 ed.

Determinación de Carbohidratos. Se calculó por diferencia como: $100 - (\% H + \% C + \% G + \% P + \% F)$

Determinación de Lípidos. En el producto final (*snack*) se realizó por hidrólisis ácida según Método AOAC 954.02 - 17 ed.

Determinación de Fibra, según Método AOAC 985.29.



Fig. 3. Equipo de Soxhlet para extracción de lípidos

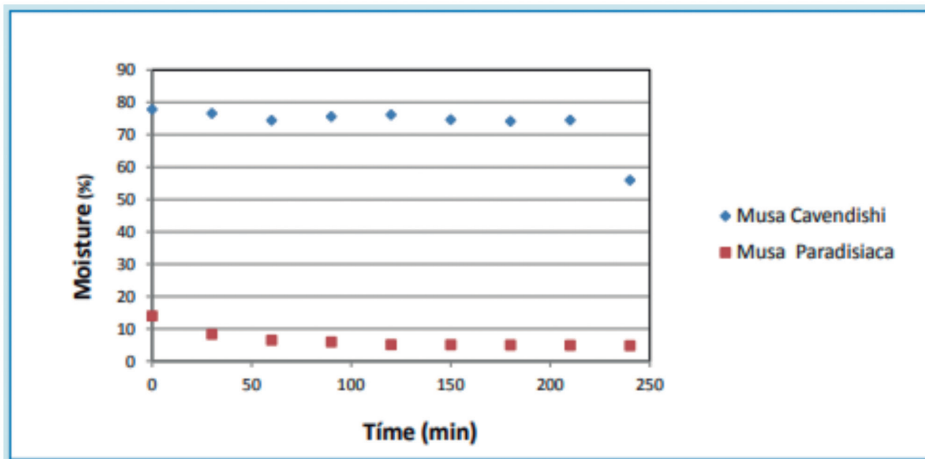


Fig. 4. Humedad en función del tiempo durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación

Determinación de Cenizas, Método AOAC 942.05. Calcinación en mufla a 600 °C por un tiempo de 2 horas.

Determinación de concentraciones de Ca impregnado. La concentración de Ca de las muestras impregnadas en diferentes tiempos de deshidratación osmótica se determinó por el método ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma de Acoplamiento Inductivo).

Determinación de sodio. Se realizó un tratamiento previo según Método AOAC 968.08 y la posterior cuantificación por espectrofotometría de emisión de llama.

Resultados y Discusión

En la Figura 4 se presenta la variación de la humedad durante el proceso de deshidratación osmótica/impregnación. En estado fresco, la especie Musa Paradisiaca presenta una humedad muy baja, 14 %m/m, significativamente menor que Musa Cavendishi, 77,8 %m/m.

Si se grafica el primer miembro de la ecuación (2) versus el tiempo de osmodeshidratación, empleando los datos experimentales, se obtiene aproximadamente una recta como en la

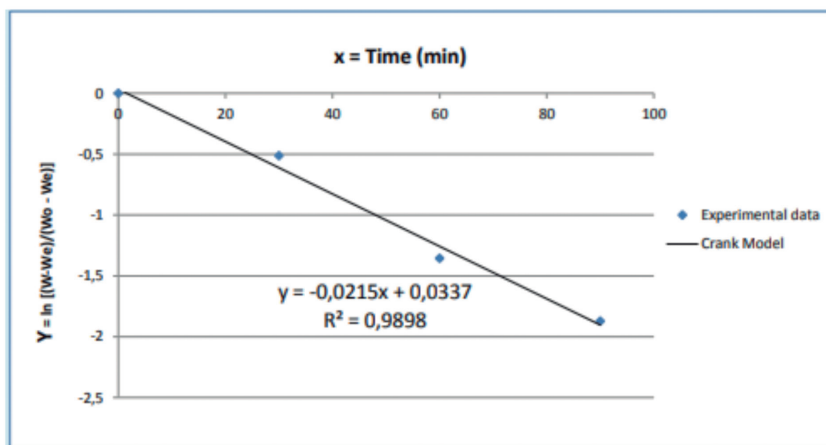


Fig. 5. Resultados experimentales y regresión lineal del modelo de Fick para la difusión del agua, en la deshidratación osmótica de la variedad Musa Paradisiaca

Tabla 1. Parámetros del modelo de Magee para Las variedades Musa Cavendishii y Musa Paradisiaca

