

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTO COMESTIBLE PARA REDUCIR LA
ABSORCIÓN DE ACEITE DURANTE EL PROCESO DE FREIDO EN LOS
ALIMENTOS”**

Por:

MIGUEL JAHUEY HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Saltillo, Coahuila, México, Septiembre del 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

"Aplicación de recubrimiento comestible para reducir la absorción de aceite durante el proceso de freído en los alimentos"

POR:

MIGUEL JAHUEY HERNANDEZ

Que se somete a consideración de H. jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez
Asesor Principal

MC. Sarahí del Carmen Rangel ortega
Vocal

MC. Mildred Inna Marcela Flores Verástegui
Vocal

M.C. Emilio Ochoa Reyes
Vocal suplente

Dr. Ramiro López Trujillo
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista Saltillo, Coahuila, México, septiembre del 2013.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS Por regalarme la vida y estar siempre conmigo en los momentos difíciles, demostrándome que cuento con él cuando más lo necesito, por todas las cosas maravillosas que me ha dado y prestado. Gracias Señor por vivir en mi corazón, por todo el amor que me has demostrado.

A MI ALMA MATER Gracias a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme dado la oportunidad de formarme como persona y profesionalmente, por los maravillosos momentos vividos y darme las bases suficientes para abrirme paso a la vida.

A LA DRA. DOLORES GABRIELA MARTINEZ VAZQUEZ por darme la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, por su disposición, tiempo, confianza y su cooperación para esta investigación, así como una gran profesora en mi formación profesional.

ALA M.C SARAHI DEL CARMEN RANGEL ORTEGA por su dedicación, tiempo y esfuerzo en la elaboración de este trabajo, pues gracias a sus conocimientos se culminó de manera satisfactoria por lo que siempre le estaré agradecido.

A LA M.C. MILDRED INNA MARCELA FLORES VERASTEGUI por su apoyo, dedicación y consejos, para el presente trabajo además de la confianza y por los materiales proporcionados para la realización de este trabajo.

AL M.C. EMILIO OCHOA REYES Por su apoyo, dedicación y consejos, para el presente trabajo además de su amistad.

AL T.Q.L CARLITOS ARÉVALO por el apoyo y consejos brindados en el laboratorio para la realización de esta investigación.

A HUGO JIMÉNES DE LA ROSA por el apoyo brindado para este trabajo.

AL ING. MAURO VÁZQUEZ JAHUEY por el apoyo recibido y sabios consejos que me brindo durante esta etapa profesional.

A TODOS MIS PROFESORES (MC. Xochitl Rúelas Chacon, Dra. Ma. de Lourdes Morales Caballero, Dra. Ana Verónica Charles Rodríguez, Lic. Laura O. Fuentes Lara, M.C. María Hernández González, Dr. Mario, Dr. Antonio Aguilera Carbón, M. C. Oscar Noé Reboloso Padilla). Que contribuyeron en mi formación profesional, compartiendo sus conocimientos, experiencias a lo largo de mi formación académica.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Regina Hernández Tlalnepantla Y Catarino Jahuey Cerón. Con mucho respeto, amor y cariño a mis padres: por ser mi inspiración, por haberme regalado el don de la vida, por darme toda su confianza porque gracias a sus consejos y ánimos he logrado uno de mis mas grandes anhelos, por su valioso apoyo, por ser mi guía y ejemplo a seguir en todo momento, por sus sacrificios en gran parte de sus vidas, por darme siempre lo mejor. Los amo y me siento muy orgulloso de ustedes. Dios los cuide y proteja siempre.

A MI HERMANA

Florentina. Con mucho amor y cariño que ha sido como una amiga durante este tiempo, por su apoyo, confianza y cariño, por estar conmigo cuando más las necesito.

A MIS HERMANOS

Marcelino, Sebastián, Enrique y Juan. Con mucho amor y cariño para ustedes. Por su apoyo incondicional en cada momento, por sus consejos, por su confianza, por compartir conmigo momentos muy felices que nunca olvidare, los quiero mucho y los admiro, gracias por ser los mejores hermanos, me siento muy orgulloso de ustedes, siempre estaré a su lado en todo momento.

A MIS FAMILIARES

A mis abuelos, tíos, primos y a toda mi familia por sus ánimos, consejos, por brindarme su apoyo incondicional en todo momento, gracias por su cariño y respeto, los aprecio y los quiero mucho.

En especial a mis primos, Mauro Vázquez jahuey y Bernardina Vázquez jahuey quienes han sido como mis hermanos.

A MIS AMIGOS

A todos mis amigos que durante toda esta etapa de mi vida estuvieron junto mi en buenos y malos momentos de mi vida (J. pablo, salvador, Salatiel, Eloy, Cristino, toki, Julen, Gilberto, Diego, Chaquetón, Luis Rubén, Claudio, Oscar ángel, Cesar Ariel) gracias por esos bellos, momentos compartidos con ustedes.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.2 HIPÓTESIS..... | 3 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 4 |
| CAPÍTULO II..... | 5 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 2.1 El freído..... | 5 |
| 2.2 Métodos de reducción de grasa en alimentos fritos..... | 7 |
| 2.3 Definición de cubierta y películas comestibles..... | 14 |
| 2.4 Recubrimientos para reducir la absorción de grasa..... | 23 |
| 2.5 Tipos de fluidos y propiedades reológicas..... | 27 |
| 2.6 Equipos para medir la viscosidad de fluidos..... | 34 |
| CAPÍTULO III..... | 37 |
| 3. MATERIALES Y METODOS..... | 37 |
| 3.1 Ubicación..... | 37 |
| 3.2 Determinación de temperatura de freído..... | 37 |
| 3.3 Preparación de las cubiertas comestibles..... | 38 |
| 3.4 Determinación de la viscosidad de las cubiertas..... | 39 |
| 3.5 Preparación y caracterización de las muestras..... | 39 |
| 3.6 Evaluación Sensorial..... | 44 |
| 3.7 Análisis de datos..... | 47 |
| CAPÍTULO IV..... | 48 |
| 4 RESULTADOS Y DISCUSIONES..... | 48 |
| 4.1 Selección de condiciones óptimas de freído..... | 48 |
| 4.2 Cubiertas comestibles..... | 51 |
| 4.3 Análisis de Color triestino..... | 56 |
| 4.4 Análisis de textura..... | 61 |
| 4.5 Determinación de grasa..... | 65 |
| 4.6 Evaluación sensorial..... | 68 |

| | |
|-----------------------|----|
| 5. CONCLUSIONES | 70 |
| 6. LITERATURA..... | 71 |
| 7. ANEXOS..... | 79 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Ventajas y desventajas del freído..... | 6 |
| Tabla 2. Clasificación de Hidrocoloides..... | 16 |
| Tabla 3. Características de los principales polisacáridos utilizados en la formulación de los recubrimientos... | 18 |
| Tabla 4. Características de las principales proteínas utilizadas en la formulación de recubrimientos comestibles..... | 19 |
| Tabla 5. Usos Posibles de Películas y cubiertas comestibles..... | 21 |
| Tabla 6. Temperatura de referencias..... | 40 |
| Tabla 7. Concentración de cubiertas utilizadas para evaluación sensorial..... | 45 |
| Tabla 8. Codificación de tratamientos para prueba de ordenamientos..... | 46 |
| Tabla 9. Punto de humo de aceites..... | 49 |
| Tabla 10. Temperatura y tiempo alcanzado de acuerdo a lo indicado en la escala del controlador de temperatura de la freidora..... | 50 |
| Tabla 11. Valores promedio obtenidos del análisis de textura (Presión ejercida, Kg/cm ²)..... | 62 |
| Tabla 12. Porcentajes determinación de grasa de muestras freídas a 140°C durante 12 min..... | 65 |
| Tabla 13. Atributos sensoriales de los diferentes tratamientos..... | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Curvas de flujo para distintos tipos de comportamientos..... | 30 |
| Figura 2. Tipos de fluidos no newtonianos independientes del tiempo..... | 31 |
| Figura 3. Comportamiento de un fluido tixotrópico..... | 33 |
| Figura 4. Comportamiento de un fluido reopéctico..... | 34 |
| Figura 5. Viscosímetro de tubo capilar..... | 35 |
| Figura 6. Viscosímetro rotatorio..... | 35 |
| Figura 7. Viscosímetro de cono plato..... | 36 |
| Figura 8. Escala del controlador de temperatura de la freidora..... | 38 |
| Figura 9. Medición de la temperatura..... | 38 |
| Figura 10. Elaboración de las cubiertas comestibles..... | 38 |
| Figura 11. Viscosímetro BROOKFIELD HB..... | 39 |
| Figura 12. Recipientes de plástico..... | 40 |
| Figura 13. Almacenamiento de muestras..... | 40 |
| Figura 14. Método de Aspersión..... | 41 |
| Figura 15. Método de Frotación..... | 41 |
| Figura 16. Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400..... | 42 |
| Figura 17. Diagrama de color L^*a^*b | 42 |
| Figura 18. Penetrómetro FT-327..... | 42 |
| Figura 19. Aparato de soxhlet..... | 44 |
| Figura 20. Estufa marca Telco, modelo 27..... | 44 |
| Figura 21. Muestras proporcionadas para su evaluación sensorial..... | 45 |
| Figura 22. Jueces evaluando las muestras..... | 46 |
| Figura 23. Comparación de las diferentes condiciones de freído: a) 140 °C durante 12 min, b) 160 °C durante 7 min, 190 °C durante 3 min..... | 51 |

| | |
|---|----|
| Figura 24. Efecto de la concentración de pectina en la curva reológica de la cubierta comestible..... | 53 |
| Figura 25. Efecto de la concentración de la goma guar en la curva reológica de la cubierta comestible..... | 54 |
| Figura 26. Efecto de la concentración goma guar (1%)..... | 54 |
| Figura 27. Efecto de la concentración goma guar (0.5%)..... | 54 |
| Figura 28. Efecto de la concentración de la goma xantana en la curva reológica de la cubierta comestible..... | 55 |
| Figura 29. Efecto de concentración de la goma xantana (0.5%)..... | 55 |
| Figura 30. Cromaticidad de muestras testigo a 3 diferentes temperaturas..... | 58 |
| Figura 31. Comportamiento de cromaticidad en alimento frito conteniendo una cubierta con diferentes concentraciones de pectina..... | 59 |
| Figura 32. Comportamiento de cromaticidad en alimento frito conteniendo una cubierta con diferentes concentraciones de goma guar..... | 60 |
| Figura 33. Comportamiento de cromaticidad en alimento frito conteniendo una cubierta con diferentes concentraciones de goma xantana..... | 61 |
| Figura 34. Textura en muestras de chorro freído a 140°C durante 12 min conteniendo recubrimientos de hidrocoloides con diferentes concentraciones..... | 64 |
| Figura 35. Porcentaje de grasa en muestras de chorro freído a 140°C durante 12 min conteniendo recubrimientos de hidrocoloides con diferentes concentraciones..... | 67 |
| Figura 36. Ubicación en el plano de cromaticidad de las muestras seleccionadas para evaluación sensorial..... | 69 |

RESUMEN

Hoy en día existen industrias dedicadas a la elaboración de productos fritos que mejoren las propiedades del alimento, sobre todo teniendo en cuenta que muchos de ellos, durante el proceso de freído tienden a absorber demasiada grasa en su interior. El freído es un proceso de cocción que consiste en la inmersión del alimento en grasa o aceite a temperaturas mayores de 100°C en un determinado tiempo, esto trae como consecuencia la absorción de aceites en el interior del alimento. Los churros de harina de trigo son uno de los alimentos que se fríen a temperaturas mayores de 100°C absorbiendo grandes cantidades de grasa en su interior, son alimentos que se consumen como merienda o como desayuno en algunos países del mundo existiendo la preocupación de que un consumo excesivo traiga como consecuencia problemas de salud.

Actualmente existen alternativas para reducir la absorción de grasa durante el proceso de freído, las cuales consisten de pre tratamientos a los que se somete el alimento tales como secado previo, uso de microondas, calentamiento óhmico, hidrocoloides, etc. sin embargo, algunos de estos métodos producen alteraciones o cambios no agradable en el alimento. Uno de los pretratamientos que se realizó en la presente investigación fue la aplicación de cubiertas comestibles, las cuales forman una capa protectora que impiden la entrada excesiva de aceite en el interior del alimento, llegando a ser parte del producto y permaneciendo en el mismo durante su consumo.

En el presente trabajo se utilizó como alimento modelo el churro de harina de trigo, al cual se le aplicaron diferentes cubiertas previo al proceso de cocción mediante freído. Se aplicaron 3 cubiertas comestibles a base de polisacáridos (pectina, goma guar y goma xantana) en forma individual analizando los cambios que presentó el alimento después de su aplicación. Así mismo se llevó a cabo una prueba sensorial discriminativa de ordenamiento para determinar la diferencia de atributos como color, suavidad y sensación grasosa de los churros cubiertos con hidrocoloides con respecto del churro sin cobertura. Los resultados de reducción

de grasa de las cubiertas fueron positivos en donde el tratamiento de pectina a una concentración de 1.5% fue la más efectiva reduciendo un 32.4% en comparación a la testigo, seguida de la goma xantana de 1% reduciendo un 24.48% y la menos efectiva fue la goma guar a 1.5% reduciendo un 6.42%. Reológicamente se determinó que los recubrimientos mostraron un comportamiento no newtoniano, siendo la pectina un fluido dilatante, en tanto que las gomas (xantana y guar) se comportaron como pseudoplásticos. En el análisis sensorial se encontró que el atributo de color fue el único que mostró diferencias significativas entre el alimento recubierto con respecto de la muestra testigo. Mientras en los análisis realizados por los instrumentos, se presentaron diferencia estadísticas en cuanto a textura y sensación grasosa.

Palabras claves: freído, cubiertas comestibles, reducción, grasa.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la panadería sigue creciendo en todo el mundo, y México no es la excepción, especialmente en EE.UU., sólo entre 1999 y 2000, hubo más de 1800 productos de panadería e ingredientes introducidos en el mercado. (Domblaser, L. 2000). Hoy en día los consumidores muestran mayor preocupación por el consumo de grasa, ya que ciertos productos de panadería como donas, pasteles, churros se fríen en la etapa final del proceso de elaboración (Pylar, E.J 1988, Amendola, 1993). Por lo tanto, el desarrollo de un producto frito bajo en grasa no solo satisface la demanda de este tipo de alimentos, sino también la cuestión de la salud, resultando en grandes ganancias económicas para aquel que logre cumplir con ésta meta (Moreira *et al*, 1999).

