



Journal Homepage: - www.journalijar.com
**INTERNATIONAL JOURNAL OF
 ADVANCED RESEARCH (IJAR)**

Article DOI: 10.21474/IJAR01/5501
 DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/5501>



RESEARCH ARTICLE

ALTERNATIVAS PARA REDUCIR LA ABSORCIÓN DE GRASA DURANTE LA FRITURA POR INMERSIÓN DE LOS ALIMENTOS /ALTERNATIVES TO REDUCE FAT UPTAKE DURING DEEP FAT FRYING OF FOOD.

*José David Torres-González¹, Armando Alvis-Bermúdez² and José Del Carmen Jaimes Morales³.

1. PhD Student in Chemical Engineering and Bioprocesses, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. MSc. Universidad de Córdoba (Colombia).
2. PhD. Universidad del Valle. Researcher, Faculty of Engineering, Universidad de Córdoba (Colombia).
3. PhD. Universidad URBE (Venezuela). MSc. Universidad Nacional de Colombia. Researcher, Faculty of Engineering, Universidad de Cartagena (Colombia).

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 01 August 2017
 Final Accepted: 03 September 2017
 Published: October 2017

Key words:-

Biopolymers, frying, palatability, plasticizers, cardiovascular.

Abstract

Deep fat frying is the method of cooking that consists of submerging foods in an edible fat at a temperature above the boiling point of the water, which allows to develop unique sensory aspects, especially in palatability. However, a limitation is the high fat content of the products, which is considered a risk factor for health. Hence, one of the industrial concerns has been to obtain products with a low amount of fat and suitable organoleptic characteristics that allow its acceptability. For this reason, different technological alternatives have been proposed in stages prior to treatment, including the use of edible coatings. In this review we analyzed some recent research that used biopolymers to reduce the absorption of fat during frying. It was found that hydrocolloids were the most used and allow to obtain fried products with a lower fat content with respect to the uncoated samples, being an alternative that does not significantly alter the traditional process and the acceptability of the foods. Nevertheless, despite the great investigative boom, most of these investigations have not been completely transformed into real solutions for the industrial sector, in part due to the variability of the percentages of implementation and the microstructures of food matrices. This poses challenges in the search for optimal processing conditions and adequate percentages of application of biopolymers under standardized conditions, which allow to obtain fried foods of better quality and in line with healthy trends.

Copy Right, IJAR, 2017. All rights reserved.

Introducción:-

Los alimentos fritos forman parte de la dieta en todo el mundo, tanto en países industrializados como en los emergentes; por otra parte, es conocido que las grasas confieren a los alimentos propiedades únicas, incluyendo mejoras en la palatabilidad (Moreira 2014; Wexler et al. 2016). Debido a las características de procesamiento, algunos productos fritos llegan a poseer grandes cantidades de grasa alcanzando hasta un 45% del peso total (Omidiran et al. 2016). Diversas investigaciones y entidades internacionales de salud, han señalado que el alto contenido de grasa es desventajoso para los consumidores de productos fritos, debido a que estos macronutrientes se

Corresponding Author:- José David Torres-González.

Address:- PhD Student in Chemical Engineering and Bioprocesses, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. MSc. Universidad de Córdoba (Colombia).

han asociado con enfermedades graves como: obesidad, diabetes, hipertensión, alzhéimer, enfermedades hepáticas y varios tipos de cáncer de mama, colon y próstata. Lo cual representa un alto costo para los sistemas de salud (Bouchon 2009; Valera y Fiszman 2011). A pesar de esto, el consumo de alimentos fritos en comidas rápidas, sigue aumentando de forma exponencial, especialmente en los sectores poblacionales intermedios y juveniles. Por lo tanto, la reducción del contenido de grasa es un área de interés para los investigadores e ingenieros de alimentos en todo el mundo (Alimi et al. 2013; Esan et al. 2015; Izadi et al. 2016).

Varios factores que afectan la absorción de grasa (AG) han sido reportados, entre los que se destacan algunos propios de las matrices alimentarias como la composición química, humedad inicial y la porosidad (Moreno y Bouchon 2013; Cortés et al. 2016; Zhang et al. 2016). Asimismo, otros asociados a las condiciones del proceso como el tiempo, temperatura, la presión, tensión superficial alimento/grasa, el tipo de grasa y su viscosidad (Bouchon 2009; Albertos et al. 2016). Además, los pretratamientos como escaldado, secado, deshidratación osmótica y algunas tecnologías emergentes como las altas presiones hidrostáticas (APH) entre otros (Gamonpilas et al. 2013; Zhang et al. 2014; Kim et al. 2015) y recientemente el tipo de recubrimiento superficial. Diversas investigaciones coinciden en afirmar, que éste es el método más simple y conveniente para reducir el contenido de grasa de los alimentos fritos, ya que a diferencia de los otros, no implica cambios significativos en el proceso tradicional (Martínez et al. 2015; Yazdanseta et al. 2015).

Dentro de los recubrimientos más utilizados se pueden destacar algunas mezclas con harinas de leguminosas y cereales, adicionadas a los productos tipo empanados y rosquillas. Así mismo, almidones nativos y modificados en variedades de patatas, chips de yuca, ñame, batatas y malanga (Paz-Gamboa et al. 2015; Alvis et al. 2015). De igual manera se han utilizado exitosamente biopolímeros como gelatina, celulosa, quitosano, alginatos y diversos tipos de gomas; encontrando resultados satisfactorios en cuanto a la disminución del contenido de grasa final, lo que ha forzado a realizar más investigaciones en esta área (Yu et al. 2016). También, se han utilizados recubrimientos a base de proteínas de lactosuero y aislados de soya, en matrices de naturaleza proteínica como nuggets de pollo, filetes de pescado, chips de camarones y rodajas de carne entre otros (Ngadi et al. 2009). Actualmente los tipos de revestimientos más aplicados han sido los hidrocoloides derivados de la celulosa, como carboximetilcelulosa (CMC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y metilcelulosa (MC), los cuales han mostrado los mejores resultados en la reducción del contenido de grasa final. Esto se atribuye a la capacidad de gelificación térmica de estos hidrocoloides a las temperaturas comunes de fritura, lo cual crea una barrera resistente a la entrada de la grasa alrededor de los alimentos (Phule y Annature 2013).

Así mismo, algunos autores señalan que por su naturaleza hidrofílica, estos biopolímeros pueden adherirse a la estructura de los productos y retener la humedad superficial, evitando la deshidratación durante el proceso de fritura (Varela y Fiszman 2011). Se ha señalado que la naturaleza del recubrimiento es importante, ya que durante el proceso térmico éstos se podrían degradar con mayor facilidad y por lo tanto, alterar la grasa de fritura en cuanto a su viscosidad y propiedades químicas, formando componentes tóxicos, los cuales podrían aglutinarse en la costra de los productos y ser consumidos (Pedreschi et al. 2014; Angor 2016; Khazaei et al. 2016). Por ello, aún se requieren más investigaciones que ayuden a optimizar las condiciones reales de procesamiento. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta revisión fue analizar los cambios más importantes en los alimentos fritos y contrastar algunas de las investigaciones recientes que proponen el uso de alternativas tecnológicas, como el caso de los recubrimientos a base de biopolímeros, para reducir la absorción de grasa durante la fritura por inmersión.

Una visión sintética del proceso de fritura:-

La fritura por inmersión es uno de los procesos más antiguos de preparación de alimentos, conocido por décadas como una operación culinaria utilizada por chef en restaurantes, personas en los hogares y también como una operación unitaria utilizada en el sector industrial para la preparación de alimentos de consumo masivo, como papas fritas, snacks de yuca, palitos de pescado, pollo frito, y mezclas de almidones nativos o modificados con otras harinas de cereales y oleaginosas (Zhang et al. 2016). Se ha descrito que los alimentos adquieren características organolépticas y sensoriales únicas que no es posible conseguir con otras técnicas de procesado (Torres et al. 2017). Sin embargo, el aumento de la conciencia de los consumidores actuales acerca de las relaciones entre la grasa saturada con la obesidad y las enfermedades cardiovasculares se ha convertido en una fuerza impulsora para reducir el consumo de estos nutrientes en las dietas (Esan et al. 2015). La industria está respondiendo a estos desafíos mediante la introducción de productos bajos en grasa, pero que muchas veces no son aceptados por los consumidores, ya que el sabor y la crocancia son diferentes a los tradicionales. A pesar de esto, esa industria genera

en el mercado mundial millones de dólares cada año, con la venta de productos fritos en “comidas rápidas” para ciertos grupos poblacionales, en especial los juveniles (Hua et al. 2015).