Parameters	Musa Cavendishii	Musa Paradisiaca
K_A ($h^{-0.5}$)	9.028	9.649
K_{AO}	0.919	0.482
R^2	0.977	0.985

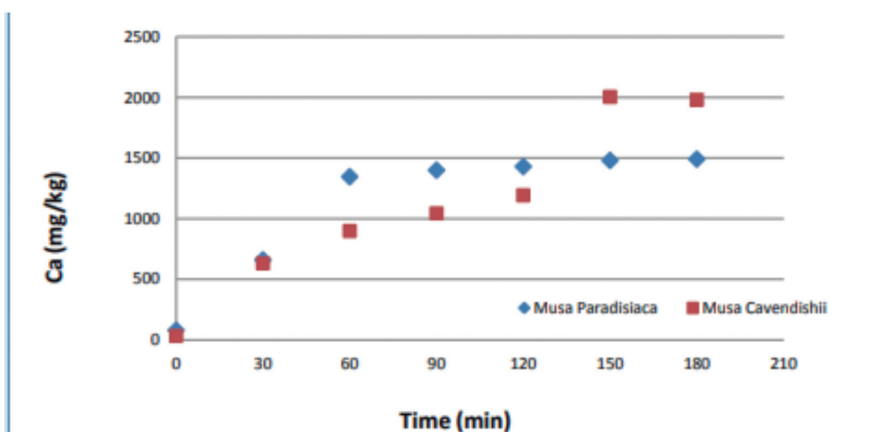


Fig. 6. Absorción de calcio en las variedades Musa Paradisiaca y Musa Cavendishii para los diferentes tiempos de osmohidratación/imregnación

Figura 5. A partir de la pendiente de la recta se calcula el coeficiente de difusión efectivo del agua.

Los coeficientes de difusión de agua calculados están en el rango de $1,12-1,20 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ para el Musa Paradisiaca y $0,32-0,50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para el Musa Cavendishii.

En la Tabla 1 se presentan los parámetros cinéticos del modelo de Magee. La velocidad de transferencia de agua que se produce a través del mecanismo osmótico-difusional es similar en ambas variedades. La pérdida de agua por capilaridad, K_A , es un 50 % mayor en Musa Cavendishii.

La variación en el contenido de calcio en el producto osmohidratado/imregnado durante el tiempo se presenta en la Figura 6. La absorción de calcio durante el proceso de deshidratación osmótica para el plátano (Musa Paradisiaca) se ameseta más rápidamente

que la banana (*Musa Cavendish*). En la *Musa Paradisiaca* durante la primera hora se produce casi la mayor absorción, luego la velocidad de absorción decrece con el tiempo y los valores se mantienen prácticamente constante a partir de los 1,5 h. Al cabo de 1 h, la absorción de Ca por el producto es de 1346 mg/kg (90 % del valor máximo absorbido a las 3 h). En la variedad *Musa Cavendishii* se alcanza el máximo valor luego de las 2,5 h. Al cabo de tres horas de proceso la *Musa Cavendishii* absorbe mayor cantidad que la *Musa Paradisiaca*. Los valores presentan una diferencia del 25 %. Este resultado se condice con la menor porosidad de la variedad *Musa Paradisiaca*.

En la Figura 7 se presentan los espectros infrarrojos del aceite de girasol en el aceite crudo (sin freír), en el aceite sometido a fritura por inmersión y al aceite de fritura superficial.