El freído es un proceso de cocción y de secado, a través del contacto con el aceite caliente, el calor se trasfiere de este producto, el agua se evapora y el aceite es absorbido (Kimber y Holding, 1987). El objetivo del proceso de freído consiste en sellar los alimentos en aceite caliente, es así como la mayoría de las características deseables de los productos fritos proviene de la formación de una estructura compuesta por una capa externa o corteza crocante, porosa y aceitosa y un interior húmedo y cocinado. La cantidad de aceite absorbido es directamente proporcional a la cantidad de humedad perdida (Gamble y Rice, 1987). La absorción de aceite y su distribución en el producto frito es principalmente cerca de la corteza es decir, superficial (Varela, 1988)

Una de las características más importantes de los productos fritos es la absorción de aceite, pero desafortunadamente el contenido de aceite se ha visto asociado con diversos tipos de enfermedades contribuyendo a la preocupación de la salud mundial. Enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y algunos tipos de cáncer son ocasionados por el alto consumo en grasa, es por eso que se han realizado diversas investigaciones centradas en la reducción de aceite de productos fritos (Sosa-Morales y Valez-Ruiz, 2009). Una alternativa son los

recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides, los cuales se han utilizados ampliamente en numerosos alimentos y bebidas. Típicamente, funcionan como agentes espesantes como, gelificantes, estabilizantes y emulsionantes, jugando así un papel importante en el control de la reología y textura de los alimentos, sin olvidar que han sido ampliamente utilizados para producir alimentos funcionales en las áreas de salud como una fuente general de fibras dietéticas. Además, los recubrimientos de hidrocoloides son de gran interés debido a sus propiedades de barrera deseables para gas/humedad y buenas características mecánicas (Baldwin *et al*, 1994). Específicamente, los recubrimientos de hidrocoloides se utilizan a menudo para reducir la absorción de aceite de los alimentos fritos ya que modifican la superficie de los alimentos contribuyendo a la reducción de la absorción de aceite durante este proceso de cocción (Mellema, 2003).

Los recubrimientos comestibles aplicados en un alimento tienden a actuar como una barrera a los elementos externos (factores como humedad, aceite, vapor) en donde forman una capa delgada que sirve como protección impidiendo la entrada o salida de compuestos que alteren el alimento (entrada excesiva de aceite, por ejemplo). En este trabajo se elaboraron 3 recubrimientos comestibles para determinar cuál de ellos ofrece una mejor barrera de absorción de aceite durante el proceso de freído del alimento modelo (churro de harina de trigo), además de evaluar las características sensoriales que le confieren a este.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La industria de la panadería que utiliza el freído como proceso de cocción en la elaboración de sus productos, tales como las donas y los churros, ha mostrado una evidente preocupación ya que el consumo de sus productos ha disminuido notablemente debido a la cantidad de aceite que absorben este tipo de alimentos por el alimento.

Por otro lado el creciente interés por buscar alternativas para la elaboración de productor fritos con bajo contenido de grasa, reduciendo con esto el riesgo de padecer enfermedades del tipo cardiovascular, diabetes, obesidad y algunos tipos de cáncer, es lo que ha originado la necesidad de utilizar técnicas novedosas que permitan ofrecer al consumidor productos benéficos bajos en grasa y que a la vez no influyan de manera directa sobre las propiedades nutricionales y organolépticas del alimento. Tal es el caso de la aplicación de recubrimientos comestibles, los cuales sirven como barrera evitando la entrada excesiva de aceite en los alimentos fritos, así como para mejorar sus propiedades organolépticas (color, textura y sabor).

1.2 HIPÓTESIS

La aplicación de cubiertas comestibles en productos de panadería como los churros de harina de trigo, actúa como barrera disminuyendo la absorción de grasa durante el proceso de freído.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de barrera de absorción de grasa mediante la aplicación de recubrimientos comestibles a base de hidrocoloides (pectina, goma guar y goma xantana) durante el proceso de freído de churros.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio reológico de las cubiertas aplicadas a los churros.
- Analizar cuantitativamente textura y color de los recubrimiento comestible aplicados.
- Determinar el contenido de grasa absorbida durante el proceso de freído con y sin la aplicación de los diferentes tipos de cubiertas.
- Evaluar sensorialmente los parámetros de color, sensación grasosa y textura en el producto terminado

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El freído

El freído es una operación de transferencia simultánea de masa y calor donde el cocimiento en aceite o grasa imparte varios atributos de calidad deseables como el sabor, textura, apariencia y olor a los productos alimenticios (Fellows, 1988).

Cuando los alimentos son introducidos en aceite caliente, su temperatura se incrementa notablemente y parte del contenido de agua se evapora. La superficie desde un principio debe hidratarse de manera similar desde el inicio del proceso de freído hasta el final del mismo. La temperatura de la superficie de los alimentos cuando se encuentran en el aceite caliente suele variar en comparación a la temperatura interna que es menor. Ésta última debe ser controlada por conducción con la temperatura externa y ésta a su vez por el coeficiente convectivo de transferencia de calor. El nivel de penetración del calor es controlado por la conductividad térmica del alimento. La superficie tiene una estructura porosa, consiste de diferentes tamaños capilares durante el freído, pero el agua y el vapor de agua son removidos por los capilares mayores y son reemplazados por el aceite. La humedad se mueve desde la superficie del alimento hasta la capa del aceite. Lo fino de la capa controla la proporción del calor y la transferencia de masa, que a su vez es fuertemente influenciada por la viscosidad y velocidad del aceite. En la tabla 1 se muestran algunas ventajas y desventajas del proceso de freído (Fellows, 1988).

Tabla 1. Ventajas y desventajas del freído

| Ventajas | Desventajas |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de productos en poco tiempo y de bajo costo • Aspecto agradable, color dorado, uniforme y brillante • Mayor estabilidad del producto. • Aceptabilidad por la mayoría de las personas desde los niños hasta los mayores • Equipos con mayor facilidad de uso | <ul style="list-style-type: none"> • Afectación de su calidad sensorial • Presencia de sustancias potencialmente tóxicas • Pérdida del <u>valor</u> nutritivo • Productos con una cantidad de aceite presente • Mantenimiento complejo de los equipos principalmente durante la limpieza |

El freído es una operación compleja e importante en la preparación de alimentos industriales o institucionales, existiendo básicamente dos métodos de freído.

Freído superficial o de contacto: Este método es el más experimentado en alimentos que tienen una gran superficie. El calor es transferido por medio de conducción al alimento a través de la capa delgada de aceite desde la superficie del medio de calentamiento (Saguy y Pinthus, 1995).

Freído por inmersión: El freído por inmersión involucra la transferencia de calor del aceite que rodea el producto al interior del mismo.

Muchos cambios químicos y físicos ocurren durante el freído incluyendo la gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, vaporización del agua y formación de costra. En adición a la transferencia de calor, se lleva a cabo una transferencia de masa. Esta es una característica del movimiento del aceite dentro del producto y el movimiento del agua en forma de vapor del producto hacia el aceite. Varios modelos semiempíricos que describen una relación de pérdida de agua y ganancia de aceite han sido sugeridos (Saguy y Pinthus, 1995).

La transferencia de calor es una combinación de convección entre el aceite caliente y la conducción al interior del alimento. Todas las superficies del alimento reciben un tratamiento similar de calor para producir una apariencia y color uniforme. El freído por inmersión se adapta a alimentos de todas las formas, pero alimentos con contornos irregulares tienden a retener una gran cantidad de aceite cuando se retira del equipo de freído. Los coeficientes de transferencia de calor

son de 250 a 300 W/m²K antes de que la humedad por evaporación de la superficie empiece, pero subsecuentemente se incrementa a 800-1000 W/m²K debido a la violenta turbulencia causada por el vapor que escapa del alimento. Sin embargo, si la relación de evaporación es muy alta una pequeña película de vapor de agua permanece alrededor del alimento y reduce el coeficiente de transferencia de calor (Hallström, 1980).

2.2 Métodos de reducción de grasa en alimentos fritos

Recientemente, varias investigaciones se han llevado a cabo con el objetivo de buscar alternativas para reducir la absorción de aceite en productos fritos (Rimac-Brcic *et al*, 2004). Algunos enfoques para reducir el contenido de grasa son: disminución del contenido de humedad de los alimentos antes de freír con aire caliente y microondas (Moreno y Bouchon, 2008); escaldado (Rimac-Brcic *et al*, 2004; Pedreschi y Moyano, 2005a; Pedreschi y Moyano, 2005b; Pedreschi *et al*, 2009); aplicación de pulsos eléctricos (Janositz *et al*, 2011); deshidratación osmótica (Sahin y col. 2007, Moreno y Bouchon, 2008); aplicación de recubrimientos comestibles usando hidrocoloides como metilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa y zeína de maíz (Mallikarjunan *et al*, 1997). El gran potencial de reducción en la absorción de aceite de estos tratamientos previos no se debe en su totalidad a una reducción del contenido de humedad, como generalmente se cree, sino que también ocurren cambios estructurales en la superficie de la pieza, lo que reduce su permeabilidad (Moreno y Bouchon, 2008).

2.2.1 Calentamiento óhmico

El calentamiento óhmico (calentamiento dieléctrico o efecto Joule) tiene lugar por el calor generado por la resistencia de un material al paso de una corriente eléctrica, lo cual está relacionado con las propiedades dieléctricas del material, como capacitancia (capacidad de almacenar energía eléctrica) y resistencia al paso de la energía eléctrica. (Martínez-Bustos *et al*, 2005). El rango de calentamiento se determina por el voltaje aplicado y por la conductividad

eléctrica del producto. La cantidad de calor que se pueda aplicar depende de cuanta variación de conductividad exista en el producto y el tiempo de residencia. Las ventajas de su uso son: ahorro de energía, reduce el riesgo de contaminación, ocurre un calentamiento rápido (índices de calentamiento de hasta 1 °C por segundo) y el control fácil del proceso (Morales, 2008).

Salengke y Sastry, (2007) obtuvieron una reducción del contenido de aceite en papas fritas pretratadas con calentamiento óhmico de 2% inferior al control (33.79% para el control contra 31.84% para las muestras tratadas). El pretratamiento óhmico en rodajas de papa puede causar cambios estructurales y así modificar las propiedades de la corteza (porosidad y tamaño de poro) de papas fritas (Salengke y Sastry, 2007). Además de que incrementa la difusión de la humedad debido a un aparente aumento en la cantidad de humedad en la superficie de los cortes y en la humedad liberada durante y después del tratamiento. Este fenómeno podría sugerir que el tratamiento óhmico puede dar lugar a la formación de micro túneles en los tejidos vegetales mediante la reducción de las fuerzas intercelulares (adhesión celular) o que puede conducir a un aumento en la tasa de evaporación de la humedad durante el freído. La presencia de los micros túneles puede conducir a un movimiento más continuo de la humedad (evaporación) durante el freído, al mismo tiempo que limita las pérdidas de humedad en sitios (lugares dañados) de la superficie de los productos fritos. La presencia de los micro túneles también puede reducir la cantidad de vapor atrapado (disminuir la presión acumulada) en los poros durante el freído, lo que puede reducir la presión capilar, por lo tanto, menor absorción de aceite durante el enfriamiento. El tratamiento óhmico induce cambios estructurales en los tejidos de la papa y esto puede conducir a la reducción de la absorción de aceite durante el freído y posterior enfriamiento (Salengke y Sastry, 2007).

2.2.2 Microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas (espectro electromagnético) con una longitud de onda que se puede medir en centímetros. El rango de frecuencia va desde los 300 MHz hasta los 300 GHz; las longitudes de onda son emitidas por una lámpara de alta frecuencia, denominada magnetrón (dispositivo que transforma la energía eléctrica en un campo electromagnético). Los microondas domésticos e industriales operan a frecuencias de 2450 MHz ($\lambda=12.2$ cm) y 915 MHz. En EE.UU., estas frecuencias están designadas por la comisión federal de comunicaciones (FCC) para las aplicaciones de tratamiento térmico por microondas, el calentamiento es casi instantáneo y rápido (Morales, 2008). Las microondas son radiaciones no ionizantes, es decir, no rompen enlaces químicos ni originan cambios moleculares en los componentes alimentarios. Además, generan calor por calentamiento dieléctrico, lo que en términos simples involucra la conversión de energía eléctrica en calor haciendo que las moléculas de agua en el alimento oscilen rápidamente en un campo eléctrico que cambia de dirección. El alimento absorbe energía alternadamente y posteriormente provoca una excitación entre sus moléculas (fricciones y choques) que dan lugar a un aumento de la temperatura en su interior, el resultado es un proceso de calentamiento rápido (Morales, 2008).

Algunas ventajas de las microondas son la rapidez del proceso, calentamiento uniforme, eficiencia de conversión de energía (no se invierte energía en calentar el aire o las paredes del horno, lo cual conduce a un ahorro de energía), mejor y más rápido proceso de control (naturaleza del “encendido-apagado” de calentamiento y facilidad para cambiar el grado de potencia), requerimientos de espacio menores y calentamiento selectivo (Song *et al*, 2007).

El secado por microondas al vacío (VMD) es una alternativa para mejorar la calidad de los productos deshidratados. El calentamiento por microondas genera un secado muy rápido. Debido a que el punto de ebullición del agua en condiciones de vacío es bajo, el secado por microondas al vacío puede realizar

tareas de secado a menor tiempo y temperatura. Además, la falta de aire durante el secado puede inhibir la oxidación, por lo que el color y los nutrimentos de los productos pueden ser preservado por más tiempo (Song *et al*, 2007).

Song *et al*, 2007 evaluaron el efecto del pretratamiento secado al vacío por microondas sobre la absorción de grasa durante el freído de papas y encontraron que el contenido de aceite en las rodajas de papa escaldadas estuvo en 0.30 kg después de 20 min de freído, y en las pretratadas por 5, 10 y 15 min fueron de 0.25, 0.22 y 0.17 kg en mismo tiempo de freído.

2.2.3 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica es usada primeramente para la deshidratación parcial del material mediante la eliminación de una gran parte del contenido de agua. Al mismo tiempo ciertos sólidos son difundidos dentro de la matriz del material (Krokida *et al*, 2001). La deshidratación osmótica se ha utilizado para reducir el contenido inicial de humedad, conservar y mantener la calidad inicial de las frutas y verduras procesadas. Los productos alimenticios se sumergen en diferentes soluciones acuosas, por lo general de azúcar o sal (Sahin *et al*, 2007). Durante el procesamiento osmótico, el agua fluye fuera del producto hacia la solución osmótica concentrada, mientras que pequeñas cantidades de soluto osmótico es transferido de la solución hacia dentro del producto (Sahin *et al*, 2007), una prueba realizada fue el caso de los chips de uvilla donde se utilizó, la deshidratación osmótica como tratamiento previo a la fritura la cual se realizó por inmersión en aceite con el propósito de alterar las características de un alimento. Un efecto adicional es la preservación que resulta de la destrucción térmica de microorganismos y enzimas, una reducción de la actividad de agua y una reducción de aceite (Janeth, 2008).

2.2.4 Pulsos eléctricos de alto voltaje

Pulsos eléctricos son una tecnología de procesamiento no térmico, que consiste en la aplicación de repetidos y cortos pulsos de alto voltaje. Su aplicación en material celular vegetal se realiza con el objetivo principal de mejorar el transporte de masa a través de la permeabilización (poros) de la membrana celular con menos degradación de los compuestos nutritivos. El empleo de pulsos eléctricos en el tratamiento de los tejidos vegetales puede ser utilizado para aumentar el rendimiento de extracción en la producción de jugo de frutas y de verduras (Janositz *et al*, 2011).

Un tratamiento suave reversible de pulsos eléctricos ($E = 0.5 -1 \text{ kV/cm}$) mantiene la viabilidad de las células y se puede utilizar como estimulante de las células vegetales para producir metabolitos secundarios y pulsos de mayor energía ($E > 1,0 \text{ kV/cm}$) provoca desintegración permanente de la membrana y por lo tanto la destrucción mecánica de la célula. La aplicación de pulsos eléctricos a moderada intensidad de campo eléctrico durante el secado de papas, permite la realización del pretratamiento térmico a temperaturas menores, en tanto que para el proceso de deshidratación osmótica se mejora la difusión del agua y la solución (Janositz *et al*, 2011).

Janositz *et al*, (2011) obtuvieron una reducción en el contenido de grasa de papas fritas de 38.66%, al aplicar una intensidad de campo de $E=2.5 \text{ Kv/cm}$ durante 5 s.