La fritura implica la transferencia de masa representada por la pérdida de agua y absorción de grasa, así como el transporte de calor por los mecanismos convección-conducción (Alvis et al. 2009; Neethu et al. 2016). La temperatura y el tiempo son los factores más importantes en el proceso, se ha señalado que a temperaturas muy altas y tiempos cortos, la AG se reduce, ya que la formación de la corteza actúa como una barrera física; esto también podría ocasionar que la temperatura interna no sea la suficiente para gelatinizar el almidón y por tanto, se obtendrían productos con una gran corteza y un centro crudo (Bouchon y Pyle 2005). Por otro lado, un tiempo muy prolongado ocasionaría demasiada AG y deterioro de la microestructura, ocasionando quemaduras superficiales; por ello, se ha investigado en la optimización de las condiciones de procesamiento específicas en cada matriz alimentaria (Wexler et al. 2016; Torres et al. 2017).

Principales cambios en los alimentos durante la fritura:-

En la tabla 1, se presentan algunos cambios importantes durante el freído. En general los almidones se gelatinizan, las proteínas se desnaturalizan, los nutrientes termolábiles disminuyen, se desarrollan sabores y colores, así mismo se produce mayor porosidad y aumenta la costra superficial, lo que lleva a cambios en las características de textura y sensoriales de los alimentos (Bouchon 2009; Barbut 2013). El desarrollo del color es debido a las reacciones de pardeamiento no enzimático y caramelización, las cuales son proporcionales a la cantidad de azúcares reductores disponibles, así como a los grupos nitrogenados libres de los aminoácidos, péptidos y proteínas (Moreira 2014; Omidiran et al. 2016). Varios productos intermedios, llamados de Amadori, se polimerizan a las temperaturas del proceso de fritura, formando moléculas de color oscuro (melanoidinas).

Entre todos los compuestos derivados por reacción de Maillard, existe un creciente interés en los tóxicos, como la acrilamida; sustancia que ha sido conocida por su carácter neurotóxico, genotóxicos y cancerígeno en ratas de laboratorio y está clasificada como un probable carcinógeno humanos, ya que puede convertirse en glicilamida un compuesto que se ha reportado como más tóxico (Pedreschi et al. 2014). Sin embargo, existe muy poca información disponible en la literatura científica sobre los efectos reales de este compuesto en la salud humana. Los mecanismos de formación de acrilamida durante la fritura por inmersión no se ha aclarado completamente, pero diversos trabajos señalan que se forma cuando la asparagina y los azúcares reductores como glucosa o fructosa, se calientan por encima de 120 °C e interactúan mediante sus grupos funcionales. Se ha indicado que la disminución de la actividad de agua, podría inducir a mayor nivel de formación de acrilamida (Pedreschi et al. 2014). Sansano et al. (2016), Demostraron el efecto protector del quitosano en la formación de acrilamida en sistemas modelos, los resultados indicaron que se obtuvo un 59% de inhibición en las pastas fritas con 0.27% de quitosano y una reducción de hasta 85% en los sistemas de fructosa con 1% de quitosano; dicho efecto fue atribuido a la interacción de los grupos aminos del quitosano con los grupos carboxílicos de los azúcares. Actualmente se ha utilizado una enzima denominada acrylaway®, la cual no genera efectos secundarios en las características de los alimentos y actúa sobre la asparagina, transformándola en ácido aspártico, ocasionando menores niveles de formación de acrilamida; sin embargo, aún se requieren más investigaciones para esclarecer todos los mecanismos de formación de este compuesto, así como su nivel de bioaccesibilidad y biodisponibilidad al consumirse.

Tabla 1:- Principales cambios durante la fritura de los alimentos

Cambios y reacciones	Producto	Objetivo	Autores
Pérdida de humedad	Pantao (lácteo de la india)	Analizar transferencia de calor	Neethu et al. (2016)
Absorción de grasa	Chips papas	Entendimiento microestructural usando una doble tinción no invasiva	Moreno y Bouchon (2013)
Formación de costra y desnaturalización de proteínas	Chips de maíz	Modelización y ventajas de la fritura	Moreira (2014)
Gelatinización de almidones	Matrices almidón-gluten	Analizar la digestibilidad <i>in vitro</i> del almidón	Contardo et al. (2016)
Pérdida de minerales y antioxidantes	Batatas amarillas	Optimización y disminuir perdida nutrientes	Esan et al. (2015)
Cambios de color (Reacción de Maillard)	Snacks de yuca-trigo	Encontrar condiciones óptimas de fritura al vacío	Omidiran et al. (2016)

Formación de acrilamida	Papas fritas	Entender mecanismos formación de acrilamida	Pedreschi et al. (2014)
Hidrolisis, polimerización y viscosidad	Papas fritas	Entender los mecanismos de deterioro de la grasa durante la fritura	Albertos et al. (2016)
Aromatización y mejora sabor	Hojuelas de papaya	Optimización del freído con superficies de respuestas	Wexler et al. (2016)
Cambios en la textura	Chips de batatas	Analizar el efecto de los recubrimientos en la reducción de la absorción de grasa	Alvis et al. (2015)
Desarrollo de la porosidad y encogimiento	Chips papas	Entender la relación pérdida de humedad y absorción de grasa	Zhang et al. (2016)
Reducción aire celular y destrucción microorganismos	Patatas	Analizar la calidad fisicoquímica de chips fritos	Garmakhany et al. (2014)
Reacciones con polifenoles	Matrices de gluten-almidón, con extractos de hojas de olivo normales y microencapsulados con con inulina.	Estudiar el efecto de la microencapsulación y el método de fritura sobre el contenido de polifenoles, la actividad antioxidante, el contenido de grasa y la crujencia	Urzúa et al. (2017)

Fuente: Elaboración propia.

Durante la fritura el desarrollo de los poros es un cambio importante. Éstos se forman por la evaporación intensa del agua de la matriz alimentaria (Cortés et al. 2014). En las figura 1, se muestra la estructura de la costra de un producto frito, visto mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), se observan los poros en la matriz, los cuales tienden aumentar al finalizar el proceso térmico. En general la gelatinización del almidón y desnaturalización de las proteínas también contribuyen al desarrollo de la porosidad, así como al encogimiento. Según Moreira (2014) la presencia de poros afecta las propiedades mecánicas de los alimentos fritos y en consecuencia, su textura y aceptabilidad final.

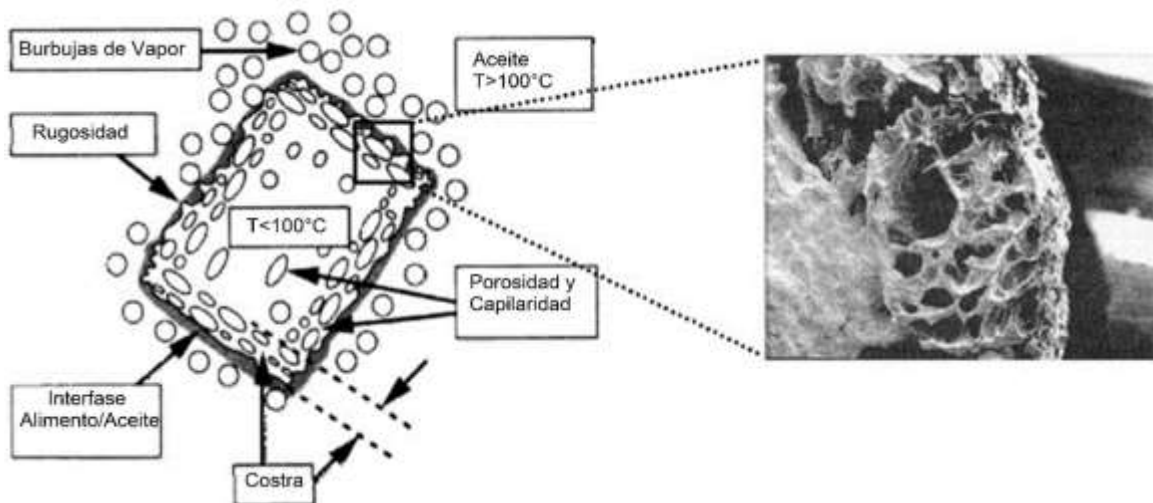


Figura 1:- Sección transversal (izquierda) de un trozo de alimento durante la fritura. (Derecha) Imagen microscopio electrónico de barrido de una sección transversal de la corteza de una patata frita. Fuente: Mellema (2003).