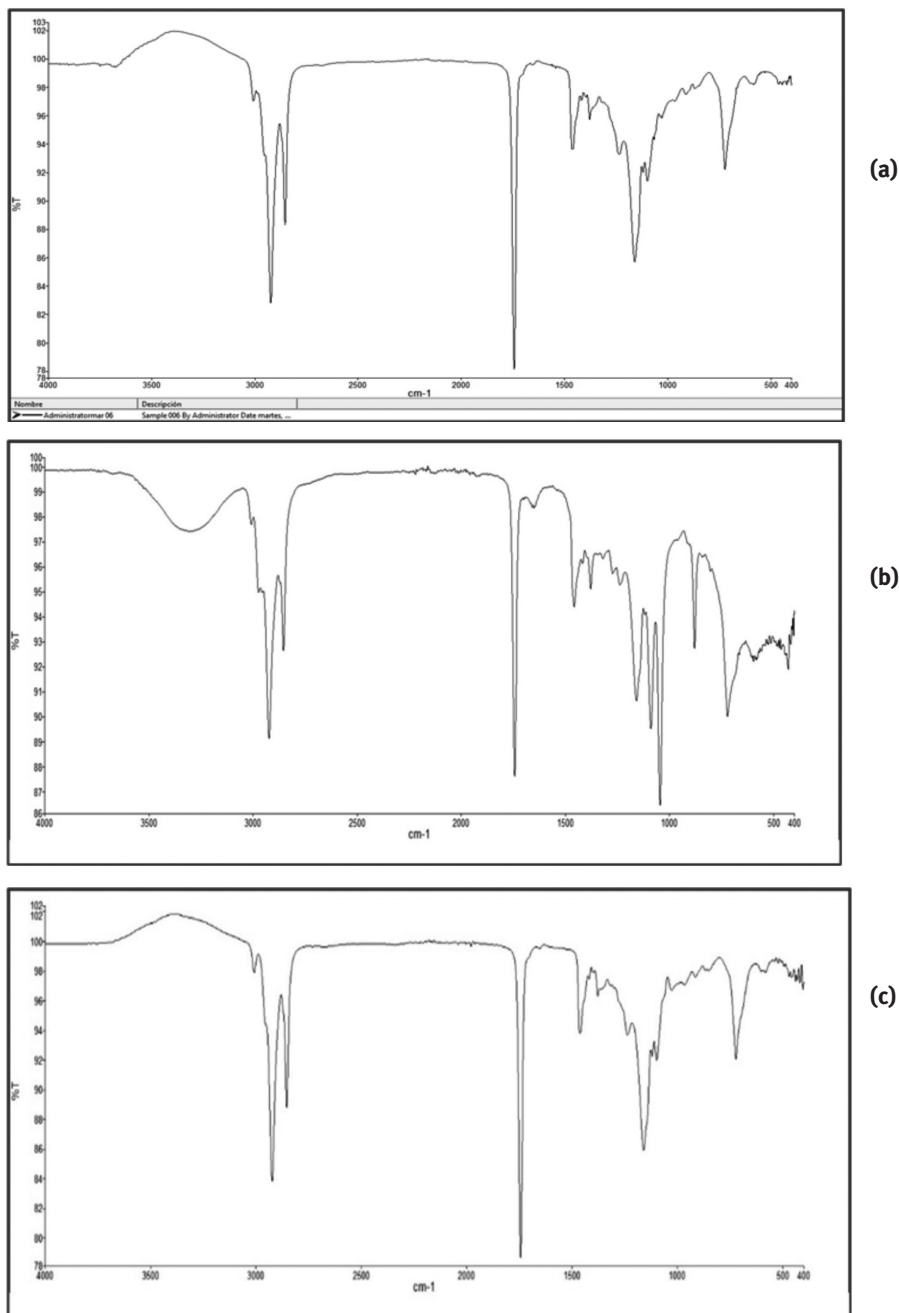


Fig. 7. Espectroscopías infrarrojas de aceite de girasol: (a) Fritura por inmersión, (b) Fritura en Superficie y (c) Aceite de girasol crudo (sin freír)

El espectro infrarrojo del aceite sometido a fritura por inmersión resultó similar al del aceite sin freír (a y c), tanto en el caso del aceite de girasol como del aceite de maíz. Esto evidenció un menor proceso de deterioro en la fritura por inmersión respecto del aceite usado en la fritura por superficie.

A medida que aumenta el grado de oxidación del aceite aparece una banda 3500-3550 cm⁻¹ debida a la oxidación de los ácidos grasos insaturados presentes en los aceites. A la temperatura y tiempo de trabajo no se observaron bandas correspondientes a grupos funcionales característicos del compuesto acrilamida, potencial cancerígeno.

En la Tabla 2 se presentan los valores de contenido de lípidos en el producto sometido a un proceso de fritura por inmersión y a un proceso de fritura de superficie.

Se puede apreciar que en la fritura por inmersión se absorbe menos cantidad de aceite, un 50 % menos que en la fritura de superficie.

Recubrimientos poliméricos

Luego de analizar la absorción de lípidos en el producto recubierto con los diferentes materiales poliméricos se seleccionó la carboximetilcelulosa ya que con este recubrimiento la absorción fue significativamente menor que cuando se aplicaron la pectina y el alginato de sodio.

Los plátanos fueron recubiertos con carboximetilcelulosa (CMC) por aspersión con solución acuosa de CMC al 0,25 % m/m.

En la Figura 8 se puede apreciar las rodajas de plátano fritos luego del recubrimiento.