2.2.5 Cubiertas comestibles

Las cubiertas comestibles son capas delgadas elaboradas de materiales biodegradables que pueden ser ingeridos, y proveen una barrera a la humedad, oxígeno y solutos. Se utilizan para cubrir por completo el alimento o pueden colocarse en los componentes del producto (Saucedo-Pompa *et al.*, 2009), para mejorar las propiedades organolépticas de los alimentos, incrementar la vida de anaquel y reducir el uso de materiales de embalaje descartables y no degradables.

Dependiendo de su composición química, las cubiertas pueden: (1) regular procesos de transferencia de masa involucrando oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua, etileno y otros compuestos volátiles y (2) tener efecto en las propiedades mecánicas de los alimentos. Además se adicionan, agentes antimicrobianos, antioxidantes, sabores, colores, agentes entrecruzadores y plastificantes para mejorar las propiedades funcionales de las cubiertas (Galiotta *et al.*, 2005).

Las cubiertas comestibles pueden ser formuladas a base de proteínas, lípidos y/o carbohidratos (principales componentes). Se ha reportado que varios polímeros de cadena larga, hidrocoloides especialmente derivados de celulosa, forman geles que pueden ser utilizados para reducir la absorción de aceite durante el freído. La permeabilidad al oxígeno, al vapor de agua, resistencia a la tracción y alargamiento son atribuidos a las características de la película (peso molecular y grosor). Los principales métodos de aplicación de la cubierta son: inmersión, aspersión y frotación (Williams, 1997).

Se han usado recubrimientos y películas comestibles como barreras a la incorporación del aceite durante el proceso de freído. Los materiales de recubrimientos principalmente se forman a partir de proteínas (soya y suero), albúmina, maíz, gluten, celulosa y sus derivados, alginatos, pectina, almidón y otros polisacáridos (De Grandi *et al.*, 2009). Los hidrocoloides (metilcelulosa [MC], hidroxipropilcelulosa [HPC] e hidroxipropilmetilcelulosa [HPMC]) se agregan a los productos para controlar y mejorar sus propiedades funcionales como viscosidad, capacidad de retención de agua y estabilidad de emulsión. Algunos hidrocoloides, como polisacáridos de cadena larga sobre todo, pueden reducir la absorción de aceite durante el freído y proporcionar pocos cambios en las propiedades sensoriales de los alimentos (Rimac-Brcic *et al.*, 2004; Mallikarjunan *et al.*, 1997).

Diversos hidrocoloides con gelificación térmica o propiedades espesantes, como proteínas y carbohidratos, han sido puestos a prueba frente a la migración de aceite y agua (Debeauford y Voilley, 1997; Williams y Mittal, 1999).

Investigaciones con esferas de puré de papa reportaron una disminución en la humedad de dicho alimento en 14.9, 21.9, y 31.1% y en el consumo de grasa de 59.0, 61.4, y 83.6% para muestras recubiertas con zeína, hidroxipropilmetilcelulosa y metilcelulosa (Mallikarjunan *et al.*, 1997).

De acuerdo a Williams y Mittal (1999), las películas de MC mostraron mejores propiedades de barrera frente a la absorción de grasa que la hidroxipropilcelulosa (HPC) y la goma gellan.

García *et al.*, (2002) hicieron uso de MC y HPMC en la formulación de recubrimientos aplicados a trozos de patata (0.7 x 0.7 x 5.0 cm.) y discos de harina de trigo (3.7 cm de diámetro x 0.3 cm de alto), los cuales fueron sumergidos en la suspensión de recubrimiento por 10 segundos e inmediatamente freídos. Los recubrimientos más efectivos fueron 1% MC y 0.75% sorbitol para los discos de harina de trigo, 1% MC y 0.5% sorbitol para los trozos de patata. En estas formulaciones el consumo de aceite se redujo a 35.2 y 40.6% para los discos de harina de trigo y los trozos de patata respectivamente. Finalmente no se dio un impacto significativo sobre las características sensoriales de acuerdo al grupo de panelistas.

Singthong y Thongkaew, (2009) investigaron la influencia de los hidrocoloides, alginato de sodio, CMC y pectina, sobre la absorción de aceite en chips de banano. La muestra control o no recubierta presentó un consumo de aceite máximo de 40 g/100 g de muestra, los menores consumos de aceite se obtuvieron para chips de banano blanqueados o escaldados en 0.5g de CaCl₂/100 ml de agua destilada (A.D.) y tratados con una estructura de recubrimiento a base de pectina con una concentración de 1 g/100 ml de AD. El mismo comportamiento fue presentado por los chips de banano escaldados en una solución de CaCl₂ a una concentración de 0.5 g/100 ml de agua destilada y recubiertos con una estructura a base de CMC (1.0 g CMC/100 ml de A.D). Para estos dos recubrimientos el consumo de aceite fue similar y se redujo desde un valor inicial de 40.22 g/100 g de muestra, a 22.89 y 22.90 g/100 g., respectivamente.

2.3 Definición de cubierta y películas comestibles

Las cubiertas o recubrimientos involucran la forma de una estructura del polímero directamente en la superficie del objetivo que se pretende proteger o mejorar de alguna manera. De esta forma, los recubrimientos llegan a ser parte del producto y permanecen en el mismo durante su uso y consumo (Krochta y De mulder-Johson, 1997; Trejo, 2010). En tanto que películas son estructuras del polímero que se forma independientemente y que permanecen separadas de cualquier intención de uso. Estas películas se utilizan como estructura de prueba para la determinación de propiedades de barrera, mecánica, solubilidad y otras proporcionadas por un cierto material de película (Krochta y De mulder-Johson, 1997; Trejo, 2010). En resumen la diferencia entre las películas y cubiertas consiste en que en general, las primeras son preformadas y las segundas se forman directamente sobre los productos en los que se aplican (Bosques *et al.*, 2000).

Las cubiertas y las películas se han clasificado en base al material estructural, de modo que se hablan de cubiertas y películas basadas en proteínas, lípidos, carbohidratos o compuestas (composites). Un film o película compuesta consiste en lípidos e hidrocoloides combinados para formar una bicapa o un conglomerado (Krochta *et al.*, 1994). En estudios recientes las tecnologías de películas comestibles y biodegradables contemplan la producción de películas comestible mediante la combinación de diversos polisacáridos, proteínas, y lípidos, con la tarea de aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre los componentes implementados, ya que las propiedades mecánicas y de barrera dependen de los compuestos que integran la matriz polimérica y de su compatibilidad (Altenhofen *et al.*, 2009).

Algunos polisacáridos como hidrocoloides de naturaleza proteica que han sido objeto de investigación como películas y cubiertas son: carboximetilcelulosa, caseína (Ponce *et al.*, 2008), pectina, así como su mezcla junto a alginato de sodio y el efecto de la adición de CaCl_2 como material entrecruzante (Maftoonazad *et al.*, 2007).

2.3.1 Propiedades de las películas y cubiertas comestibles

De acuerdo a Kester y Fennema (1986) los recubrimientos comestibles deben presentar ciertos requerimientos funcionales que permitan controlar o aminorar las causas de alteración de los alimentos a recubrir. Algunos de estos requerimientos, dependientes de la naturaleza del producto alimenticio al cual se aplica y de su principal mecanismo de deterioro son:

- Propiedades sensoriales: deben ser transparentes, no otorgar sabor y olor diferente al alimento y no ser detectados durante su consumo.
- Propiedades barrera: presentar una adecuada permeabilidad al vapor de agua y solutos y una permeabilidad selectiva a gases y volátiles.
- Deben estar libres de tóxicos y ser seguros para la salud.
- Deben requerir una tecnología simple para su elaboración.
- La materia prima y el costo de producción del recubrimiento deben ser bajo.

Para que los recubrimientos comestibles sean funcionales y por tanto, óptimos, se deberá otorgar una especial importancia a la selección de los materiales que los forman, ya que sus propiedades están fuertemente afectadas por la naturaleza de sus componentes, composición y estructura final.

2.3.2. Composición de los recubrimientos comestibles

Los recubrimientos comestibles pueden agruparse en tres categorías, dependiendo del tipo de compuesto que incluyen en su formulación:

2.3.2.1 Hidrocoloides

Son polímeros hidrófilos de origen vegetal, animal, microbiano o sintético (Tabla 2). Debido a su naturaleza coloidal se denominan hidrocoloides.

Las principales funciones de los hidrocoloides son las siguientes: facilitar el proceso de fabricación, prevenir características indeseables en los alimentos, aumentar el rendimiento del producto final, mantener las propiedades

organolépticas durante la vida de anaquel, controlar viscosidad, evitar la separación de fases, prevenir la sinéresis, aumentar vida de anaquel, mejorar la palatabilidad, retardar y controlar la formación de cristales de hielo y cristales de azúcar, mantener partículas en suspensión, formación de geles, retardar la migración de aceite, retención de humedad, estabilizar espuma, etc.

Tabla 2. Clasificación de Hidrocoloides

| Origen | Gomas extraídas |
|---------------------------------------|---|
| Vegetal | Exudados: goma arábica, karaya, tragacanto, ghattin. Plantas o frutos: almidón, pectina Semillas: goma guar, algarrobo, tara Tubérculos: konjac Algas: agar, carrageninas, alginatos. |
| Animal | Origen animal: grenetina, caseinatos, proteínas de suero, quitosano. |
| Microbiano o sintético | Origen microbiano: xantano, curdlan, dextrano. |
| Gomas modificadas químicamente | Derivado de celulosa: metilcelulosa Otros: almidones modificados, pectinas de bajo metoxilo. |

El principio de acción de todo hidrocoloide empieza por la disolución de la macromolécula y su facilidad de solubilización depende de la naturaleza de la misma. También hay que tener en cuenta la granulometría, porosidad, superficie específica, presencia de impurezas, etc. La necesidad de solubilizar las moléculas del hidrocoloide obliga a que la dispersión asegure que cada partícula se encuentre separada en la disolución para evitar la formación de grumos. Una vez hidratado, si las uniones intermoleculares son relativamente débiles, una elevación de temperatura o una agitación mecánica conseguirán que las moléculas del hidrocoloide se dispersen completamente (Cubero *et al.*, 2002).

Los hidrocoloides clasificados como aditivos son cadenas más o menos largas de diferentes azúcares y sus derivados. Estas cadenas pueden ser lineales o estar ramificadas. Según las características de las cadenas, su longitud, sus ramificaciones, la forma en que se agrupan las ramificaciones y si tienen cargas eléctricas o no, pueden ser solubles en frío o pueden necesitar un tratamiento térmico previo para poder solubilizarse y ejercer su función.

- ✓ Solubles en frío: no necesitan tratamiento térmico para dar viscosidad o gelificar: alginato, goma guar, goma arábica, goma xantana, konjac.
- ✓ Solubles en caliente: necesitan tratamiento térmico para dar viscosidad o gelificar. Normalmente el efecto se aprecia más cuando se enfría la solución: agar, carragenato, goma garrofín, Pectinas (anónimo 1).

2.3.2.2 Polisacáridos

Los polisacáridos forman recubrimientos con buenas propiedades mecánicas, son una buena barrera para los gases como el oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), pero no impiden suficientemente la transmisión de vapor de agua (Drake y col., 1988), además de que pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales. La desventaja al utilizar este tipo de películas es que las propiedades de barrera a la humedad son muy bajas debido a la naturaleza hidrofílica de las mismas. Se han elaborado películas a partir de celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, gomas y mezclas.

Estas películas, la mayoría de las veces son fuertes, de color claro, resistentes relativamente al paso del agua, no se ven afectadas por aceites, grasas o solventes orgánicos no polares (UDLAP, 2011).

En la Tabla 3 se muestran los principales polisacáridos utilizados en la formulación de los recubrimientos y sus características más relevantes

Tabla 3.-Características de los principales polisacáridos utilizados en la formulación de los recubrimientos.

| TIPO | Compuesto | Permeabilidad al vapor de agua /gases | NP | Otros |
|----------------------|-------------------|---------------------------------------|----|------------------------|
| POLISACARIDOS | MC,CMC,HPC,HMPCMC | Baja/Alta | Si | GRAS Flexible |
| | Dextrina | Alta/Moderada | | Secado lento |
| | Arginato | Baja/Moderada | Si | Frágil |
| | Quitosano | Moderada/Alta | No | GRAS Antimicrobiano |
| | Pectina | Baja/Alta | | GRAS |
| | Carrageno | Baja/Moderada | | Frágil |
| | Goma arábica | Baja/Moderada | | Buena adhesión |
| | Goma guar | Baja/Moderada | | Firmeza |
| | Goma xantana | Baja/Moderada | | Buena adhesión |

NP: Necesita Plastificante

MC: Metilcelulosa; CMC: Carboximetilcelulosa

HPC: Hidroxipropil celulosa; HPMC: Hidroxipropil metilcelulosa

Adaptado de Pastor *et al.*, 2005, Vargas *et al.*, 2008

2.3.2.3 Proteínas

Las proteínas utilizadas en la formulación de recubrimientos comestibles pueden ser de origen animal (caseínas, proteínas del suero lácteo) o de origen vegetal (zeína de maíz, gluten de trigo, y proteína de soja, principalmente) y dependiendo de este origen muestran una amplia variedad de características moleculares. Así, las proteínas varían en su peso molecular, conformación, carga (dependiendo del pH), flexibilidad y estabilidad térmica y las diferencias en estas características moleculares determinarán su habilidad para formar recubrimientos así como sus propiedades

En la tabla 4 se menciona las principales proteínas utilizadas en la formulación de los recubrimientos y sus características más relevantes (Pastor *et al.*, 2005, Vargas *et al.*, 2008).

Tabla 4. Características de las principales proteínas utilizadas en la formulación de recubrimientos comestibles.

| Tipo | Compuesto | Permeabilidad | | |
|----------|--------------------------|---|----|-------------------|
| | | al vapor de agua/gases | NP | Otros |
| Proteína | Zeína | Bajo /alto | si | GRAS |
| | Proteína de suero lácteo | Moderada y alta | Si | Flexible |
| | Caseína | Moderada/baja | -- | Frágil |
| | Colágeno | Baja/alta | -- | Duro |
| | Gelatina | Alta/alta | -- | Flexible y fuerte |
| | Gluten | Dependiente del PH y del disolvente /Alta | Si | Frágil |
| | Proteína de soja | Baja/Baja | -- | Flexible |

NP: Necesita Plastificante (Pastor *et al.*, 2005 y Vargas *et al.*, 2008).

2.3.2.4 Lípidos

Formados por compuestos hidrofóbicos y no poliméricos (Krochta y munder-johson, 1997) con buenas propiedades barrera al vapor de agua y a los gases, pero con poca capacidad para formar recubrimientos (Shellhammer y Krochta, 1997). Reducen la transpiración, la deshidratación, la abrasión en la manipulación posterior (Hernández, 1994) y pueden mejorar el brillo (Nísperos-Carriedo *et al.*, 1992). Sin embargo, los recubrimientos basados en lípidos presentan una superficie grasienta y propiedades organolépticas no deseadas como un sabor a cera y cierta rancidez (Guilbert, 1986).

Los lípidos se utilizan en la formulación de recubrimientos con el objetivo de mejorar la propiedad barrera al vapor de agua. Entre los lípidos comestibles que

pueden ser incorporados en la formulación de recubrimientos comestibles se encuentran las ceras (cera de abeja, cera candelilla y cera carnauba), y los ácidos grasos tales como el ácido esteárico, palmítico, láurico y oleico, entre otros (Guilbert, 1986).