Por otro lado, la fritura no parece tener una influencia significativa en la pérdida de minerales; ya que estos son estables a las temperaturas utilizadas. Ersoy y Ozeren (2009) observaron un pequeño aumento en los minerales, como Na, K, Ca, Mg, P, Fe y Zn después de la fritura de filetes de pescado, debido a un efecto de la concentración de sólidos. Así mismo, se ha señalado que las vitaminas termolábiles como la C (ácido ascórbico) y las del grupo B

(tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, piridoxina, biotina, ácido fólico y cobalamina), disminuyen en los alimentos fritos (Omidiran et al. 2016). Esan et al. (2015), investigaron el efecto de la fritura al vacío en la pérdida de carotenoides de batatas amarillas e indicaron estabilidad de estos componentes a medida que la presión y las temperaturas del proceso fueron más bajas.

Entendimiento de la AG:-

En la actualidad los mecanismos involucrados en el proceso de AG durante la fritura por inmersión continúan siendo estudiados (Cortés et al. 2016; Zhang et al. 2016). Diversos autores han reportado que la cinética de AG por parte de los productos alimenticios es compleja; ya que mientras el vapor esté presente en los poros del alimento, impedirá el ingreso del aceite al interior del mismo, es decir, la absorción está limitada durante el periodo de inmersión y sólo cuando el alimento es retirado de la freidora y empieza el enfriamiento, la presión del vapor disminuye y se produce un efecto de succión (vacío), ayudando a que el aceite depositado en la superficie pueda atravesar la costra. Sin embargo, hasta ahora no ha sido posible la observación completa de estos fenómenos, pero se han realizado avances importantes con técnicas de microscopia confocal de barrido láser (Bouchon 2009; Moreno y Bouchon 2013; Zhu et al. 2015). En la figura 2, se muestra un esquema de la interpretación actual del proceso de fritura por inmersión, donde se observa el efecto de la formación de la costra y la presión del vapor de agua al interior del alimento. Por su parte, en la figura 3, se esquematiza el comportamiento de la AG de chips de papas fritas a 170 °C, con un enfriamiento a 20 °C. Al incrementar el tiempo, el contenido de grasa estructural (absorbida) de las muestras aumentó, mientras que la fracción superficial disminuyó.

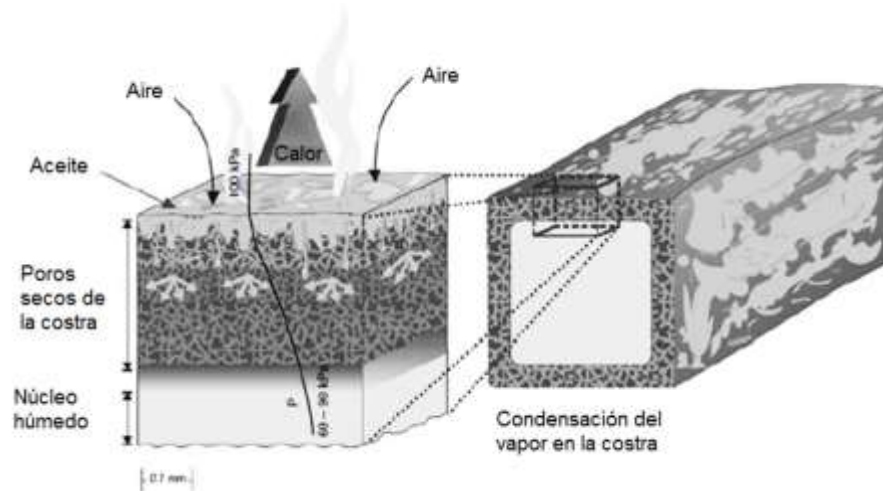


Figura 2:- Interpretación física de la absorción de grasa durante el proceso de fritura y enfriamiento.
Fuente: Sumnu y Sahin (2008).

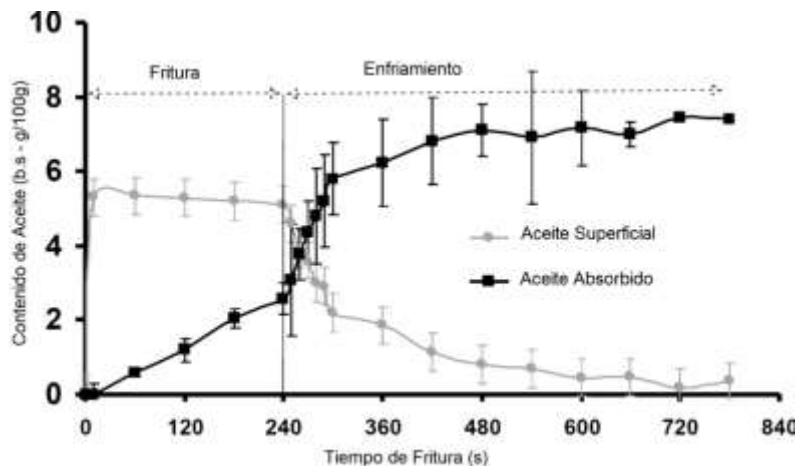


Figura 3:- Contenido de aceite absorbido y superficial de papas fritas a 170 °C y almacenadas a 20 °C.
Fuente: Ziaifar et al. (2008).

Durante la modelación del fenómeno de AG en la post-fritura (enfriamiento), Cortés et al. (2014), encontraron una fuerte evidencia experimental sobre los mecanismos predominantes; estos autores utilizaron técnicas avanzadas de microscopía combinadas con micromódulos porosos de cristal, como se esquematizan en la figura 4, para simular el proceso térmico y obtener pruebas directas de los fenómenos de transporte involucrados durante la inmersión. Para ello, los micromódulos se saturaron con agua y se sumergieron en aceite a 190 °C. Y los desplazamientos del fluido se monitorearon usando microscopía de vídeo, así como microscopía de fluorescencia. Los resultados mostraron que sólo una pequeña fracción del aceite ingresó durante el periodo de inmersión, debido al impedimento del escape vigoroso de las burbujas de vapor de agua. Una vez que la liberación del vapor de agua se detuvo, el aceite comenzó a subir por los capilares. Es decir, el contenido final de aceite se incrementó en el período de post-fritura. Este trabajo representa un avance importante en esta área, ya que proporciona información valiosa sobre los fenómenos de transporte que ocurren durante el proceso de fritura, los cuales pocas veces se tienen en consideración.

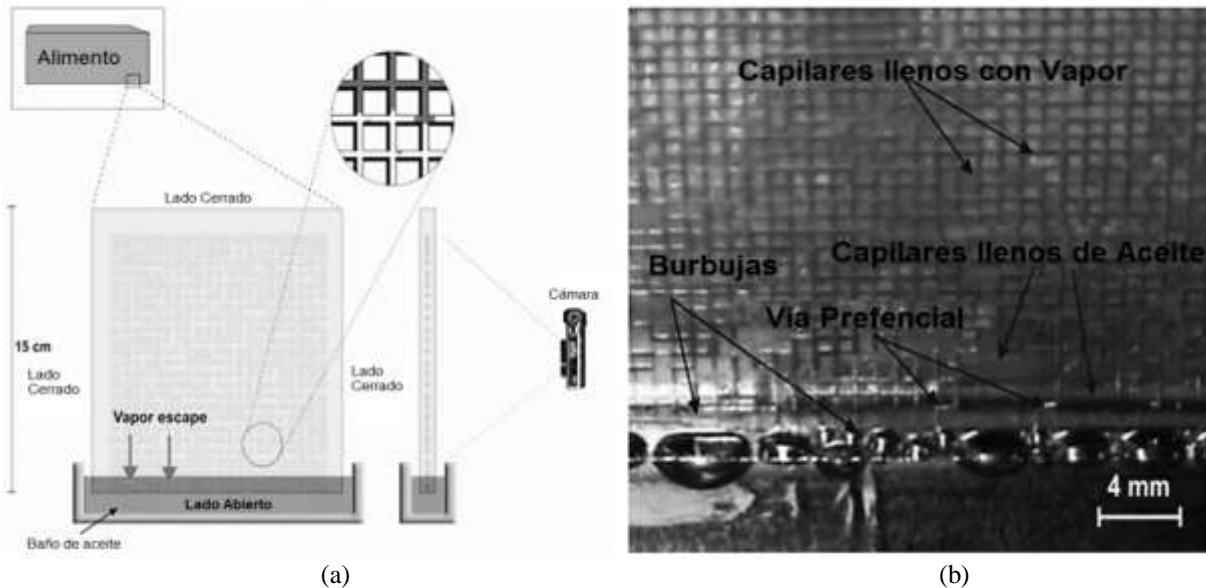


Figura 4:- Simulación del freído por inmersión utilizando micromodelos de cristal, para explicar el proceso de absorción de grasa durante la inmersión y enfriamiento. (a) vista delantera y lateral del sistema experimental. (b) imagen digital de micromodelos, muestra la coalescencia y las preferencias de escape de las burbujas de vapor de agua y aceite estructural (fracción absorbida). Fuente: Cortés et al. (2014).