Temperatura y tiempo óptimo de fritura

La temperatura y el tiempo óptimos para la obtención del producto final (*snack*) con características deseables tras el proceso de fritura y las pruebas realizadas fue de 170° C

Tabla 2. Contenido lipídico del producto obtenido por fritura por inmersión y por fritura de superficie

Producto frito en aceite de girasol con pretratamiento por DO durante 1 h	Contenido lipídico (%)
Método por inmersión	5,3
Método de superficie	10,7



Fig. 8. Equipo de fritura por inmersión y rodajas de plátano frito

Tabla 3. Contenido de lípidos del plátano sometido a diferentes tratamientos Pretratamiento

Pretratamiento		Contenido de lípidos (%)
Sin DO	Sin CMC	0,95
Sin DO	CMC al 0,25% por aspersión	0,92
30'DO	CMC al 0,25% por aspersión	0,75
Sin DO	CMC 0,5 % + glicerina 0,5 % por inmersión	0,94
30'DO	CMC 0,5 % + glicerina 0,5 % por inmersión	0,88
Sin DO	CMC 0,5 % por inmersión	0,91
30'DO	CMC 0,5 % por inmersión	0,86

Tabla 4. Composición nutricional del producto final (snack)

	g por cada 100 g de producto (snack)
Humedad	9,4
Carbohidratos	72,9
Proteínas	1,8
Materia grasa	5,3
Cenizas	1,8
Fibra dietaria total	8,8
Insoluble	7,0
Soluble	1,8

Tabla 5. Contenido mineral (calcio y sodio) del producto final (snack)

Minerales	mg por cada 100 g de producto (snack)
Calcio	316
Sodio	20,6

durante 3 minutos, estos parámetros permitieron que el producto tenga la menor cantidad absorción de lípidos.

En la Tabla 3 se presenta el contenido de lípidos del plátano luego de su fritura a T: 170 °C y tiempo: 3 minutos que fue sometido a diferentes tratamientos antes: con y sin tratamiento de deshidratación osmótica (DO), con y sin recubrimiento de carboximetilcelulosa (CMC) a distintas concentraciones (0,25 y 0,5 %) en solución acuosa, con y sin plastificante (glicerina) y con diferentes métodos de recubrimiento: aspersión e inmersión.

Se puede apreciar que el menor contenido de lípidos se obtiene con una deshidratación osmótica de 30 minutos y un recubrimiento por aspersión de carboximetilcelulosa en una solución acuosa del 0,25 %.

Componentes polares totales

El aceite de girasol alcanzó valores de contenido total de componentes polares en un rango de 8-10 %, dependiendo del tiempo y temperatura alcanzado. El valor mínimo (9,5) se obtuvo a una temperatura de 170 °C y un tiempo de 3 minutos.

Composición nutricional del producto final (snack)

En la Tabla 4 se presenta la composición nutricional y en la Tabla 5 el contenido mineral (calcio y sodio) del producto final (snack)

Tabla 6. Perfil de ácidos grasos del producto final (snack)

Ácido graso	Nomenclatura	Gramos cada 100 gramos de materia grasa
caprilico	(8:0)	0,14
Mirístico	(14:0)	0,15
Palmitico	(16:0)	8,66
Palmitoleico	(16:1) cis	0,18
Estearico	(18:0)	4,13
Oleico	(18:1) n-9	25,90
Cis-octadecenoico	(18:1) cis	1,41
Trans de linolenico	(18:2) trans	0,52
Linoleico	(18:2) n-6	57,23
Araquídico	(20:0)	0,25
Gadoelico	(20:1) cis	0,11
Linolénico	(18:3) n-3	0,69
Behénico	(22:0)	0,43
Lignocérico	(24:0)	0,10
Picos menores no identificados		0,10
Total ácidos grasos saturados		13,86
Total ácidos grasos monoinsaturados		27,6
Total ácidos grasos poliinsaturados		58,02
Total ácidos grasos trans		0,52

Método: Determinado por cromatografía gaseosa
 Cromatógrafo: Perkin Elmer Claurus 500
 Columna: Supelco SP 2560 100 m x 0,25 mm x 0,20 µm

Gas carrier: Helio
 Detector FID 280 °C
 Derivatización: Norma IRAM 5650 Parte II