2.3.2.5 Composites o compuestos

Formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos que aprovechan las ventajas de cada grupo y disminuyen sus inconvenientes (Greener y Fennema, 1994). En general, los lípidos aportan resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides, permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂, durabilidad, buena cohesión estructural o integridad.

Los composites pueden ser de capas separadas, llamados multilaminados o bicapas, o formados por una única capa. Los bicapa se forman en dos etapas: en la primera se forma la base de polisacárido o proteína y en la segunda, se aplica el lípido sobre la base previamente formada (Greener y Fennema, 1994).

En los recubrimientos monocapa, es necesaria la dispersión o emulsión del lípido en la fase hidrofílica que contiene la disolución de hidrocoloide y su posterior extensión y secado (Shellhammer y Krochta, 1997). Martín-Polo *et al.*, (1992) estudiaron el efecto de la estructura del film sobre la propiedad barrera al vapor de agua, proponiendo un modelo de resistencias en serie para los films bicapa y un modelo de resistencias en paralelo para los films procedentes de una emulsión, en el que la transferencia de vapor de agua se realiza mayoritariamente a través de la fase hidrocoloide.

2.3.3 Importancia y funciones de los recubrimientos comestible

Las películas y las cubiertas comestibles pueden cumplir muchos de los requisitos involucrados en la comercialización de alimentos entre los que destacan el valor nutricional, la sanidad, alta calidad, estabilidad y economía, al realizar una o más de las funciones indicadas en el tabla 5.

Tabla 5. Usos posibles de películas y cubiertas comestibles

| Función /aplicación | Tipo adecuado de película y recubrimiento |
|---|---|
| Retardar migración de humedad | Lípidos, compuesto |
| Retardar migración de gas | Hidrocoloide, lípido, o compuesto |
| Retardar migración de aceite y grasa | Hidrocoloide |
| Retardar migración de soluto | Hidrocoloide, lípido, o compuesto |
| Mejorar la integridad estructural o propiedad de manejo. | Hidrocoloide, lípido, o compuesto |
| Retener compuestos volátiles de sabor | Hidrocoloide, lípido, o compuesto |
| Vehículo de aditivos alimentarios. | Hidrocoloide, lípido, o compuesto |

Fuente: (Greener y Fennema, 1994).

2.3.4 El futuro de los recubrimientos comestibles

En la actualidad aunque la aplicación de la tecnología no está muy extensa, se espera que se haga extensiva a toda clase de productos, tanto frescos como tratados (secos, rehidratados, etc.). Su aplicación permitirá, en algunos casos, la eliminación de los envases tradicionales y por tanto, mejorará el impacto medioambiental al generar menos materiales de desecho. La tendencia se centrará en el desarrollo de recubrimientos con componentes bioactivos que permitan alargar la vida útil y mejorar la calidad de los productos. Estos recubrimientos podrían actuar realizando la degradación de los compuestos funcionales tales como vitaminas, enzimas pro o prebióticos en la matriz del alimento a través del tiempo. Inicialmente, estos compuestos actuarían en la superficie del producto pero a medida que transcurriera el tiempo entrarían en la matriz del producto por difusión. Teniendo en cuenta las preferencias de los consumidores por productos frescos y sin aditivos, estos componentes bioactivos deberán ser preferiblemente componentes naturales (Vargas *et al* 2008).

Estudios recientes apuestan por la aplicación de micro y nanotecnologías para desarrollar recubrimientos comestibles en los que se puedan incorporar

compuestos en forma de micro o nano encapsulados que permitan controlar el pH, temperatura o presión del medio. La encapsulación protegerá a los componentes bioactivos de forma que estos sean biológicamente activos en el momento de ser consumidos (Weiss *et al.*, 2006). Otra futura aplicación consiste en el uso de recubrimientos multicomponentes mediante la deposición de nano compuestos que permitan mejorar sus propiedades (Vargas *et al.*, 2008).

Las investigaciones deben ir dirigidas hacia la obtención de recubrimientos adecuados para cada tipo de producto, de modo que se consiga un control óptimo de la permeabilidad a los gases, de los cambios de color y de textura y en la calidad nutricional de los mismos.

2.3.5 Técnicas de aplicación de recubrimientos

El modo de aplicación de un recubrimiento comestible depende en gran medida del tipo del producto que se desee recubrir (Soliva y Martin, 2001). La aplicación directa de la solución formadora de película, sobre el alimento o producto, se puede llevar a cabo por métodos de inmersión, frotación, aspersion, pulverización o pintado, o bien como una envoltura continua que separa distintos componentes alimenticios, que puede ser consumida como parte del producto (Guilbert, 1986; Gennadios y Weller, 1990).

2.3.5.1 INMERSIÓN

Es la técnica que proporciona mejores resultados en el caso de productos que requieren una capa uniforme en una superficie irregular. Esta técnica es la más utilizada en el recubrimiento de frutas, vegetales y productos cárnicos (Tharanathan, 2003). Posteriormente a esto se procede a un escurrido y secado, dejando que una película delgada sea formada sobre la superficie del producto (Perez y Baez, 2003).

2.3.5.2 Aspersiones

La aplicación de cubiertas por aspersion es el método convencional usado generalmente en la industria de pastas, pastelerías, panadera, frutería, dulcería

etc., es uno de los métodos que más se emplean en la industria alimentaria. Debido a la alta presión, un menor gasto de solución formadora de la cubierta es requerida para obtener recubrimientos uniformes (García Ángel, 2009).

2.3.5.3 Frotaciones

El método de la frotación utiliza aire comprimido (menor de 5 psi o 35 Kpa), éste es aplicado generalmente en líneas de empaque que poseen rodillos en movimiento para lograr una dispersión uniforme. El exceso de cubierta es removido con cepillos colocados por debajo de los rodillos. La cubierta espumosa contiene un poco de agua para facilitar el proceso de secado (García Ángel, 2009).

2.4 Recubrimientos para reducir la absorción de grasa

Las cubiertas comestibles son una alternativa para la reducción de aceite en los alimentos fritos, éstas forman capa protectora que puede llegar a impedir la entrada rápidamente de aceite en el interior del alimento y se ha reportado que las de naturaleza hidrocoloidal son eficientes para reducción de absorción de aceite durante el freído de los alimentos, tal es el caso de la metilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa, zeína de maíz, quitosano, pectina, goma arábica, goma xantana, caseinato, goma guar, etc.,(Mallikarjunan *et al.*, 1997).

A continuación se mencionan las características de algunos de los hidrocoloides más utilizados como barrera de transferencia de aceite en el proceso de freído de los alimentos.

2.4.1 Pectina

La pectina es un complejo heterogéneo de polisacáridos presentes en las paredes celulares vegetales teniendo un importante papel en la fisiología vegetal. Su composición varía dependiendo de la fuente y las condiciones aplicadas durante su extracción. La pectina fue descubierta en 1790, cuando Vauquelin encontró primeramente una sustancia soluble en los zumos de fruta.

El científico francés Braconnot continuó el trabajo de Vauquelin, y encontró que se trataba de una sustancia ampliamente disponible de plantas vivas ya que tenían propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido a su solución. Lo llamó pectina ácida del griego “pectos” que significa sólido, coagulado.

La pectina fue definida por Kertesz en 1951, como los ácidos pectínicos solubles en agua de grado de metilación variado que son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones determinadas. Esta definición abarca la gelificación con calcio de los ácidos pectínicos, aislados de plantas ya que contenían una cierta proporción de grupos metil-éster. De ahí que el término pectina se usa colectivamente para incluir ácido péctico, la forma de pectina completamente desesterificada (Renovato, Nuñez, 2005).

- Pectina de alto metoxilo: Estas pectinas generalmente contienen más del 50 % (55 % al 80 %) de sus grupos carboxilo esterificados con metanol. Requiere bajo pH (2 a 3.5) y grandes cantidades de azúcar (60 – 65 %); con estas pectinas se pueden formar geles, jaleas, conservas y mermeladas (Renovato, Nuñez, 2005).
- Pectina de bajo metoxilo. Son pectinas que poseen menos del 50 % (18 al 45 %) de unidades de ácido poligalacturónico metil esterificado. Estas pectinas pueden formar geles con o sin azúcar en presencia de cationes divalentes como el calcio, por lo que se recomienda su uso en productos con bajo contenido de azúcar (Delgado, 2002).

2.4.2 Goma guar

Es la goma obtenida del endospermo de *Cyamopsis tetragonolobus* (Linné) Taub. (*Fam.Leguminosae*), planta anual nativa de las regiones áridas de India y Pakistán. Es un hidrocoloide polidisperso de alto peso molecular ($5 \cdot 10^4$ - $8 \cdot 10^6$ Da) formado por unidades de galactano y manano. Se trata de un polisacárido de reserva de la semilla y es usado por la planta como fuente de energía durante la germinación (Ellis *et al.*, 2001).

Químicamente la goma guar está formada por una cadena lineal constituida por unidades de β -D manosa unidas en $\alpha(1-4)$ con ramificaciones constituidas por una sola unidad de β -D-galactosa unida en $\alpha(1-6)$ las cuales en conjunto se les denomina galactomananos; en promedio, la goma guar contiene 80% galactomananos, 12% agua, 5% proteína, 2% residuo insoluble en ácidos o fibra cruda, 0.7% ceniza, 0.7% grasa, un rastro de metales pesados, cero arsénico, y cero plomo, aproximadamente (Ellis *et al.*, 2001).

El procesamiento de las semillas para la obtención de la harina de guar se resume en las siguientes etapas: (a) separación del cotiledón, (b) separación del tegumento y (c) molienda del endospermo para obtener un tamaño de partícula fino. Un procedimiento de purificación adicional empleado es el lavado con etanol.

En cuanto a los parámetros de calidad del producto obtenido, la graduación se realiza en función del tamaño de malla y la viscosidad. El tamaño de malla, un indicador del tamaño de partícula, es un determinante crítico de la cinética de hidratación del guar y por tanto de la viscosidad. Una vez alcanzado el nivel de hidratación máximo, la viscosidad depende de la concentración, el peso molecular y la distribución de peso molecular de la fracción de galactomanano contenida en la harina (Ellis *et al.*, 2001).

2.4.3 Goma xantana

La xantana es un polisacárido extracelular producido por la bacteria *Xanthomonas campestris*. El aspecto físico del xantano es el de un polvo color crema que se disuelve en agua caliente o fría produciendo soluciones de viscosidad relativamente alta a concentraciones bajas (Owen r.1996).

La goma xantana imparte una viscosidad elevada (en reposo) con pequeñas concentraciones del orden del 1%, y presenta además un comportamiento pseudoplástico muy marcado. Esta característica la hace ideal para estabilizar y dar viscosidad a productos que, como el ketchup, deben tener un comportamiento semejante a un gel en reposo (cuando están sobre el alimento) pero fluir casi libremente cuando se agita el envase para sacarlo de él. Su independencia del pH, incluso hasta pH inferior a 2, hace que se pueda utilizar para alimentos muy ácidos, como salsas para ensalada.

La goma xantana también inhibe la retrogradación del almidón y la sinéresis de otros geles, estabiliza espumas, retrasa el crecimiento de cristales de hielo. Se comporta de forma sinérgica con la goma guar y con la goma de algarroba, formando geles blandos, elásticos y termorreversibles (Anónimo 1).

La xantana presenta unas características muy apreciadas por la industria alimentaria. Su uso principal es modificar la textura original de un líquido proporcionándole viscosidad y densidad, y una de las grandes ventajas que ofrece es que no altera el sabor ni el color del líquido en el que se aplica. Además, la función de la xantana no se ve afectada por concentraciones elevadas de sales, tampoco influye significativamente el pH, ni la temperatura. Además de ser utilizada en la industria cosmética, farmacéutica, agrícola y petrolera entre otras. Suele aplicarse menos de un 1% y con ello se consigue que un producto en reposo (cuando las mezclas se cortan o se separan) que cuente con este aditivo, al ser agitado vuelva a ser homogéneo (Anónimo 1).

2.5 Tipos de fluidos y propiedades reológicas

La reología puede definirse como el ámbito de la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales causadas por la aplicación de un esfuerzo. El comportamiento reológico de los alimentos es muy complejo y a la vez desempeña un papel muy importante en muchos sistemas de proceso.

Las necesidades de conocer la reología en la industria de los alimentos son múltiples. Entre otras se pueden citar:

- Diseño de tuberías y selección de bombas
- Diseño y análisis de equipos de extrusión
- Selección y operación de equipos de mezclado
- Diseño y operación de cambiadores de calor
- Procesos en los que se realizan recubrimientos
- Selección de envases

El modelo reológico, que relaciona el esfuerzo aplicado con la velocidad de corte, es la base teórica para resolver los problemas expuestos.

El desplazamiento (concretamente, el perfil de velocidad) para un nivel de esfuerzo aplicado puede variar de muchas formas. El perfil de velocidad puede ser o no proporcional al esfuerzo. Por otra parte el fluido puede resistir un determinado nivel de esfuerzo antes de empezar a fluir. Si durante la aplicación de este esfuerzo inicial se deforma sin llegar a fluir (se recupera al cesar el esfuerzo), entonces es un fluido visco elástico.

También puede ocurrir que para un esfuerzo constante, el tipo de flujo varíe con el tiempo. Esto es bastante habitual en los alimentos.

La reología de fluidos estudia la relación que existe entre la fuerza motriz que provoca el movimiento (esfuerzo cortante, σ) y la velocidad de flujo que se origina (el gradiente del perfil de velocidades, γ). A continuación se definirán más ampliamente los conceptos anteriormente mencionados (Ballesteros, 2013).

2.5.1 Esfuerzo cortante, σ

Es la fuerza por unidad de área aplicada paralelamente al desplazamiento (cortante). Tiene unidades de fuerza dividido por superficie, en el Sistema internacional se mide en N m^{-2} . Es homogéneo con la unidad de presión, Pa, aunque hay que recordar que a diferencia de ésta, el esfuerzo cortante es una magnitud vectorial. El esfuerzo cortante es una magnitud microscópica ya que cambia en cada punto del perfil de velocidades (Ballester. 2013).

2.5.2 Velocidad de corte, γ

El esfuerzo cortante provoca el desplazamiento ordenado de los elementos del fluido, que alcanzan unas velocidades relativas estacionarias que denotaremos $V(x)$. La velocidad de corte se define como el gradiente (velocidad espacial de cambio) del perfil de velocidades:

$$\gamma = \frac{dV}{dx}.$$

La velocidad de corte se mide en tiempo^{-1} . Aunque a menudo sólo se representa una componente, γ es una magnitud vectorial (Ballester. 2013).

2.5.3 Viscosidad aparente, η

Mide la facilidad que tiene una determinada sustancia para fluir ante la aplicación de un esfuerzo cortante en unas determinadas condiciones. Se define como la razón entre esfuerzo cortante y velocidad de corte:

$$\eta = \frac{\sigma}{\gamma}.$$

Se mide en $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$. La unidad clásica es el Poise y la más comúnmente usada es el centipoise (Cp.).

Los fluidos Newtonianos son los de comportamiento más sencillo al presentar una viscosidad aparente constante (a $T=\text{cte}$) e independiente del esfuerzo de corte y de la velocidad de corte (Ballester. 2013).