En cuanto a la modelación de la AG en alimentos de consumo masivo, Ngadi et al. (2009), disminuyeron el contenido de grasa de nuggets de pollo al reducir el contenido de agua inicial durante un tratamiento de pre-cocción en horno microondas. Por su parte, Zhang et al. (2016), en chips de papas indicaron que el contenido inicial de humedad no tuvo ninguna relación con la AG final. Mientras que Gazmuri y Bouchon (2009) indicaron que la AG de alimentos fritos formulados a base de gluten y almidón de trigo, no estuvo relacionada con la cantidad de humedad, y sí con la microestructura. Lo cual se relaciona con lo encontrado por Moreno y Bouchon (2013) quienes al utilizar un procedimiento de doble tinción no invasiva, en combinación con técnicas de microscopía confocal de barrido láser y análisis de imágenes, demostraron que la mayor parte del aceite se localizó en la región superficial. Estos autores señalaron también que existe una relación directa entre la porosidad y AG en los productos de gluten, pero no se presentó el mismo comportamiento en los productos a base de almidón de papa. Además, los productos con gluten fueron menos porosos, pero conservaron mayor cantidad de aceite. Una comprensión más amplia y detallada del modelamiento del fenómeno de AG durante la fritura puede ser encontrada en los trabajos de Bouchon y Pyle (2005), Bouchon (2009) y Moreira (2014).

Alternativas actuales para disminuir la AG:-

Los factores importantes que se han encontrado hasta el momento y que influyen en el contenido final de grasa de las matrices alimentarias, se muestran en la tabla 2 y las causas relacionadas se discuten a continuación.

El escaldado permite la gelatinización del almidón superficial, lo cual puede formar una capa delgada que protege a la matriz de la AG. Pedreschi y Moyano (2005), obtuvieron una reducción de la absorción de grasa en papas

escaldadas y secadas antes del freído. Las condiciones de escaldado fueron a 85 °C y 3.5 min. Por su parte, Paz-Gamboa et al. (2015) señalaron condiciones de 85 °C, por 3 min y encontraron que el contenido de aceite fue 80% menor en los chips de malanga escaldados, siendo estos de mejor calidad en comparación los chips control.

Tabla 2:- Factores involucrados en el contenido de aceite durante el freído

Origen	Factores	Relación con la grasa	Referencia
Alimento	Humedad	Inversa	Moreira (2014)
	Porosidad	Directa	Cortés et al. (2016)
Aceite	Viscosidad del aceite	Directa	Albertos et al. (2016)
	Angulo de contacto (alimento/aceite)	Directa	Danna y Saguy (2006)
Pretratamientos			
Mecánico	Cortado y aumento del área	Directa	Bouaziz et al. (2016)
Térmico	Escaldado	Inversa	Pedreschi y Moyano (2005)
	Secado con aire y microondas	Inversa	Moreno y Bouchon (2008)
	Deshidratación osmótica	Inversa	Karizaki et al. (2013)
Superficial	Recubrimientos comestibles	Inversa	Alvis et al. (2015)

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, en la deshidratación osmótica (DO), los resultados han sido variados, ya que algunos autores han afirmado que la AG disminuye, al reducirse la humedad inicial del producto y por la formación de una capa alrededor de la superficie debido a los solutos; otros han señalado que la AG de chips sometidos a DO aumenta y las explicaciones indican que es debido a la mayor cantidad de espacios superficiales disponibles por la salida del agua de la microestructura (Karizaki et al. 2013). Krokida et al. (2001), demostraron que las patatas fritas, inmersas en una solución de azúcar (40%) exhibían una reducción del 60% en el contenido de grasa, mientras que en las soluciones de NaCl (20%) y maltodextrina (20%) a los mismos tiempos de tratamiento, se obtuvieron reducciones del 35% y 15%, respectivamente. Moreno y Bouchon (2008) analizaron la efectividad de diferentes pretratamientos en la reducción de la AG de chips de papas escaldadas y señalaron la importancia de expresar los resultados en base seca libre de grasa, ya que esto puede inducir al error por parte de los investigadores, dado que durante la DO por ejemplo, existe un aumento de la base seca. Karizaki et al. (2013), investigaron la posibilidad de utilizar la DO asistida por ultrasonido (DOU) como tratamiento previo a la fritura. Los resultados indicaron que la DOU redujo el contenido de grasa de las patatas fritas en 12.5% al compararlas con las no tratadas. No se presentaron diferencias entre los tratamientos con DO y DOU en la reducción de la grasa. Sin embargo, DOU mejoró el color de las muestras. Por su parte, Afjeh et al. (2014), investigaron la optimización de los parámetros de fritura al vacío de rodajas de kiwi sometidas al proceso de DO. Las bajas temperaturas mejoraron la textura y el color de los chips, así mismo permitieron un menor contenido de grasa final.

Albertos et al. (2016), analizaron el efecto de la congelación y las altas presiones hidrostáticas (APH) como pretratamiento durante la fritura al vacío de snacks de zanahorias. Reportaron que el uso de dichos pretratamientos físicos mejoró las propiedades antioxidantes de los snacks. Además, la congelación mejoró las propiedades de textura de los aperitivos. Estos autores señalaron que los tratamientos previos causaron modificación de las células, como se observó a partir del análisis microestructural. En general el tratamiento previo de congelación influyó en la reducción de la grasa (25%). Zhang et al. (2014), analizaron los efectos del procesamiento con APH sobre las características de calidad de carne de cerdo recubierta con polisacáridos y frita por inmersión. Los tratamientos fueron entre 150 y 450 MPa durante 10 minutos. Los autores indicaron que al utilizar APH, se obtuvo una reducción de las temperaturas de gelatinización. Se observó que esta técnica alteró la forma de los gránulos de almidón y modificó la apariencia superficial de las masas utilizadas como recubrimientos.

Song et al. (2007), evaluaron el efecto del pretratamiento de secado al vacío durante el freído de papas y encontraron que el contenido de aceite fue más bajo en comparación con los productos control, para los mismos tiempos de fritura. Por su parte, Sinthusamran y Benjaku (2015) estudiaron el efecto de las condiciones de secado y fritura sobre las características físicas del *Lates calcarifer*, una especie de pez eurihalino muy común en Nueva Guinea y Australia. Encontraron que la AG en las muestras fritas a 180 y 200 °C fue de 451.06 a 578.06 g/kg, más alto al comprar con la fritura a 220 a 240 °C donde estuvo en un rango de 378.60 a 417.17 g/kg. En general las temperaturas de secado previo (60°C) afectaron el contenido de humedad final e influyeron en la reducción significativa de la AG y las características de calidad final (color, textura) de las muestras.

Efecto de los recubrimientos con biopolímeros en la AG:-

El uso de recubrimientos con biopolímeros se propuso en los años setenta, para extender la vida útil de la carne y posteriormente para mejorar la calidad de diversos productos alimenticios frescos, congelados y fabricados (Varela y Fiszman 2011). Los recubrimientos son capas delgadas hechas de materiales biodegradables que pueden ser ingeridos y proveen una barrera a la humedad, oxígeno y solutos. Dependiendo de su composición química, pueden ser para: a) regular procesos de transferencia de masa involucrando oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, etileno y otros compuestos volátiles y (b) tener efecto en las propiedades mecánicas de los alimentos. Además, se adicionan agentes antimicrobianos, antioxidantes, sabores, colores y plastificantes para mejorar las propiedades funcionales de los mismos (Archana et al. 2016). Se ha reportado que varios biopolímeros, como los hidrocoloides derivados de la celulosa, forman geles que pueden ser utilizados para reducir la AG durante el proceso de freído, ya que actúan como una barrera física (Yazdanseta y Tarzi 2015). La permeabilidad al oxígeno, vapor de agua, resistencia a la tracción y alargamiento pueden ser mejoradas con la adición de plastificantes (Kim et al. 2015).