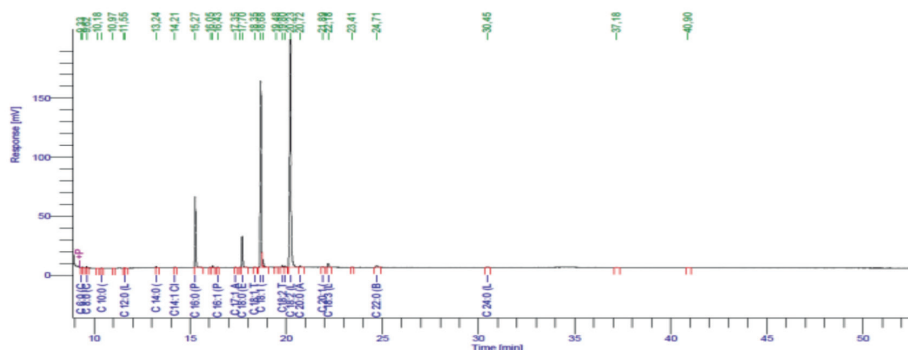


Fig. 9. Cromatograma del perfil de ácidos grasos en el producto final (snack)

En la Tabla 6 se puede apreciar el perfil de ácidos grasos en el producto final (*snack*).

En el total de lípidos del producto final (*snack*), la presencia del total de ácidos grasos insaturados (monoinsaturados 27,6 % y poliinsaturados 58,06%) es mayor que la de saturados (13,86 %). También se encontró que entre los ácidos grasos saturados los de mayor porcentaje fueron: palmítico (8,66 %) y estearico (4,13 %) y entre los ácidos grasos insaturados: oleico (25,90 %) y linoleico (57,23 %). El orden general encontrado de contenido de ácidos grasos fue el siguiente: ácido linoleico > ácido oleico > ácido palmítico > ácido estearico.

En la Figura 9 se pueden apreciar el cromatograma para la determinación del contenido de ácidos grasos en el producto final (*snack*) y sus correspondientes tiempos de retención.

Conclusiones

La deshidratación osmótica/impregnación, DO/I, mejora las características organolépticas y nutricionales del producto, reduce la absorción de aceite durante la fritura y, además, alarga la vida útil del producto (*snack*). Este pretratamiento previo del plátano provee un producto con menor contenido lipídico que el obtenido sin pretratamiento. Productos similares ofrecidos en el mercado sin DO/I, poseen valores de lípidos superiores del orden del 30-35 %. Al disminuir su contenido en agua y aumentar

en calcio, se favorece una menor absorción de aceite en el producto durante el proceso de fritura, ya que el aceite que ingresa al alimento reemplaza al agua que egresa de él. Este producto fortificado con calcio puede considerarse un alimento funcional puesto que es capaz de ejercer un beneficio en la salud o prevenir la incidencia de algunas patologías en el consumidor, más allá de los aportes realizados a la nutrición básica. El calcio cumple una importante función en la estructura ósea y dentaria, la coagulación sanguínea, la contracción y la relajación muscular y también en la transmisión nerviosa. Los niveles recomendados de ingesta de calcio para la mayor parte de la población, es entre 1000 y 1300 mg diarios de calcio.

Los modelos cinéticos para describir el proceso de deshidratación osmótica: de Crank y de Magee, ajustaron satisfactoriamente los datos experimentales. Los coeficientes de difusión de agua calculados están en el rango de $1,12-1,20 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ para la variedad Musa Paradisiaca y $0,32-0,50 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ para la variedad Musa Cavendishii. La diferencia en los valores de los coeficientes efectivos de difusión del agua entre las dos variedades Musa Paradisiaca y Musa Cavendishii, podrían atribuirse a una estructura más abierta de la última, es decir una porosidad mayor.

Entre los métodos de frituras convencionales, se obtienen mejores resultados con la fritura por inmersión que con la fritura de superficie, ya que se produce menor contenido de componentes polares totales en el aceite y se obtiene un producto con menor contenido lipídico. Los componentes polares totales que se forman en el aceite durante la fritura superficial favorecen la impregnación del alimento con aceite y por consiguiente aumenta su contenido lipídico.

El aceite alcanzó valores de contenido total de componentes polares en un rango de 8-10 %, dependiendo del tiempo y temperatura alcanzado. Los valores mínimos se obtuvieron a temperaturas de 170 °C y 3 minutos. Durante el proceso de fritura, en las grasas con un alto contenido de sustancias polares, el agua puede escapar del alimento más rápido a través de ellas y el producto se seca a mayor velocidad. Debido a la rápida pérdida de agua, la cubierta protectora de vapor desaparece también al mismo tiempo, de modo que el aceite tiene un contacto más prolongado con la superficie del alimento. Como resultado, penetra más aceite al interior de la fritura.