2.5.4 Fluidos newtonianos

En el caso en que la relación entre el esfuerzo de corte y la rapidez de deformación es lineal, se dice que el fluido es newtoniano, en cualquier otro caso se dice que el fluido es no newtoniano. A la relación matemática que existe entre el esfuerzo de corte y la rapidez de deformación se le denomina ecuación constitutiva. Por lo tanto, la ecuación constitutiva para el fluido newtoniano está expresada por,

$$\tau = \mu\gamma.$$

Al sustituir esta ecuación constitutiva en la ecuación de viscosidad, se obtiene que la viscosidad η sea una constante igual a μ , por lo que cuando se habla de la viscosidad μ (lo cual ocurre comúnmente en los textos de hidrodinámica) se está haciendo referencia a un fluido newtoniano.

Existen numerosos líquidos, frecuentemente empleados en las industrias alimentarias, en los que esta relación tan simple no se cumple. Suele tratarse de dispersiones acuosas, suspensiones de sólidos, o emulsiones de líquidos en el seno de otro líquido. Si la interacción depende de la velocidad de flujo, el coeficiente de viscosidad deja de ser una constante, y entonces se habla de una viscosidad aparente, la cual es característica de los fluidos no newtonianos (Ibarrola 2007).

2.5.5 Fluido no newtonianos

La viscosidad aparente no es una constante; depende de la tensión tangencial, y las representaciones gráficas muestran la relación entre la tensión tangencial y la velocidad de deformación (una curva de flujo de τ en función de γ o de η en función de γ). A estos líquidos se les denomina líquidos no newtonianos, siempre que ofrezcan un flujo continuo, incluso cuando la fuerza aplicada sea mínima.

Un líquido no newtoniano se define como aquel que exhibe flujo uniforme, pero para el que no es constante la relación entre tensión tangencial y velocidad de

deformación (la viscosidad no es constante). Se dan cuatro tipos generales de comportamiento.

En la figura 1 se representa el esfuerzo de cizalla frente a la velocidad para algunos de estos comportamientos que se alejan de la ley de Newton, este tipo de curvas se denominan normalmente curvas de flujo y se usan normalmente para expresar el comportamiento reológico de los fluidos (Ibarrola 2007).

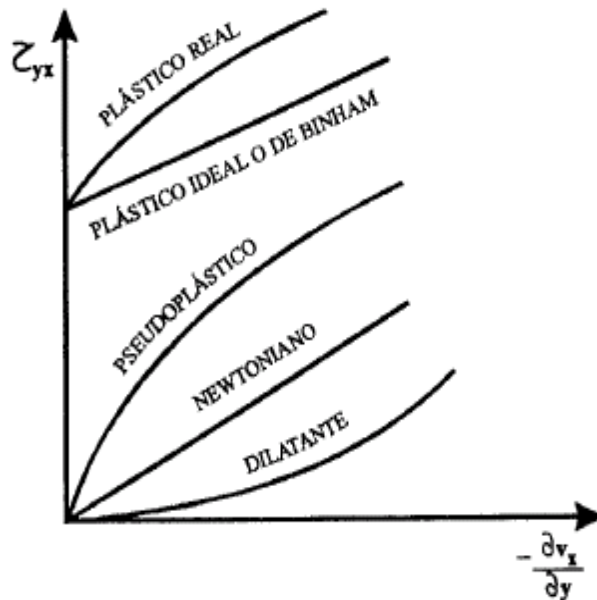


Figura 1. Curvas de flujo para distintos tipos de comportamientos.

2.5.6 Fluidos independientes del tiempo

Los fluidos no-newtonianos independientes del tiempo, se caracterizan porque las tensiones tangenciales dependen únicamente de la velocidad de deformación, y se representan funcionalmente en tres formas equivalentes:

$$\tau = f\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right) \quad \tau = f\left(\frac{dY}{dt}\right) \quad \tau = f(\dot{Y})$$

La gran mayoría de los fluidos no-newtonianos que tienen aplicaciones en problemas de ingeniería caen dentro de esta categoría, y en ciertos casos algunos

fluidos dependientes del tiempo pueden ser aproximados o modernizados como fluidos independientes del tiempo. En la figura 2 se puede identificar 4 tipos de fluidos no-newtoniano independientes del tiempo, (Ibarrola 2007).

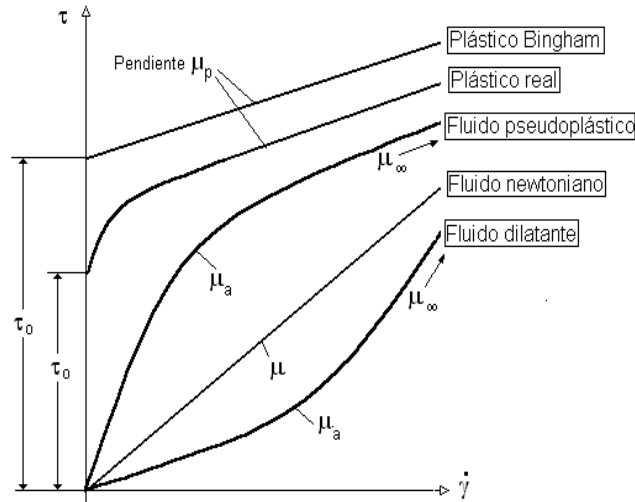


Figura 2. Tipos de fluidos no newtonianos independientes del tiempo

2.5.6.1 Plástico ideal o de Binham

Se denomina plástico ideal o de Binham a las sustancias o fluidos que para tensiones tangenciales inferiores a un valor característico τ_0 se comportan elásticamente, y superado ese valor muestran un comportamiento similar al de un fluido newtoniano. A este tipo de fluido lo caracteriza dos constantes, la tensión tangencial de fluencia que es el valor de τ_0 para que se inicie el flujo, y el coeficiente de viscosidad plástica μ_p dado por la pendiente $d\tau/d\dot{\gamma}$. La relación que siguen los plásticos de Binham es:

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \frac{\partial v}{\partial y} \quad \text{O} \quad \tau = \tau_0 + \mu_p \dot{\gamma}$$

El modelo de plástico de Bingham es aplicable al comportamiento de muchos fluidos de la vida real como plásticos, emulsiones, pinturas, lodos de perforación y sólidos en suspensión en líquidos o agua (Ibarrola 2007).

2.5.6.2 Plástico real

Son sustancias que no fluyen hasta la tensión de fluencia τ_0 , y luego presentan una zona de viscosidad variable que disminuye con el incremento de la velocidad de deformación, hasta alcanzar un valor asintótico constante μ_∞ (Ibarrola 2007).

2.5.6.3 Fluido pseudoplástico

Los fluidos pseudoplásticos no tienen una tensión de fluencia para que comiencen a deformarse, pero la viscosidad medida por la pendiente de la curva $\tau = f(\dot{\gamma})$ es alta para bajas velocidades de deformación, y decrece con el incremento de $\dot{\gamma}$ hasta alcanzar un valor asintótico μ_∞ constante. La relación más simple que describe el comportamiento de los fluidos pseudoplásticos es la denominada ley potencial o de Ostwald que puede escribirse como:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad \text{Siendo} \quad n < 1$$

K y n son constantes para un fluido particular. La constante K es una medida de la consistencia del fluido y se denomina índice de consistencia, y el exponente n es indicativo de la desviación respecto al fluido con comportamiento newtoniano y se lo suele llamar índice de comportamiento. (Ibarrola 2007).

2.5.6.4 Fluido dilatante

Los fluidos dilatantes al igual que los pseudoplásticos no tienen una tensión de fluencia inicial, pero el coeficiente η disminuye al aumentar el gradiente de velocidad hasta que para grandes valores de éste adquiere un valor μ_∞ constante. Los fluidos dilatantes son mucho menos comunes que los pseudoplásticos. Ejemplo de fluidos que exhiben este comportamiento son la manteca, las arenas movedizas y las suspensiones de almidón. Se pueden modelizar con la ley potencial, con exponente $n > 1$:

$$t = K\dot{\gamma} \quad \text{Siendo} \quad n > 1$$

2.5.7 Fluidos dependiente del tiempo

Existen otro tipo de fluidos que son más complejos que los vistos y cuya viscosidad aparente depende no solo de la velocidad de deformación $\dot{\gamma}$, sino también del tiempo durante el cual actúa la tensión tangencial τ . (Ibarrola 2007).

2.5.7.1 Fluido tixotrópico

La viscosidad aparente de los fluidos tixotrópicos es una función tanto de la Tensión tangencial como de la velocidad de deformación

$$\mu_a = f(t, \dot{\gamma})$$

Al actuar una tensión tangencial a este fluido desde el estado de reposo, sufre un proceso, de fraccionamiento a escala molecular seguido de una reconstitución estructural a medida que transcurre el tiempo. Eventualmente y en ciertas circunstancias, se logra un estado de equilibrio donde el fraccionamiento molecular iguala a la reconstitución. Si la tensión tangencial cesa, el fluido se recupera lentamente y vuelve a adquirir su consistencia original en un proceso que se caracteriza por su reversibilidad.

En la figura 3 se muestra la tensión tangencial en función de la velocidad de deformación de un fluido tixotrópico cuando se lo somete a una tensión y luego de sucesivos tiempos de reposo. Inicialmente la curva que se muestra es la de un fluido newtoniano, pero esta no es la regla, y puede inicialmente ser no newtoniano (Ibarrola 2007).

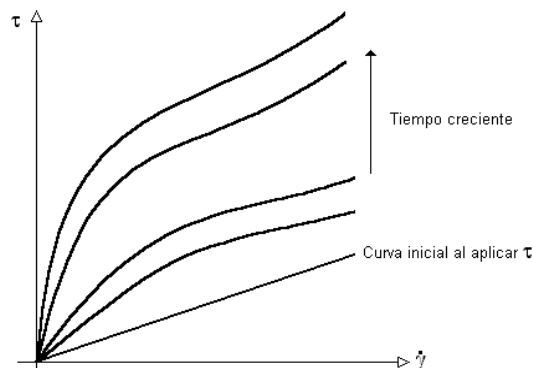


Figura 3. Comportamiento de un fluido tixotrópico

2.5.7.2 Fluido reopécticos

Los fluidos reopécticos se comportan en forma parecida a los tixotrópicos, pero en ellos la variable η tiene un incremento con la velocidad de deformación similarmente a la de un fluido dilatante en su fase inicial de deformación hasta alcanzar un valor límite donde τ comienza a disminuir con $\dot{\gamma}$. En la figura 4 se puede ver la curva $\tau = f(\dot{\gamma})$ típica de un fluido reopéctico. Un ejemplo de fluido reopéctico es el espesamiento de la clara de huevo por efecto de la agitación, aunque quizá la clara de huevo no es un verdadero fluido reopéctico. Otras sustancias tienen propiedades reopécticas inicialmente, pero la pierden para altas tensiones tangenciales, volviéndose tixotrópicos (Ibarrola 2007).

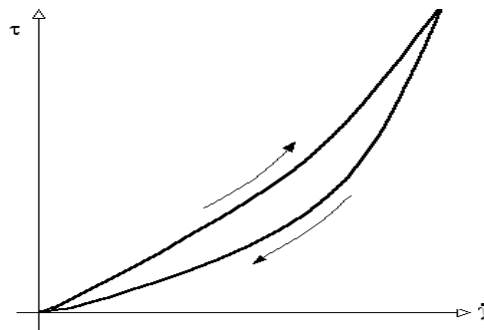


Figura 4. Comportamiento de un fluido reopéctico

2.6 Equipos para medir la viscosidad de fluidos

2.6.1 Viscosímetro de tubo capilar

Determina el tiempo requerido para que un volumen dado de un líquido escurra, a través de un capilar, este se denomina viscosímetro de Ostwald. Debido a que la viscosidad depende tanto de la densidad del fluido como del tiempo, los viscosímetros capilares de flujo proporcionan una medida directa de la viscosidad cinemática (Lewis, 1993).

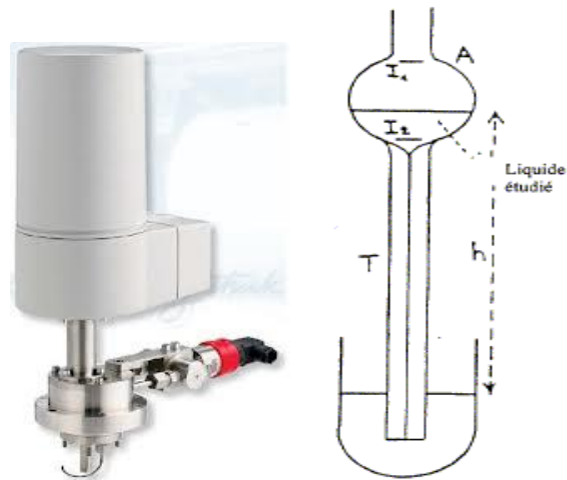


Figura 5. Viscosímetro de tubo capilar.

2.6.2 Viscosímetro rotatorio

En estos un cilindro gira dentro del recipiente que contiene la dispersión y se mide el torque que depende directamente de la viscosidad (Anzaldúa,1993). Produce datos en poises. Es muy preciso, muy versátil y permite hacer estudios completos de líquidos no newtonianos (Santanera, 2000).



Figura 6. Viscosímetro rotatorio.

2.6.3 Viscosímetro de cono y plato

Su funcionamiento se basa en la cizalla presente en un líquido situado en el espacio comprendido entre un cono y una placa, siendo el ángulo (α) entre ambos muy pequeño (inferior a 4° , ya que para ángulos mayores, los cálculos se complicarían excesivamente). Si el cono gira con cierta velocidad angular (Ω), se generará un movimiento de rotación en el fluido de tal forma que éste girará a una velocidad mayor cerca de las paredes del cono. Todos los instrumentos de cono-placa permiten extraer el cono para un cambio de la muestra, lo que facilita en muchos casos la limpieza del mismo, siendo ésta, junto con la pequeña cantidad de muestra necesaria, las principales ventajas que presentan este tipo de equipos. En la mayoría de los viscosímetros rotacionales la velocidad de cizalla cambia con la distancia al centro de rotación. Sin embargo, en el viscosímetro de cono-placa la velocidad de cizalla a lo largo del espaciado del cono es constante, ya que el espaciado entre el cono y el plato aumenta al aumentar la distancia al centro. (Santanera, 2000).

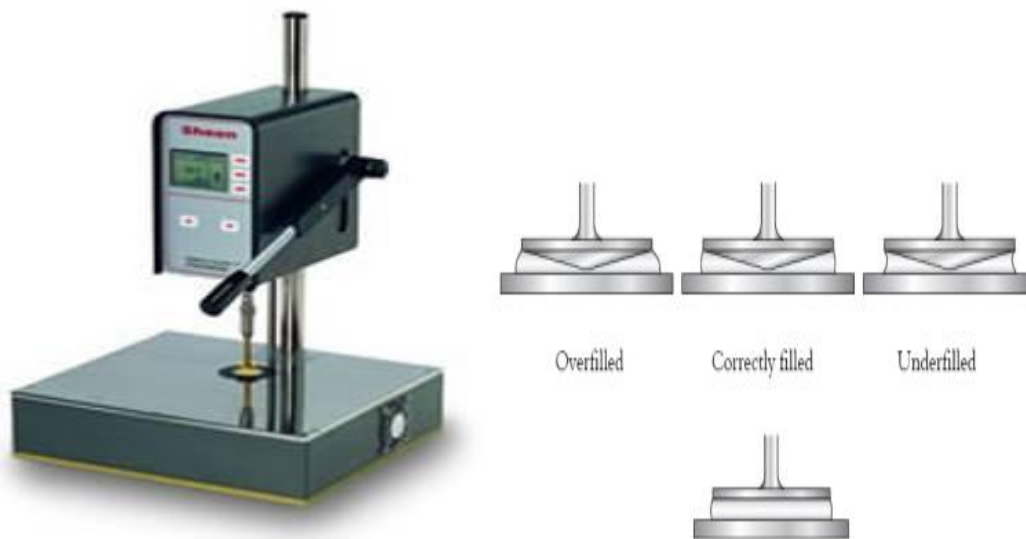


Figura 7. Viscosímetro de cono plato.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. El trabajo se realizó en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, en el Laboratorio de Alimentos II. En el área de Bioprocesos se realizaron las pruebas de temperatura, colorimetría, textura del alimento y viscosidad (de las cubiertas comestibles), en el Departamento de Producción Animal en el Laboratorio de Nutrición y Alimentos se realizó la prueba de determinación de grasa o extracto etéreo (método de Soxhlet) de los productos fritos, y en el Laboratorio de Alimentos I, en el área de Evaluación Sensorial, se realizó una prueba sensorial (prueba de ordenamiento) del producto en estudio. El alimento analizado fue el churro de harina de trigo y las tres cubiertas comestibles aplicadas se formularon a partir de goma guar, goma xantana y pectina.