Según Garmakhany et al. (2014), los plastificantes actúan reduciendo las fuerzas intermoleculares y aumentando la movilidad de las cadenas de los polímeros. En la figura 5, se observa el posible mecanismo de protección que ofrecen los recubrimientos frente al ingreso de la grasa en las matrices alimentarias, dicha explicación fue reportada por Yu et al. (2016), quienes además señalan el efecto de los plastificantes en el mejoramiento de las características de resistencia de los recubrimientos con hidrocoloides. Se puede ver en la parte (a) que existe un libre ingreso de la grasa (zonas grises que rodean a los círculos más grandes) y una libre salida de humedad. Mientras que en la parte (b), dichos mecanismos se ven más limitados pues el producto se encuentra con un recubrimiento de goma guar y el alimento conserva mayor humedad, sin embargo este presenta ligeras grietas. Y en la parte (c), se observa la menor cantidad de grasa en la matriz alimentaria, a diferencia de la anterior, no se observan grietas en la capa del recubrimiento, dicha resistencia puede ser explicada por la interacción del glicerol (plastificante) con los grupos moleculares del recubrimiento. Este comportamiento también fue observado en otras variedades de papas fritas recubiertas con pectinas de bajo metoxilo glicificadas con iones calcio (Hua et al. 2015).

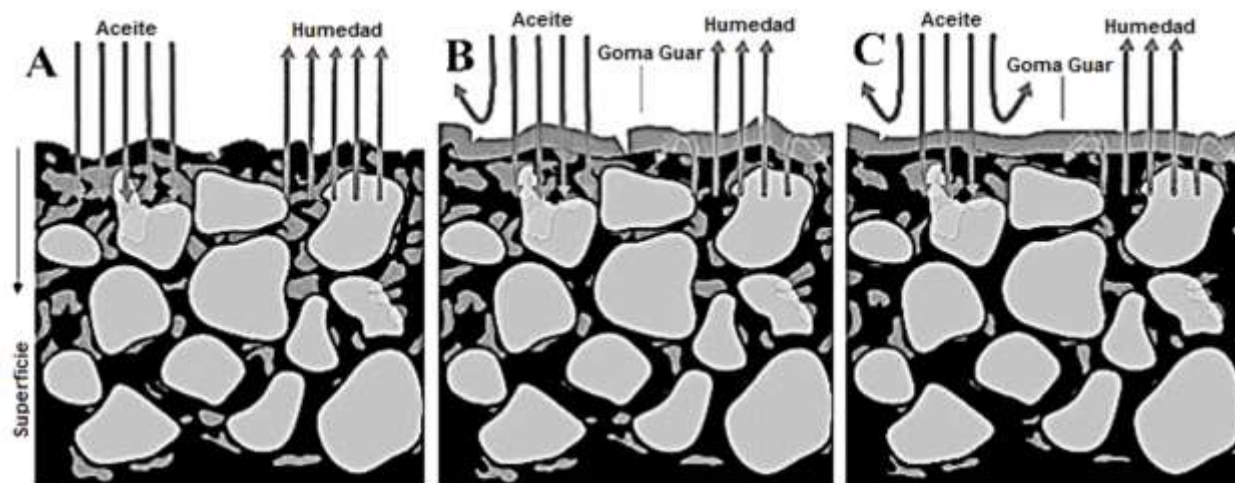


Figura 5:- Posibles efectos de los recubrimientos sobre la transferencia de humedad y grasa durante la fritura de patatas: detalles de tejido (óvalos grandes = células, zonas grises alrededor de óvalos = aceite). A= control, B = recubrimiento goma de guar, C = recubrimiento con goma de guar + glicerol. Fuente: Yu et al. (2016)

Los principales métodos de aplicación de los recubrimientos en los alimentos antes del proceso de fritura son: inmersión y aspersion (Archana et al. 2016), siendo el primero más utilizado por sus ventajas de fácil preparación y que no se requiere equipos sofisticados. La conveniencia de revestimiento depende del espesor, así como de las características del producto destinado a freír. Igualmente, se debe tener en consideración las propiedades de los biopolímeros, en su viscoelasticidad y la afinidad química con la matriz alimentaria. Además, cabe destacar que los alimentos muestran respuestas diversas al mismo tipo de material de revestimiento. Varela y Fiszman (2011) han señalado que dependiendo de la concentración, los derivados de celulosa no siempre se comportan como barreras eficientes a la absorción de grasa; ya que en un estudio respecto a la eficacia de diversos hidrocoloides (HC) en concentraciones entre 0.25% y 2%, en sistemas modelo basado en harina de garbanzo, el hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) mostró ser el más eficaz en concentración de 0.25% y su eficacia disminuyó con el aumento de esta

concentración. Estos autores esperaban que el efecto de la mayor concentración de HPMC, podría ayudar a la formación de una capa gruesa y protección del alimento en cuanto a la entrada de la grasa; sin embargo, esto no sucedió, ya que la efectividad disminuyó con la concentración excesiva, debido que a mayor concentración el hidrocoloide empezó a intectuar entre si y no con los grupos funcionales de las superficie de los alimentos, dando como resultado la rotura de la película, debido a la presión acumulada del vapor de agua en los poros durante el freído.

Investigaciones sobre la aplicación de recubrimientos:-

Dentro de los resultados más importantes se resaltan los obtenidos en alimentos de origen vegetal, especialmente chips de papas, así como otras formulaciones amiláceas. En muchos casos se ha demostrado una disminución del contenido de grasa y en otros, los resultados han sido variados, para los cuales no se reportan explicaciones sustentadas eficazmente. Así mismo, existe poca mención a detalles como el peso molecular, grado de sustitución y la viscosidad de los recubrimientos utilizados, lo cual es importante al momento de explicar las relaciones entre causa y efecto. Dentro de los trabajos pioneros, está el realizado por Pinthus y Weinberg (1993) quienes informaron que los revestimientos de celulosa y metilcelulosa (MC) en polvo añadidos en bolas de falafel, conocidos como albóndigas de garbanzo, muy consumidos en oriente medio e India, disminuyeron la AG en 8.5% y 46.4% respectivamente, mostrando mayor efectividad para el derivado de la celulosa dado la resistencia y funcionalidad que aportaron los grupos metilos a las cadenas de glucosa. Así mismo, Priya et al. (1996), en productos fritos formulados a base de Boondi, el cual es un producto dulce elaborado con harina de garbanzo, muy consumido en el occidente de la India; lograron minimizar el contenido de aceite en un 26.2% con la adición de 2% de carboximetilcelulosa (CMC) y cuando se aplicó 1% de HPMC la reducción fue de 22.7%. En esta misma tendencia, Mallikarjunan et al. (1997), observaron una reducción de 61.4% y 83.6% en la AG para productos amiláceos recubiertas con HPMC y MC respectivamente, confirmando que la sustitución de grupos metilo en la celulosa fue más eficaz para actuar como barrera a la grasa en la fritura, respecto a los grupos hidroxipropil. De la misma manera, Khalil (1999) informó que el recubrimiento de las patatas fritas con celulosa y CMC, fue eficaz en la reducción del contenido de grasa en un 55%. Además, el recubrimiento evitó que el agua de evaporación escapara de las muestras durante la fritura, y los productos presentaron una buena aceptabilidad sensorial.