En el aceite de fritura no se detectó la formación de acrilamida en el tiempo y temperatura de procesamiento. Esta afirmación se pudo constatar al analizarlo por espectroscopía infrarroja.

Este *snack* puede considerarse de “Muy bajo contenido en sal/sodio”, ya que posee 20,6 mg /100 g de producto (para que un alimento sea considerado Muy bajo en sodio debe poseer menos de 40 mg de sodio (o 100 mg de sal) por cada 100 g).

Las papilas gustativas de una persona pueden acostumbrarse a menos sal, consumiéndola en menores cantidades. De esta forma, se puede apreciar una gama más amplia de sabores de una manera más saludable. El consumo excesivo de sodio es un factor de riesgo para enfermedades como las cardiovasculares, renales y obesidad, las cuales afectan a la población en general, independientemente del sexo o nivel socioeconómico y que se presentan en cualquier país independientemente del grado de desarrollo.

Este trabajo podría contribuir a la elección de tecnologías de procesamiento de frutas para la elaboración de *snacks* que puedan redundar en un beneficio para la salud.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud, OMS acerca de la necesidad de un mayor consumo de vegetales, se puede incentivar el consumo de frutas a través de un *snack* de bajo contenido lipídico, reducido en sodio y que también puede contribuir a prevenir algunas carencias nutricionales de la población.

Referencias

BRANNAN, R.; MAH, E.; SCHOTT, M.; YUAN, S.; CASHER, K.; MYERS, A. y HERRICK, C., (2014). Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116 (3), 240-54. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200308>

CRANK, J., (1975). *The mathematics of diffusion*, Second Edition, UK. Oxford University Press.

CASPARY, J.V., (2022). Formulación de un snack a partir de rodajas de remolacha de bajo contenido lipídico fortificada en hierro. Tesis de Maestría en Tecnología de los Alimentos de la UTN, FRBA.

DE ANCOS, B.; GONZÁLEZ-PEÑA, D.; COLINA-COCA, C. y SÁNCHEZ-MORENO, C., (2015). Uso De Películas/Recubrimientos Comestibles En Los Productos De Iv Y V Gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8–17.

DHALL, R., (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>

FENNEMA, O., (2017). *Fennema's Food Chemistry*. 5th Edition. CRC Press. Boca Raton.

GIRALDO, G.; TALENS, P.; CHIRALT, A. y FITO, P., (2003). Influence of sucrose solution concentration kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*. 58. 33-43.

JUAREZ, M. y SAMMÁN, N., (2007). El deterioro de los aceites durante la fritura. *Rev Esp NutrComunitaria*, 13(2). 82-94

OCHOA MARTÍNEZ, C.I. y Ayala, A.(2005). Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 4(5=, 330-342.

PARJOKO, K. A.; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A. y PERERA, C. O., (1996). Osmotic Dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 29, 452-459

RODRIGUEZ, D. L. P.; ZULUAGA, C. L.; PUERTA, L. F. y RUIZ, L. V., (2013). Evaluación de parámetros fisicoquímicos en el proceso de fritura de banano osmodeshidratado. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 123-129. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a15.pdf>. Acceso: junio 2022.

ROSERO, A.; ESPINOZA MONTERO, P. y FERNÁNDEZ, L., (2020). Recubrimientos comestibles con materiales micro/nanoestructurados para la conservación de frutas y verduras: una revisión. *InfoANALÍTICA*. Vol 8. Nº 2.

SERENO, A. M.; MOREIRA, R. y MARTÍNEZ, E., (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apples in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering*.47. 43-49.

TAVERA QUIROZ, M., URRIZA, M., PINOTTI, A. y BÉRTOLA, N., (2010). Recubrimientos comestibles para disminuir la absorción de aceite en papas tipo chips. II Jornadas Agrobioenvase, Buenos Aires, Argentina.

Testo AG., (2015). *Medición del aceite de fritura*. Cartilla Práctica.

TIRADO, D. F.; ACEVEDO CORREA, D. y GUZMÁN ENRIQUE, L., (2012). Freído por inmersión de los alimentos. *Revista ReCiTeLA*, 12(1), 72-82. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/258519821_Freido_por_inmersion_de_los_alimentos. Acceso: mayo 2022.