3.2 Determinación de temperatura de freído

La primera prueba realizada fue la determinación de la temperatura que alcanzaba realmente en la freidora en la escala del controlador de temperatura que iba desde 200 a 400 figura 8, esto fue medido con un termómetro de mercurio de inmersión total de -20 a 400°C, tal como se muestra en la figura 9. La primer prueba se realizo realizó con la finalidad de determinar la temperatura real de freído, para lo cual se hicieron pruebas de cocimiento a muestras de churros sin cubiertas.

Cabe mencionar que en esta investigación se utilizó el aceite de girasol o canola, de acuerdo a lo indicado en la etiqueta del producto.



Figura 8. Escala del controlador de temperatura de la freidora



Figura 9. Medición de la temperatura

3.3 Preparación de las cubiertas comestibles

Las cubiertas comestibles se elaboraron a partir de pectina, goma xantana y goma guar (comerciales) obtenidas de una tienda de materias primas de la localidad. Se prepararon soluciones con tres concentraciones diferentes (0,5% en peso, 1% en peso, y 1,5% en peso) mediante la dispersión de las gomas en polvo en agua destilada, calentando a 80°C durante 1 h (figura 10), y posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente (25 °C). De acuerdo a la metodologías reportadas por Kim en el 2010.



Figura 10. Elaboración de las cubiertas comestibles.

3.4 Determinación de la viscosidad de las cubiertas.

Se utilizó un viscosímetro Brookfield HB, E.E.U.U, (figura 11) utilizando una velocidad de deformación desde 5 hasta 100 rpm para conocer el comportamiento reológico de las cubiertas elaboradas con goma guar, goma xantana y pectina, las mediciones se obtuvieron en centipoises (cps).



Figura 11. Viscosímetro BROOKFIELD HB.

3.5 Preparación y caracterización de las muestras

Las muestras de churros se elaboraron con harina ya preparada adquirida de una tienda de autoservicio de la localidad, la forma de preparación se hizo de acuerdo a la metodología propuesta por el proveedor de la materia prima, la cual consistía en mezclar 225g de harina en 250ml de agua caliente durante 20s. La formación de los churros se llevó a cabo con una duya (incluida en la caja de la harina), cortando pequeñas muestras de 6 a 8cm de largo y posteriormente se frieron en aceite de vegetal previamente calentado.

Las muestras se colocaron después del freído en recipientes de plásticos cubierto de papel estraza (figura 12) para la absorción de exceso de aceite, posteriormente se almacenaron las muestras en bolsas de polietileno a temperatura ambiente de 25°C para su caracterización inmediata (figura 13).



Figura 12. Recipientes de plástico



Figura 13. Almacenamiento de muestras

A las muestras fritas se les evaluaron los parámetros de color, textura y contenido de grasa de acuerdo a las etapas descritas a continuación.

3.5.1 Primera etapa

Las primeras muestras se prepararon para determinar la temperatura adecuada para el cocimiento de la materia prima mediante el proceso de freído, para lo cual se utilizaron muestras (sin cubiertas), utilizando 3 temperaturas diferentes (tabla 6)

Tabla 6. Temperatura de referencias.

| Temperatura | Tiempo |
|--------------|---------|
| 140°C | 12 min. |
| 160°C | 7 min |
| 190°C | 3 min |

La selección de las condiciones de temperatura y tiempo de freído se realizó eligiendo aquellas muestras que presentaran un color y grado de cocción suficiente para no considerarse un producto crudo o bien un producto recocado, por lo anterior, se seleccionó la primer opción de la tabla 6.

3.5.2 Segunda etapa

En esta etapa se llevó a cabo el freído a las condiciones de tiempo y temperatura establecidas en la primera etapa para las muestras conteniendo los recubrimientos. Los métodos utilizados para colocar las cubiertas comestibles fueron por aspersión, para el caso de las soluciones de pectina (figura 14), y por frotación, para las soluciones de goma guar y goma xantana (figura 15) a las tres concentraciones establecidas (0.5, 1.0 y 1.5%).



Figura 14. Método de Aspersión



Figura 15. Método de Frotación

Posteriormente se determinó el color mediante un Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400, Japón (figura 16), y se tomó como referencia una muestra sin cubierta freída bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura. Se tomaron lecturas en cinco puntos diferentes del churro obteniendo como resultado los campos $L^*a^*b^*$ los cuales se ubican en el diagrama de cromaticidad (figura 17).

L = Luminosidad

a y b = Coordenadas de cromaticidad

a (+) = Indica color rojo

a (-) = Indica color verde

b (+) = Indica color amarillo

b (-) = Indica color azul



Figura 16. Colorímetro Konica Minolta modelo CR-400.

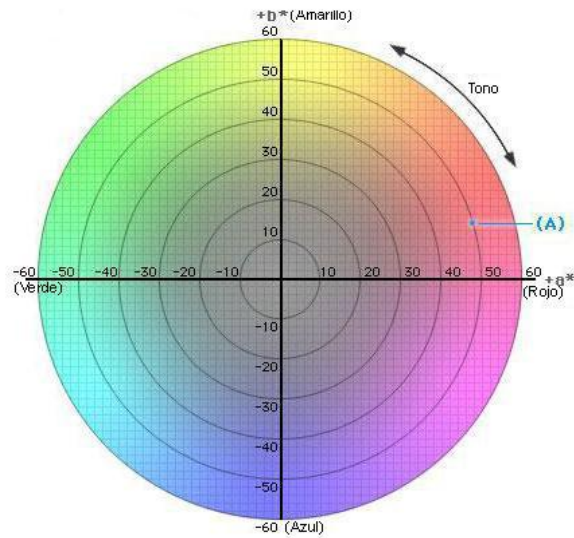


Figura 17. Diagrama de color L*a*b

3.5.3 Tercera etapa

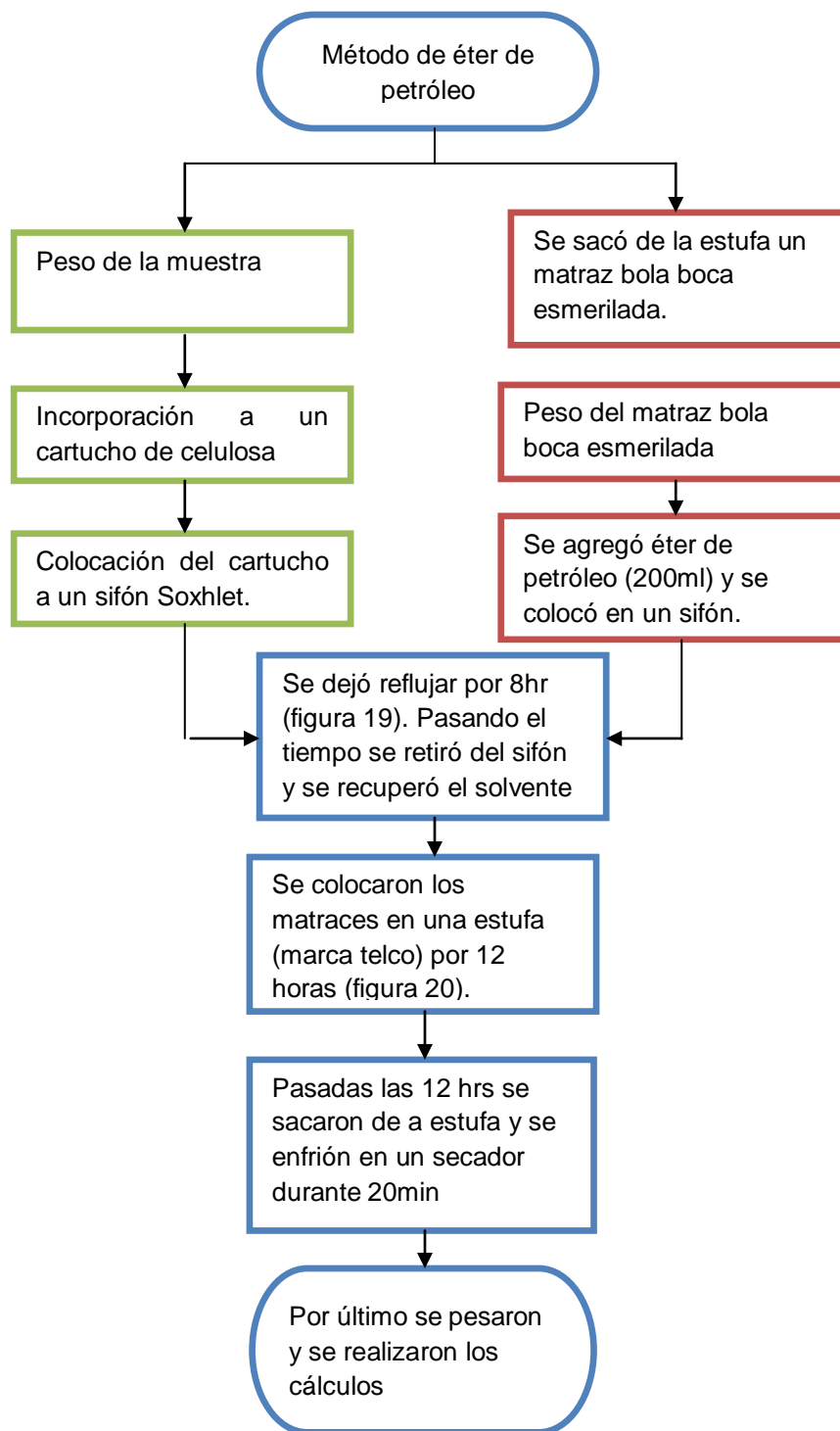
En esta etapa se llevó a cabo el freído a las condiciones de tiempo y temperatura de la primera referencia de la tabla 6 (140°C a 12min) aplicando las tres concentraciones en los churros, para la medición del cambio de textura de alimento, utilizando un penetrómetro FT-327, Italia (figura 18), con una puntilla de 11mm de diámetro, tomando lectura en 3 puntos diferentes, obteniendo resultados en kg/cm^2 .



Figura 18. Penetrómetro FT-327

3.5.4 Cuarta etapa

En esta etapa se llevó a cabo el freído con las condiciones de tiempo y temperatura utilizando una temperatura de 140°C a 12min, se aplicaron las tres concentraciones de las cubiertas en los churros, para posteriormente analizar el contenido de grasa para lo anterior se llevó a cabo el siguiente procedimiento:



La fórmula que se utilizó para la realización de los cálculos fue:

$$\% \text{ Grasacruda} = \frac{M2 - M1}{m} \times 100$$

Donde:

m: peso de la muestra

M1: tara del matraz solo

M2: peso matraz con grasa.



Figura 19. Aparato de Soxhlet

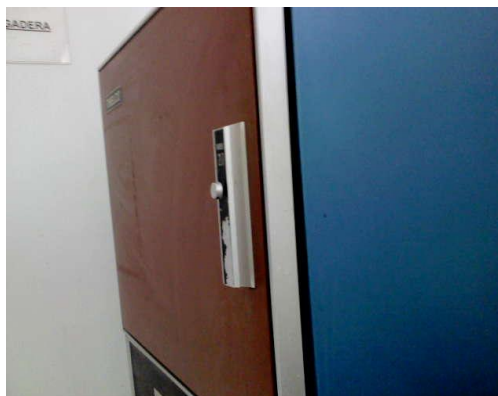


Figura 20. Estufa marca Telco, modelo 27.

3.6 Evaluación Sensorial

3.6.1 Tipo de prueba

Se llevó a cabo una prueba discriminativa de ordenamiento con el objetivo de detectar diferencias entre los tratamientos en cuanto a los atributos de color, suavidad y sensación grasosa.

3.6.2 Panel sensorial

La prueba de ordenamiento se realizó con un panel de 35 jueces semientrenados todos ellos alumnos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, estudiantes de Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

3.6.3 Preparación de las muestras

Para la evaluación sensorial de los churros de harina cubiertos con películas, solo se seleccionó una concentración por cada tipo de cubierta, eligiendo aquella concentración que presentara la menor cantidad de absorción de

grasa de acuerdo al método Soxhlet (Tabla 7). Las condiciones de elaboración de las muestras fueron de acuerdo al apartado 3.5.1.

Tabla 7. Concentración de cubiertas utilizadas para evaluación sensorial.

| Cubiertas | Concentraciones de cubiertas |
|---------------------|------------------------------|
| Sin cubierta | 0% |
| Pectina | 1.5% |
| Goma guar | 1.5% |
| Goma xantana | 1% |

Se sirvió una muestra de aproximadamente 4 cm de largo de cada tratamiento por panelista según la figura 21. La asignación de las muestras se realizó de manera aleatoria usando 5 permutaciones diferentes en donde a cada muestra se le asignaron diferentes códigos (tabla 8), cada una de ellos se repitió balanceadamente en 5 ocasiones, las muestras fueron etiquetadas con números aleatorios de 3 dígitos según se muestra en el Anexo 1.



Figura 21. Muestras proporcionadas para su evaluación sensorial

Tabla 8. Codificación de tratamientos para prueba de ordenamientos

| Codificación | Tratamientos |
|--------------|--------------|
| A | Sin cubierta |
| B | Pectina |
| C | Goma guar |
| D | Goma xantana |

La evaluación se realizó en un cubículo independiente para cada panelista, a cada uno de ellos se le proporcionó: una charola con las muestras (cuatro diferentes tratamientos), un vaso con agua para enjuagar la boca, una bandeja de desechos (figura 22) y la hoja de evaluación que se muestra en el Anexo 3.

Cada panelista evaluó y ordenó de menor a mayor intensidad los atributos de color, textura (suavidad) y sensación grasosa presentes en cada muestra según se les indicó en la hoja de evaluación (Anexo 3). Para cada atributo los panelistas ordenaron las cuatro muestras, asignando el valor 1 al tratamiento que presentó la menor intensidad del atributo., los valores 2, 3 y 4 se signaron en orden creciente conforme se incrementaba la intensidad del atributo.