Por su parte, Albert y Mittal (2002) analizaron la efectividad de once materiales HC y encontraron que los mejores resultados, en cuanto a la reducción de la AG, fueron atribuidos a los materiales a base de proteína aislada de soya (SPI) y aislado de suero lácteo (WPI) con porcentajes de 83.5% a 99.8% y no a los HC como se esperaba. Estos resultados fueron atribuidos a los grupos funcionales activos de naturaleza hidrofílica de los aminoácidos, los cuales quizás retuvieron mayor cantidad de agua en las formulaciones e impidieron su salida de la matriz durante la fritura. Sin embargo, la presencia de una sustitución hidroxipropilo, altera las propiedades de gelificación, por eso la HPMC posee mayor temperatura de gelificación y la fuerza de los geles resultantes es inferior a la MC (Sakhale et al. 2011). Al estudiar las potencialidades de los recubrimientos con hidrocoloides, Suárez et al. (2008), aplicaron MC y encontraron una reducción de la AG del 30% para las masas recubiertas, en comparación con las que no se recubrieron. Los autores atribuyeron dichos resultados al comportamiento de gelificación térmica de la MC, lo que permitió actuar como una barrera física para el ingreso de la grasa. En general se ha reportado que los derivados de celulosa, necesitan de temperaturas altas para gelificar, lo cual es beneficioso en la fritura, ya que estos geles podrían evitar la AG. Usawakesmanee y Chinnan (2008) utilizaron combinaciones de HPMC, MC y reportaron que los productos formulados con harina de patatas obtuvieron un contenido de grasa final entre 22% y 24% en comparación con 27% del control. Singthong y Thongkaew (2009) señalaron que el uso de HC, disminuyó la AG en chips de plátano, obteniéndose una reducción de 40.22% y 22.89% para los productos con CMC y pectina respectivamente. Estos autores concluyeron que la pectina fue el HC más eficaz para la producción de chips con bajos contenidos de grasa. La influencia de la utilización de recubrimientos comestibles a partir de tres HC (pectina, WPI y SPI) durante la fritura de un producto a base de yuca el cual se congeló, fue investigado por Freitas et al. (2009). En dicha investigación, la proteína del suero mostró los mejores resultados con respecto a la reducción de la AG (27%). Los autores señalaron que los diferentes productos pueden mostrar variaciones en las respuestas con el mismo tipo de material de revestimiento.

El mismo comportamiento fue observado en la investigación de Pranoto et al. (2009) quien evaluó la eficiencia de recubrimientos aplicados mediante la técnica de inmersión y aspersión, en cacahuets desgrasados, obteniendo que la HPMC aplicada por aspersión redujo en un 35.25%, el contenido de aceite en comparación con la muestra control (43.65%). Kim et al. (2011), reportaron una reducción del contenido de grasa del 41% en trozos de papa fritos y recubiertos con solución de goma guar al 0.9%; así mismo, observaron que este parámetro disminuyó con el grosor

del revestimiento. En un estudio donde se comparó la efectividad de recubrimientos a base de gomas en la reducción de la AG de empanadillas típicas del sur de Asia, Sakhale et al. (2011), demostraron que los mejores resultados (reducción > 20%) fueron obtenidos cuando se utilizó goma de xantana, respecto a lo encontrado para los derivados de la celulosa. De forma similar para la fritura a baja presión de chips de banano, se encontró que la inmersión en una solución de 1.5% de goma guar, redujo cerca del 25% del contenido de grasa (Sothornvit, 2011). Los resultados reportados por Phule y Annapure (2013) indicaron que la adición de CMC aplicado en un porcentajes de 0.5% en garbanzos, resultó en 28.65% de reducción de la AG. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Asmita y Uday (2013) quienes informaron que la presencia de 0.5% de CMC en garbanzos y 1% de HPMC en frijol mungo, resultó en 28.65% y 15.24% de reducción la AG respectivamente. Gamonpilas et al. (2013), estudiaron la eficacia de los diversos grados de almidones de tapioca reticulados para reducir la AG en rodajas de pollo frito y encontraron que la sustitución de 20% de almidones por harina de trigo permitió obtener una reducción significativa en el contenido de AG del 17%.

Por su parte, Garmakhany et al. (2014), informaron que la producción de las patatas fritas de bajo contenido graso es posible al utilizar recubrimientos basados en CMC, pero a diferencia de los anteriores, este se combinó con pectina en porcentajes de 0.5% y 1% respectivamente. Con esto se logró una reducción del 25% respecto a las muestras control. Lo cual refleja el efecto sinérgico de estos HC cuando se combinan en esas proporciones. Así mismo, Alvis et al. (2015), reportaron que la CMC, disminuyó en 30% el contenido de grasa en chips de batatas. Además, señalaron que dicho material fue fundamental para mejorar la calidad nutricional de los chips, ya que evitó la pérdida de nutrientes y no interfirió en las características organolépticas. Zhu et al. (2015), compararon el efecto de CMC de sodio respecto a otros pretratamientos y encontraron una reducción de la AG alrededor de 24.53%, señalando que las propiedades sensoriales no se vieron afectadas; lo cual confirma la ventaja de utilizar este tipo de técnicas (recubrimientos) respecto a otras tradicionales, ya que no modifica las características de los alimentos. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Martínez et al. (2015), quienes aplicaron recubrimientos de goma guar, CMC y goma xantana e indicaron que fue adecuada para reducir AG en 43%, 31% y 23.34% respectivamente en chips de plátanos dominico hartón. Así mismo, las muestras mantuvieron una buena calidad representando un producto atractivo a los consumidores. Angor (2016) utilizaron recubrimientos CMC y SPI, e informaron que el nivel más eficaz en la reducción de la AG fue 10% para los dos recubrimientos. Presentando SPI los mejores resultados, respecto a CMC para todos los niveles. En todas las muestras se encontró mejoría de las características sensoriales respecto a las muestras control de chips de patatas.

En la actualidad lo que se busca es entender en tiempo real, los efectos de los recubrimientos a base de biopolímeros en la reducción de la AG de las diferentes matrices alimentarias fritas por inmersión. En esta tendencia, Archana et al. (2016), aplicaron las técnicas de microscopía confocal de barrido láser (CLSM) en la evaluación de la AG de chips de papa recubiertas con polisacáridos (1% okra y 1% okra + carragenina) y encontraron menor contenido de grasa, con relación a las muestras de control (25%). Estos resultados se pueden comparar con los de Izadi et al. (2016), quienes tuvieron como objetivo evaluar la influencia de los recubrimientos de HC (CMC, goma guar, goma tragacanto y goma de zedo) en el contenido de grasa y los parámetros de calidad de camarones fritos. Encontraron que todos los revestimientos de HC redujeron el contenido de grasa (30%). Norizzah et al. (2016), determinaron los efectos de la goma xantana y carragenina en la reducción de la AG y la aceptabilidad de chips de bananos. Indicaron que hubo una disminución significativa en el contenido de aceite de los chips recubiertos con goma xantana en comparación con carragenina y control (40%). Dichos autores reportaron además, que los HC aumentaron la dureza y evitaron el oscurecimiento de los productos. Bouaziz et al. (2016), analizaron la efectividad de aplicar recubrimientos comestibles con goma de almendra y lo compararon con goma arábica, como se muestra en la figura 6. Reportaron en la optimización con un diseño en superficie de respuesta, una deseabilidad de 0.75, donde los factores fueron de 20 g/L (concentración de recubrimientos), 160 °C, 1.25 min de fritura y la variable respuesta reducción de la AG fue del 48%.



Figura 6:- Patatas (a) antes de la fritura (b) frita control, (c) frita con goma de almendras (AG) (d) frita con goma arábica (ARG). Fuente: Bouaziz et al. (2016).

En la tabla 3, se muestran otros estudios recientes donde se evaluó la eficiencia de los recubrimientos a base de biopolímeros en las características de calidad de alimentos fritos de consumo masivo, algunos se analizaron a través de técnicas como microscopia electrónica de barrido (SEM). Las investigaciones reportan una disminución significativa en la AG de los alimentos recubiertos, lo cual demuestra la utilidad que tiene estos componentes en la preservación de las características fisicoquímicas de los alimentos después de la fritura.

Tabla 3:- Aplicación de recubrimientos en algunos alimentos fritos de amplio consumo

Componente	Producto	Resultados	Reference
Goma de albahaca y timol	Chips de camarones	RG de 34.5%	Khazaei et al. (2016)
Goma de albahaca y harina de Salep	Tiras de patatas	RG de 28.8 y 28.7%	Karimi et al. (2016)
Hidroxi propilmetil celulosa	Rosquillas sin gluten	RG > 30%	Kim et al. (2015)
Carboximetil, goma guar y pectina	Rosquillas de trigo	RG > 40%	Yazdanseta et al. (2015)
Recubrimiento de pasta	Filetes de pechuga de pollo	RG > 25%	Barbut (2013)
Recubrimientos con gomas	Rodajas de ñame	RG > 20%	Alimi et al. (2013).
Metilcelulosa (MC) y goma tragacanto (GT)	Rosquillas fermentadas de trigo y azúcar	RG para GT de 33% y MC de 24.74%	Zolfaghari et al. (2013)

*RG = Reducción de Grasa. Fuente: Elaboración propia

En las investigaciones anteriores, no se tiene en consideración el periodo de enfriamiento; lo cual podría variar los resultados encontrados, ya que dicha etapa ha sido reportada como crítica en la AG (Bouchon y Pyle 2005; Moreno y Bouchon 2013; Cortés et al. 2014). Otro aspecto que quizás influya en los resultados anteriores, es el escazo detalle reportado sobre los métodos de obtención de los biopolímeros. Además, cada investigación utiliza sus propias condiciones de fritura y muy pocas veces se justifica con claridad respecto a que parámetros estandarizados fueron escogidos los porcentajes de los recubrimientos. Por estas razones, a pesar de las numerosas investigaciones y diversidad de datos existentes, la utilización a gran escala de biopolímeros para reducir la AG en alimentos de consumo masivo comercializados por el sector industrial de frituras, se ha visto restringida.