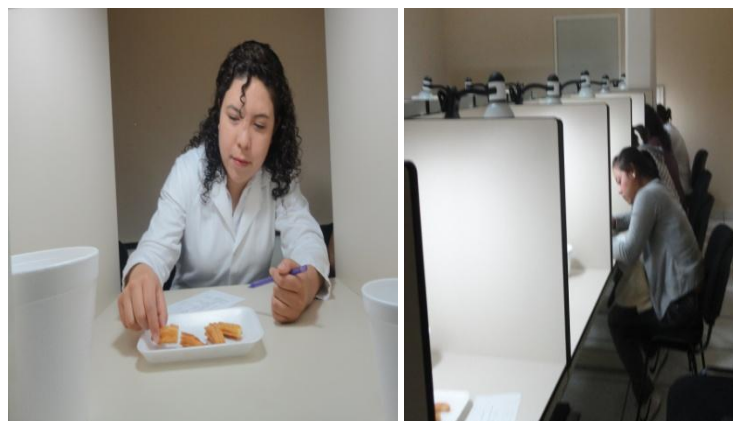


Figura 22. Jueces evaluando las muestras

3.7 Análisis de datos

El análisis de grasa, textura y color realizados mediante instrumentación fueron analizados con un diseño completamente al azar mediante un análisis de varianza a un $\alpha=0.05$ y se efectuó un análisis de comparación de medias mediante la prueba de *Tukey-Kramer*. Este mismo análisis se realizó en los atributos de color, textura y sensación grasosa evaluados sensorialmente. El paquete estadístico empleado fue JMP versión 7.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Selección de condiciones óptimas de freído

El freído es uno de los métodos de cocción más antiguos y populares para obtener un producto con un sabor y textura únicos (Rimac-Brncc *et al.*, 2004; Sahin *et al.*, 2007). Esta operación compleja representa un proceso que implica varios cambios químicos y físicos, incluyendo la gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, vaporización del agua, formación de la corteza, transferencia de calor y transferencia de masa. Esta operación se caracteriza por la migración del aceite hacia el producto, así como también la migración de agua del producto hacia el medio de freído (aceite) (Mellema, 2003; Rimac-Brncc *et al.*, 2004; Pedreschi y Moyano, 2005a; Sahin *et al.*, 2007).

El freído profundo es una forma de cocción de alimentos a altas temperaturas, donde el medio de transferencia de calor es el aceite el cual confiere sabor al producto, excelente sensación de palatabilidad, color dorado o tostado y textura crujiente, y es ampliamente utilizado en la industria alimentaria (Mallikarjunan *et al.*, 1997; Pedreschi y Moyano, 2005a, Pedreschi y Moyano, 2005b; Moreno y Bouchon, 2008; De Grandi *et al.*, 2009). El sabor, apariencia y textura de los productos fritos son derivados de la formación de una estructura compuesta: capa porosa, corteza exterior crujiente y aceitosa e interior húmedo cocido (Mallikarjunan *et al.*, 1997; Moreno y Bouchon, 2008)

Debido a lo anterior, en el proceso de freído un parámetro que se debe conocer y controlar es la temperatura, la cual es determinante para decidir qué tipo de aceite utilizar, lo anterior es debido a que muchos aceites generan humo al elevar la temperatura y esto es un indicio de la degradación de los mismos; por lo tanto los aceites con alto punto de humo (es la temperatura hasta la cual se puede calentar un aceite antes de que su proceso de descomposición sea evidente a la vista, con la formación de "humo" perdiendo así sus propiedades) son los recomendados para saltear, hornear o freír, mientras que aquellos con un bajo punto de humo son buenos para aderezos de ensaladas, salsas y sazoadores.

Existen factores que contribuyen a que descienda el punto de humo de aceite:

- El tiempo durante el que ha sido calentado.
- El número de veces que ha sido usado ese aceite (como el de la freidora por ejemplo).
- La presencia de sal u otras impurezas
- Guardarlo en malas condiciones
- Que el aceite sea una mezclagenérica de varios aceites.

En la tabla 9 se muestra algunos tipos de aceites y la temperatura del punto de humo.

Tabla 9. Punto de humo de aceites

| Tipos de aceite | Punto de humo (°C) |
|-----------------|--------------------|
| Girasol | 240 |
| Maíz | 233.9 |
| Canola | 242.2 |
| Oliva | 220 |
| Soya | 240.6 |

Anónimo 2, 2010.

En el proceso de freído es recomendable que el alimento sea sumergido en aceite o grasa comestible a temperaturas entre 140 °C y 180 °C, lo que le confiere ciertas propiedades organolépticas características de los alimentos fritos, por lo fue necesario determinar la temperatura real del aceite utilizado para cocer los churros para la cual se tuvo precaución de no sobrepasar la temperatura de humo de acuerdo a lo reportado en la literatura; para lo anterior se utilizó un termómetro para registrar la temperatura en grados centígrados (°C) correspondiente a cada posición del controlador de la freidora, tal como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Temperatura y tiempo alcanzado de acuerdo a lo indicado en la escala del controlador de temperatura de la freidora

| Temperatura (°C) | Escala | Tiempo (min) |
|------------------|--------|--------------|
| 100-105 | 200 | 20 |
| 120 | 250 | 16 |
| 140 | 300 | 12 |
| 160 | 350 | 7 |
| 190 | 400 | 3 |

La mezcla de harina preparada para la elaboración del alimento en estudio, en este caso los churros, se preparó de acuerdo a las instrucciones de elaboración mostradas en la caja que la contenía. Posteriormente durante la cocción de los churros se seleccionó la temperatura de 190 °C durante 3 minutos y se observó que el alimento se freían y cocían en el interior, pero en el exterior presentaba una coloración muy oscura (figura 23 c). Mientras que a la temperatura de 160 °C durante 7 minutos, el alimento presenta una adecuada cocción en su interior y una coloración menos oscura con respecto a las características obtenidas a 190 °C durante 3 min (figura 23 b). Por último a la temperatura de 140 °C se tuvo una cocción semejante a las dos condiciones antes mencionadas y una coloración agradable en cuanto a color que en los demás temperaturas pero de mayor tiempo (figura 23 a).

De acuerdo a lo anterior se decidió considerar la temperatura de 140 °C para la elaboración de los churros durante un tiempo de 12 min, eliminando las otras dos condiciones de freído (160 °C por 7min y 190 °C por 3 min).

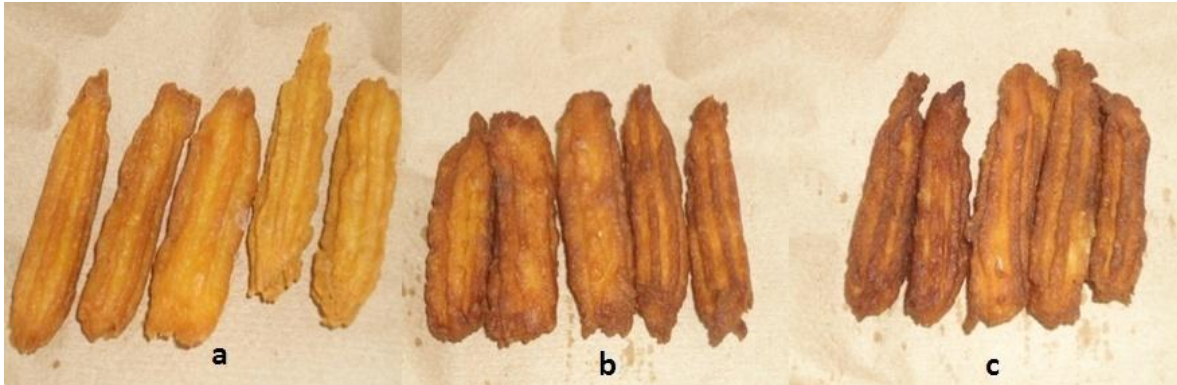


Figura 23. Comportamiento de las diferentes condiciones de freído: a) 140 °C durante 12 min, b) 160 °C durante 7 min, 190 °C durante 3 min.

Una vez determinado el tiempo y temperaturas de freído óptimas se prosiguió a la preparación, caracterización y colocación de las cubiertas comestibles en el alimento crudo, para posteriormente evaluar la coloración, textura y cantidad de grasa absorbida del alimento frito, así como su evaluación sensorial por parte del consumidor.

4.2 Cubiertas comestibles.

Para la elaboración de las cubiertas comestibles se utilizaron pectina, goma guar y goma xantana a las concentraciones de 0.5, 1 y 1.5%, de acuerdo a lo reportado por Kim en el 2010, quien llevó a cabo una investigación de 4 tipos de soluciones hidrocoloidales (HPMC, CMC, goma de guar y goma de xantano). Los cuales fueron añadidos a la harina de trigo para la preparación de samosa (empanadas fritas) evaluándose diversas propiedades físico-químicas y características sensoriales. El estudio reveló que la goma de xantana a una concentración del 1.5% redujo significativamente el contenido de aceite en samosa (8.56%) en comparación con todos los otros hidrocoloides y sus niveles de concentración. La goma de xantano seguido por CMC a nivel de 1.5% (9.38%) también fue estadísticamente significativa en comparación con otros hidrocoloides. Además se observó que no había disminución significativa en la absorción de aceite con aumento en la concentración de todos los hidrocoloides (Bhagwan *et al.*, 2011).

En la presente investigación fue necesario caracterizar reológicamente las cubiertas para elegir el método más adecuado para su colocación en el alimento en estudio.

4.2.1 Determinación de la viscosidad

Una propiedad reológica importante de los fluidos utilizados en la industria de los alimentos es la viscosidad, y más aún en aquellos utilizados como cubiertas comestibles pues es una propiedad que determina el grado de recubrimiento o adhesión en las superficies de los alimentos. El comportamiento viscoso en función del grado de deformación de un fluido, indica el modelo reológico al que pertenece y por ende sus propiedades fisicoquímicas.

Para determinar la viscosidad de cada cubierta comestible se utilizó un viscosímetro rotatorio (Brookfield Digital Viscometer Modelo DV-E, E.E.U.U.) variando la velocidad de giro de 10 a 100 rpm con una aguja del No.3. La variación de la viscosidad que presentaron las cubiertas de pectina, goma guar y goma xantana en función de la velocidad de deformación se muestra en las figuras 24, 25 y 28 respectivamente.

La cubierta elaborada a partir de una solución de pectina, presenta un comportamiento de un fluido dilatante (no newtoniano), es decir, la viscosidad aparente aumenta con el gradiente de velocidad. Este comportamiento es común en suspensiones con elevada concentración de sólidos, de forma que la aplicación de la tensión tangencial (esfuerzo de giro) origina la expulsión del líquido situado entre las partículas, disminuyéndola lubricación y aumentando el rozamiento (Calles *et al.*, 1999). El incremento de la viscosidad es más evidente a concentraciones mayores, y en caso de la cubierta de pectina fue a 1.5%. Con forme la concentración disminuye el comportamiento reológico corresponde al de un fluido newtoniano ver figura 24.

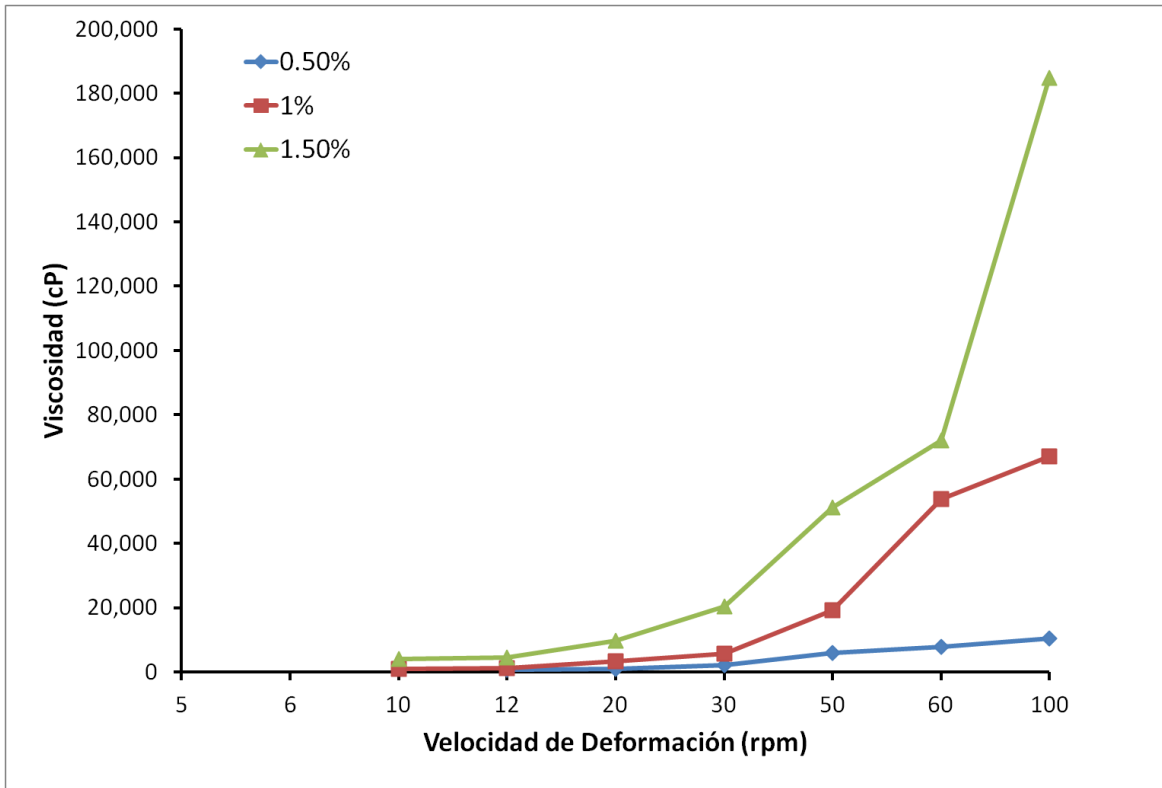


Figura 24. Efecto de la concentración de pectina en la curva reológica de la cubierta comestible.

En tanto que para la cubierta elaborada con goma guar figuras 25, 26 y 27 el comportamiento reológico corresponde al de un fluido pseudoplástico, el cual es más evidente a la concentración de 1.5% de goma guar. Este fluido no newtoniano se caracteriza porque su viscosidad aparente disminuye al aumentar la tensión tangencial aplicada o la velocidad de deformación. El origen de esta variación suele deberse a que la fuerza externa provoca un descenso en la intensidad de las fuerzas de cohesión entre moléculas o partículas, lo que facilita su orientación en la dirección del esfuerzo. También puede suceder que los agregados de partículas se rompan liberando el líquido que tenían ocluido. Todos estos fenómenos tienden a disminuir el rozamiento, la consistencia y, por tanto, la resistencia al flujo (Calles *et al.*, 1999). Al reducir la concentración a 1% de goma guar, la cubierta se comporta como un fluido newtoniano, y al disminuirse hasta 0.5% de goma, la viscosidad de la cubierta se incrementa ligeramente con la velocidad de deformación, tal como corresponde a los fluidos dilatantes.