Consideraciones finales:-

Diversos factores influyen en el proceso de absorción de grasa durante la fritura por inmersión de los alimentos. Por esto se ha buscado la optimización de las condiciones de procesamiento, lo cual ha sido difícil dado que los mecanismos dependen de la humedad y la microestructura de los alimentos, asimismo de las propiedades del aceite. Todo esto ha impulsado alternativas que posibiliten la reducción del contenido de grasa y entre las más utilizadas, destaca la aplicación de biopolímeros como recubrimientos comestibles. La mayoría de las investigaciones indicaron que la capacidad de retención de agua fue la propiedad más importante de los hidrocoloides para evitar la absorción de grasa en las matrices alimentarias. Otra cualidad fue la capacidad de gelificación térmica, que permite la formación de geles a temperaturas altas. Es posible afirmar que los recubrimientos a base de biopolímeros permiten la obtención de productos fritos con un menor contenido de grasa respecto a las muestras sin recubrimientos, siendo una alternativa que no altera el proceso de fritura ni las características organolépticas de los alimentos.

Desafíos:-

Desarrollar más investigaciones tendientes a utilizar las técnicas de microscopía, las cuales ofrecen una variedad de posibilidades, que podrían ayudar a aclarar e interpretar los resultados específicos para cada investigación y entender los efectos reales de los biopolímeros en la reducción de la absorción de grasa de las matrices alimentarias y proporcionarían información valiosa en cuanto a las características microestructurales de las matrices alimentarias, durante la etapa de enfriamiento y su relación con la porosidad. Otro desafío será desarrollar estudios que incluyan la optimización de las condiciones de procesamiento mediante técnicas estadísticas y diseños experimentales estructurados, a su vez con los análisis sensoriales de las muestras procesadas. Esto con la finalidad de obtener productos de óptima calidad y que se pueda facilitar la transferencia de conocimientos al sector industrial donde se requieren soluciones prácticas y rápidas.

Agradecimientos:-

Al grupo de investigación GIPAVE de la Maestría en Ciencias Agroalimentarias de la Universidad de Córdoba.

Referencias:-

1. Afjeh FA, Bassiri A, Nafchi M. 2014. Optimization of Vacuum Frying Parameters in Combination with Osmotic Dehydration of Kiwi Slices to Produce Healthy Product. *Journal Chemical Health Risks*. 4(1): 13-22.
2. Albert S, Mittal GS. 2002. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research International*. 35(5): 445-458.
3. Albertos I, Martin-Diana AB, Jaime I, Diez AM, Rico D. 2016. Protective role of vacuum vs. Atmospheric frying on PUFA balance and lipid oxidation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 36: 336-342.
4. Alimi BA, Shittu TA, Sanni LO, Arowolo TA. 2013. Effect of Pre-Drying and Hydrocolloid Type on Colour and Textural Properties of Coated Fried Yam Chips. *Nigerian Food Journal*. 31(1): 97-102.
5. Alvis A, González A, Arrázola G. 2015. Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas* L.) Fritos por Inmersión, Parte 2: Propiedades Termofísicas y de Transporte. *Información Tecnológica*. 26(1): 103-116.
6. Alvis A, Vélez C, Rada-Mendoza M, Villamiel M, Villada H. 2009. Heat transfer coefficient during deep fat frying. *Food Control*. 20(4): 321-325.
7. Angor MM. 2016. Reducing Fat Content of Fried Potato Pellet Chips Using Carboxymethyl Cellulose and Soy Protein Isolate Solutions as Coating Films. *Journal of Agricultural Science*. 8(3): 162-168.
8. Archana G, Azhagu Saravana Babu, P, Sudharsan K, Sabina K, Palpandi Raja R, Sivarajan M, Sukumar M. 2016. Evaluation of Fat Uptake of Polysaccharide Coatings on Deep-Fat Fried Potato Chips by Confocal Laser Scanning Microscopy. *International Journal of Food Properties*. 19(7): 1583-1592.
9. Asmita SP, Uday SA. 2013. Effect of coating of hydrocolloids on chickpea (*Cicer arietinum* L.) and green gram (*Vigna radiata*) splits during deep fat frying. *International Food Research Journal*. 20(2): 565-573.
10. Barbut S. 2013. Frying effect of coating on crust microstructure, color, and texture of lean meat portions. *Meat science*. 93(2): 269-274.
11. Bouaziz F, Koubaa M, Neifar M, Zouari-Ellouzi S, Besbes S, Chaari F, Ghorbel RE. 2016. Feasibility of using almond gum as coating agent to improve the quality of fried potato chips: evaluation of sensorial properties. *LWT-Food Science and Technology*. 65: 800-807.
12. Bouchon P, Pyle DL. 2005. Modelling oil absorption during post-frying cooling I: model development. *Institution of Chemical Engineers*. 83(4): 253-260.
13. Bouchon P. 2009. Understanding oil absorption during deep-fat frying. *Advances in Food and Nutrition research*. 57: 209-234.
14. Contardo I, Parada J, Leiva A, Bouchon P. 2016. The effect of vacuum frying on starch gelatinization and its *in vitro* digestibility in starch-gluten matrices. *Food Chemistry*, 197(A): 353-358.
15. Cortés P, Badillo G, Segura L, Bouchon P. 2016. The effect of different porous media on moisture loss and oil absorption profiles during frying using glass micromodels. *AIChE Journal*. 62(3): 629-638.
16. Cortés P, Badillo G, Segura L, Bouchon P. 2014. Experimental evidence of water loss and oil uptake during simulated deep-fat frying using glass micromodels. *Journal of Food Engineering*. 140: 19-27.
17. Dana D, Saguy S. 2006. Mechanism of oil uptake during deep fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science*. 128: 267-272.
18. Ersoy B, Özeren A. 2009. The effect of cooking methods on mineral and vitamin contents of African catfish. *Food Chemistry*. 115(2): 419-422.

19. Esan TA, Sobukola OP, Sanni LO, Bakare HA, Munoz L. 2015. Process optimization by response surface methodology and quality attributes of vacuum fried yellow fleshed sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) chips. *Food and Bioproducts Processing*. 95: 27-37.
20. Freitas DC, Berbari SA, Prati P, Fakhouri FM, Queiroz FP, Vicente E. 2009. Reducing of fat uptake in cassava product during deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*. 94: 390-394.
21. Gamonpilas C, Pongjaruvat W, Methacanon P, Seetapan N, Fuongfuchat A, Klaikherd A. 2013. Effects of cross-linked tapioca starches on batter viscosity and oil absorption in deep-fried breaded chicken strips. *Journal of Food Engineering*. 114(2): 262-268.
22. Garmakhany AD, Mirzaei HO, Maghsudlo Y, Kashaninejad M, Jafari SM. 2014. Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science Technology*. 51(7): 1334-1341.
23. Gazmuri AM, Bouchon P. 2009. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chemistry*. 115(3): 999-1005
24. Hua X, Wang K, Yang R, Kang J, Yang H. 2015. Edible coatings from sunflower head pectin to reduce lipid uptake in fried potato chips. *LWT-Food Science and Technology*. 62(2): 1220-1225.
25. Izadi S, Ojagh SM, Rahmanifarah K, Shabanpour B, Sakhale BK. 2015. Production of low-fat shrimps by using hydrocolloid coatings. *Journal of food science and technology*. 52(9): 6037-6042.
26. Karimi N, Kenari RE. 2016. Functionality of Coatings with Salep and Basil Seed Gum for Deep Fried Potato Strips. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 93(2): 243-250.
27. Karizaki VM, Sahin S, Sumnu G, Mosavian TH, Luca A. 2013. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration as a pretreatment on deep fat frying of potatoes. *Food Bioprocess Technology*. 6(12): 3554-3563.
28. Khalil AH. 1999. Quality of French fried potatoes as influenced by coating with hydrocolloids. *Food Chemistry*. 66: 201-208.
29. Khazaei N, Esmaili, M, Emam-Djomeh Z. 2016. Effect of active edible coatings made by basil seed gum and thymol on oil uptake and oxidation in shrimp during deep-fat frying. *Carbohydrate polymers*. 137: 249-254.
30. Kim DN, Lim L, Bae I, Lee HG, Lee S. 2011. Effect of hydrocolloid coating on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering*. 102: 317-320.
31. Kim J, Choi I, Shin WK, Kim Y. 2015. Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT-Food Science and Technology*. 62(1): 620-627.
32. Krokida MK, Oreopoulou V, Maroulis ZB, Marinou-Kouris D. 2001. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries. *Journal of Food Engineering* 49: 339-345.
33. Mallikarjunan P, Chinnan MS, Balasubramaniam VM, Phillips RD. 1997. Edible coatings for deep-fat frying of starchy products. *LWT-Food Science and Technology*. 30: 709-714.
34. Martínez DF, Castellanos FJ, Bravo JE. 2015. Application of edible coatings in green plantain slices subjected to deep-fat frying. *Ingeniería y competitividad*. 17(2): 91-99.
35. Mellema M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology*. 14: 364-373.
36. Moreira RG. 2014. Vacuum frying versus conventional frying—An overview. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 116(6): 723-734.
37. Moreno M, Bouchon P. 2008. A different perspective to study the effect of freeze, air, and osmotic drying on oil absorption during potato frying. *Journal of Food Science*. 73(3): 122-128.
38. Moreno MC, Bouchon P. 2013. Microstructural characterization of deep fat fried formulated products using confocal scanning laser microscopy and a non-invasive double staining procedure. *Journal of Food Engineering*. 118(2): 238-246.
39. Neethu KC, Sharma AK, Pushpadass HA, Emerald ME, Manjunatha M. 2016. Prediction of convective heat transfer coefficient during deep-fat frying of potato using neurocomputing approaches. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 34: 275-284.
40. Ngadi MO, Wang Y, Adedeji AA, Raghavan SV. 2009. Effect of microwave pretreatment on mass transfer during deep-fat frying of chicken nugget. *LWT-Food Science and Technology*. 42(1): 438-440.
41. Norizzah AR, Junaida AR, Maryam Afifah AL. 2016. Effects of repeated frying and hydrocolloids on the oil absorption and acceptability of banana fritters. *International Food Research Journal*. 23(2): 694-699.
42. Omidiran AT, Sobukola OP, Sanni A, Adebawale AR, Obadina OA, Sanni LO, Wolfgang T. 2016. Optimization of some processing parameters and quality attributes of fried snacks from blends of wheat flour and brewers' spent cassava flour. *Food science & nutrition*. 4(1): 80-88.
43. Paz-Gamboa E, Ramírez-Figueroa E, Vivar-Vera MA, Bravo-Delgado HR, Cortés-Zavaleta O, Ruiz-Espinosa H, Ruiz-López I. 2015. Study of oil uptake during deep-fat frying of Taro (*Colocasia esculenta*) chips. *CyTA-Journal of Food*. 13(4): 506-511.

44. Pedreschi F, Mariotti MS, Granby K. 2014. Current issues in dietary acrylamide: formation, mitigation and risk assessment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(1): 9-20.
45. Pedreschi F, Moyano P. 2005. Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering*. 70(4): 557-563.
46. Phule AS, Annapure US. 2013. Effect of coating of hydrocolloids on chickpea (*Cicer arietinum* L.) and green gram (*Vigna radiata*) splits during deep fat frying. *International Food Research Journal*. 20: 565-573.
47. Pinthus EJ, Weinberg P, Saguy S. 1993. Criterion for oil uptake during deep-fat frying. *Journal of Food Science*. 58(1): 204-205.
48. Pranoto Y, Marseno D, Haryadi W. 2009. Methylcellulose and hydroxypropyl methyl cellulose based coatings on partially defatted peanut to reduce frying oil uptake and enhance oxidative stability. *Journal of Food and Agro- Industry*. 2: 891-900.
49. Priya R, Singhal R, Kulkarni P. 1996. Carboxy methyl cellulose and hydroxyl propyl methyl cellulose as additives in reduction of oil content in batter based deep-fat fried boondis. *Carbohydrate Polymers*. 29: 333-335.
50. Sakhale BK, Badgujar JB, Pawar VD, Sananse SL. 2011. Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Science and Technology*. 48(6): 769-772
51. Sansano M, Castelló ML, Heredia A, Andrés A. 2016. Protective effect of chitosan on acrylamide formation in model and batter systems. *Food Hydrocolloids*. 60: 1-6.
52. Singthong J, Thongkaew C. 2009. Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. *LWT—Food Science and Technology*. 42: 1199–1203.
53. Sinthusamran S, Benjakul S. 2015. Effect of drying and frying conditions on physical and chemical characteristics of fish maw from swim bladder of seabass (*Lates calcarifer*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(15): 3195-3203.
54. Song XJ, Zhang M, Mujumdar AS. 2007. Effect of vacuum-microwave pre-drying on quality of vacuum-fried potato chips. *Drying Technology*. 25(12): 2021-2026.
55. Sothornvit R. 2011. Edible coating and post-frying centrifuge step effect on quality of vacuum-fried banana chips. *Journal of Food Engineering*. 107(3–4): 319-325.
56. Suárez RB, Campanone LA, Garcia MA, Zaritzky NE. 2008. Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*. 84(3): 383-393.
57. Sumnu SG, Sahin S. (Eds.). 2008. *Advances in deep-fat frying of foods*. CRC Press.
58. Torres JD, Acevedo D, Montero PM. 2017. Effects of vacuum frying on the attributes of quality of Arepa con Huevo. *Información Tecnológica*. 28(1): 99-108.
59. Usawakesmanee W, Chinnan M, Wuttijumngong P, Jangchud A, Raksakulthai N. 2008. Effect of edible coating ingredients incorporated into predusting mix on moisture content, fat content and consumer acceptability of fried breaded product. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 30(1): 25-34.
60. Urzúa C, González E, Dueik V, Bouchon P, Giménez B, Robert P. 2017. Olive leaves extract encapsulated by spray drying in vacuum fried starch-gluten doughs. *Food and Bioproducts Processing*. 106: 171–180.
61. Varela P, Fiszman SE. 2011. Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocoll*. 25: 1–12
62. Wexler L, Perez AM, Cubero-Castillo E, Vaillant F. 2016. Use of response surface methodology to compare vacuum and atmospheric deep-fat frying of papaya chips impregnated with blackberry juice. *CyTA-Journal of Food*. 14(4): 578-589.
63. Yazdanseta P, Tarzi BG, Gharachorloo M. 2015. Effect of some hydrocolloids on reducing oil uptake and quality factors of fermented donuts. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 6: 233-241.
64. Yu L, Li J, Ding S, Hang F, Fan L. 2016. Effect of guar gum with glycerol coating on the properties and oil absorption of fried potato chips. *Food Hydrocolloids*. 54: 211-219.
65. Zhang L, Yang M, Ji H, Ma H. 2014. Effects of high hydrostatic pressure processing on characteristics of batters and crusts from deep-fat-fried battered pork slices. *CyTA-Journal of Food*. 12(4): 313-319.
66. Zhang T, Li J, Ding Z, Fan L. 2016. Effects of Initial Moisture Content on the Oil Absorption Behavior of Potato Chips during Frying Process. *Food and Bioprocess Technology*. 9(2): 331-340.
67. Zhu Y, Zhang M, Wang YQ. 2015. Vacuum frying of peas: effect of coating and pre-drying. *Journal of food science and technology*. 52(5): 3105-3110.
68. Ziaifar A, Achir N, Courtois F, Trezzani I, Trystram G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology*. 43(8): 1410-1423.
69. Zolfaghari ZS, Mohebbi M, Khodaparast MH. 2013. Quality changes of donuts as influenced by leavening agent and hydrocolloid coatings. *Journal of Food Processing and Preservation*. 37(1): 34-45.