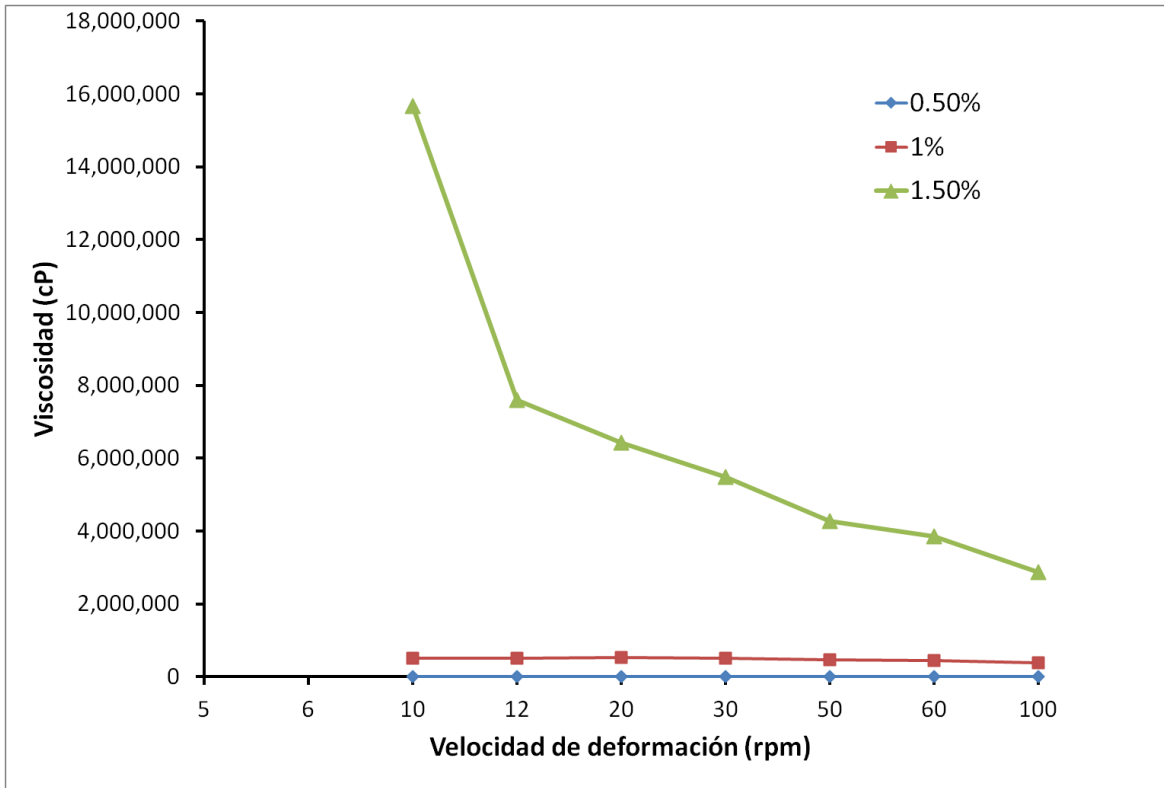


Figura 25. Efecto de la concentración de la goma guar en la curva reológica de la cubierta comestible.

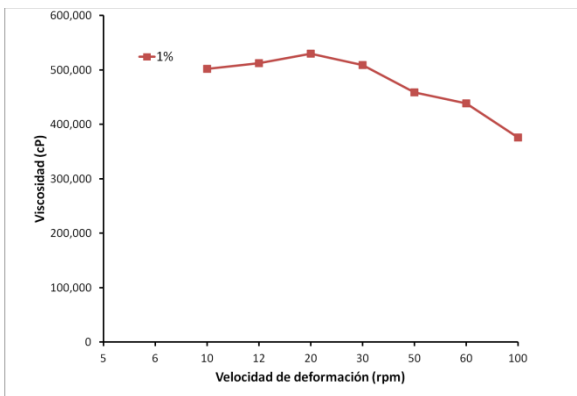


Figura 26. Efecto de la concentración goma guar (1%).

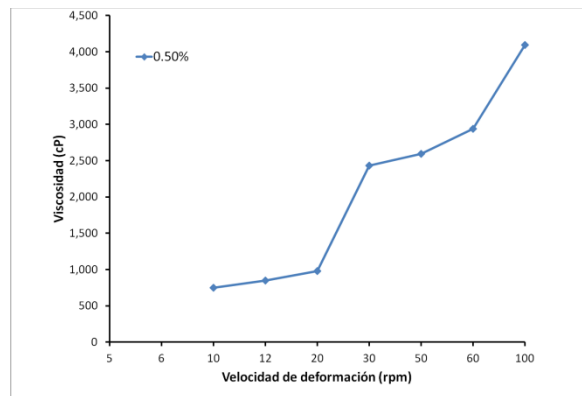


Figura 27. Efecto de la concentración goma guar (0.5%).

La cubierta comestible elaborada con goma xantana figura 28 y 29 presenta un comportamiento reológico equivalente al de cubierta de pectina, es decir, al de un fluido dilatante, aunque ligeramente menos pronunciado. Sin embargo, los valores de viscosidad son superiores en las cubiertas de goma xantana respecto a las de pectina en un factor de 10, es decir, mientras que para las primeras

cubiertas la viscosidad aparente están entre 2.5×10^5 y 3.5×10^6 cP, para la segunda los valores no exceden los 2×10^5 cP.

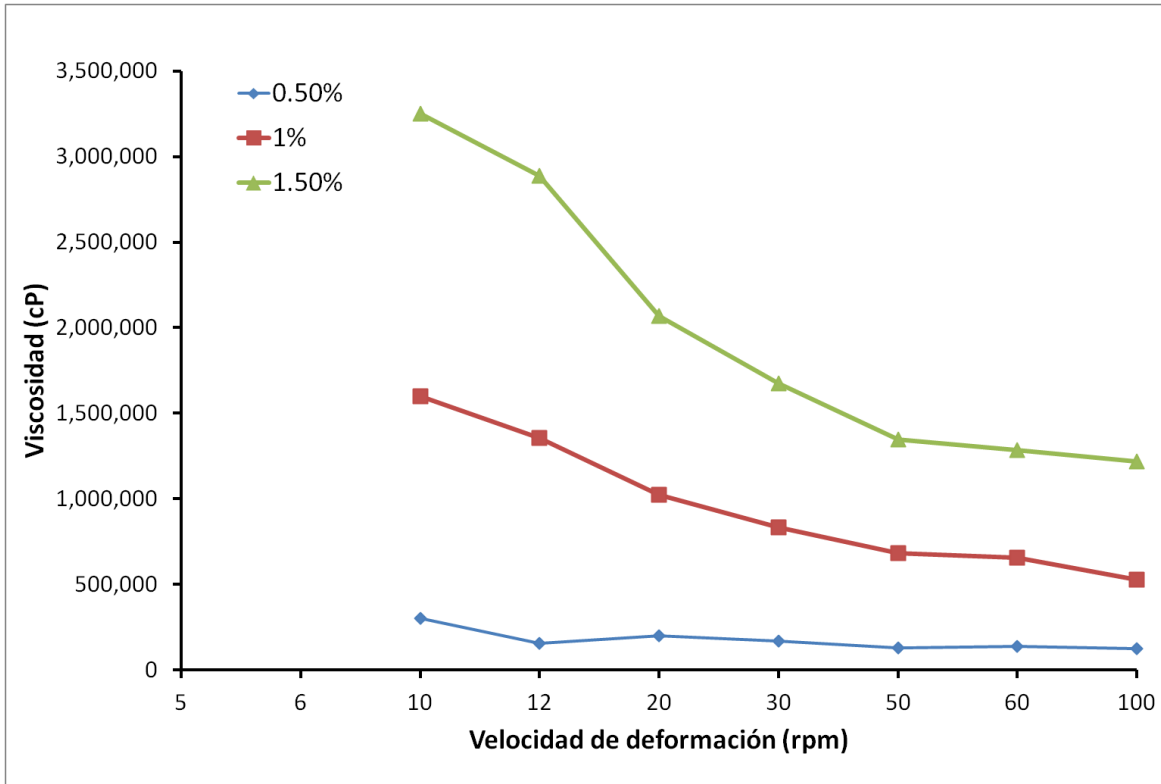


Figura 28. Efecto de la concentración de la goma xantana en la curva reológica de la cubierta comestible.

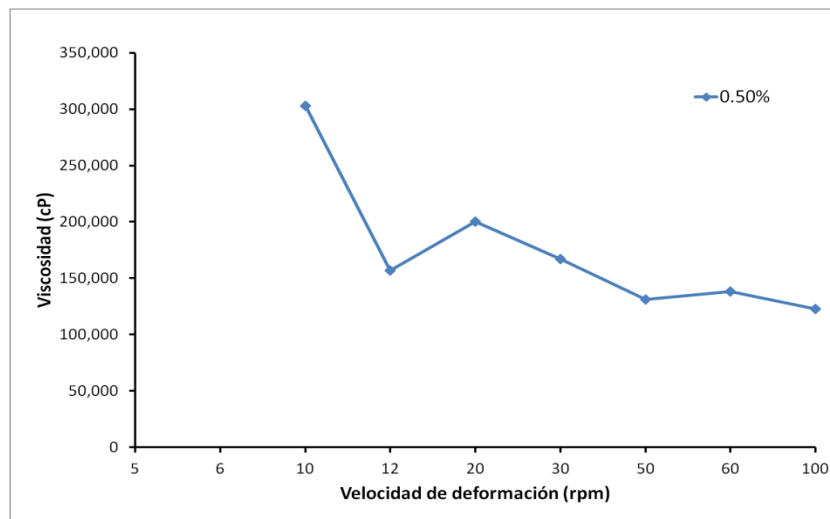


Figura 29. Efecto de concentración de la goma xantana (0.5)

4.2.2. Métodos de aplicación de las cubiertas comestibles

Se conocen varios métodos para la aplicación de recubrimientos comestibles, los más utilizados son aspersion, frotación e inmersión. La técnica de aspersion es una de más utilizadas en la industria alimentaria, ya que es de fácil aplicación y debido a que se utiliza alta presión, se requiere menor cantidad de solución formadora de recubrimientos uniformes. Por otra parte el método de frotación se utilizan para algunos fluidos que tienden a ser más espesos (viscosidad elevada) por lo que se aplican con unos rodillos de fibras que cubren al alimento. Finalmente el proceso por inmersión consiste en sumergir el alimento o producto en el recubrimiento líquido con el fin de formar una capa uniforme en una superficie irregular, es ampliamente utilizada en frutas, vegetales y productos cárnicos. (García Ángel, 2009).

En este trabajo de investigación, debido a la consistencia del alimento en estudio (harina preparada para elaborar churros), se decidió utilizar la técnica de aspersion (figura 14) para el recubrimiento de pectina debido a que presentaba una menor viscosidad comparada con la de los recubrimientos elaborados con gomas guar y xantana, para estos últimos se aplicó el método de frotación (figura 15).

Una vez colocado cada recubrimiento, se realizaron las evaluaciones correspondientes al color, textura y contenido de grasa del alimento frito, comparando estos parámetros con una muestra testigo (sin recubrimiento).

4.3 Análisis de Color triestino

El color es uno de los principales parámetros que son percibidos por los consumidores y es un requisito en la aceptabilidad de los alimentos. En los productos fritos se debe cuidar el tiempo y temperatura de freído para generar un color atractivo en el alimento (Song *et al.*, 2007; De Grandi *et al.*, 2009).

En la figura 30 se presentan los parámetros de luminosidad “L*”, y de cromaticidad “a*” (+a* = rojo, -a* = verde) y “b*” (+b* = amarillo, -b* = azul) obtenidas en muestras sin recubrimiento o testigo. En los diferentes tiempo de cocción se observa que conforme aumenta el tiempo y disminuye la temperatura

de freído el alimento logra el punto de cocción adecuado en forma paulatina, mientras que al elevar la temperatura y reducir el tiempo de cocción, el producto puede llegar a quemarse externamente. Además al aumentar la temperatura el aceite disminuye su viscosidad y por lo tanto fluye más rápidamente al interior del alimento; en tanto que a temperaturas menores existe una mayor resistencia del aceite a fluir por lo que el producto presenta una mayor cantidad de aceite en su exterior mostrándose ligeramente con mayor brillo, lo que indica valores elevados de L^*

En cuanto a los parámetros de cromaticidad, a^* y b^* , ambos fueron positivos, por lo que el color de las muestras resulta de la combinación amarillo-rojo. Los valores de la coordenada a^* disminuye conforme la aumenta la temperatura de freído, caso contrario a lo que se observa con el parámetro b^* , es decir, a menor temperatura la muestra presenta una tonalidad amarilla más intensa. La combinación de ambos parámetros dan lugar al color final obtenido en el alimento, de esta forma, las muestras cocidas a bajas temperaturas y tiempo largos de freído mostraron coloraciones amarillo-naranja, en tanto que aquellas que se les aplicó temperaturas elevadas a tiempos cortos, mostraron un color rojizo-café.

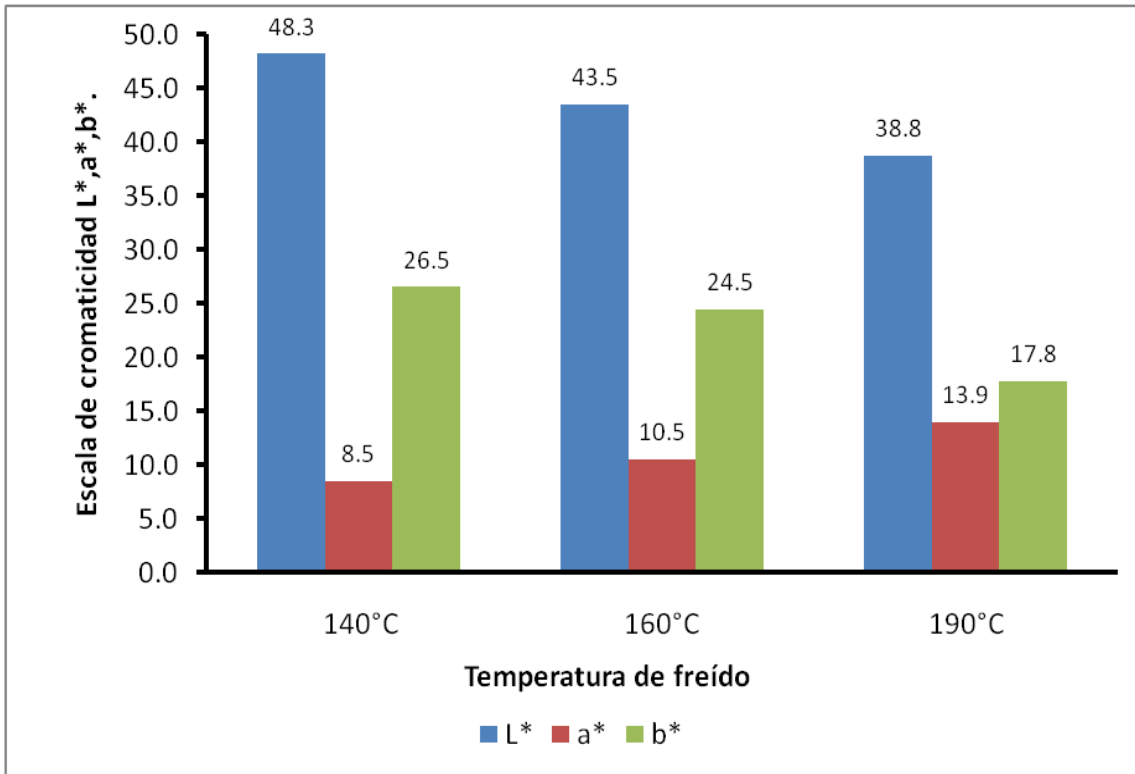


Figura 30. Cromaticidad de muestras testigo a 3 diferentes temperaturas

La coloración rojiza a altas temperaturas puede deberse a la reacción de Maillard, la cual es un conjunto de complejas reacciones químicas producidas en sustancias como proteínas, azúcares y grasas por efecto del calor. Los productos mayoritarios de estas reacciones son moléculas cíclicas y policíclicas, que aportan sabor y aroma a los alimentos, y pueden ser cancerígenas (Baduí, 1993). Debido a lo anterior se decidió utilizar las condiciones de 140 °C y 12 min para las condiciones de freído del alimento en estudio.

Posteriormente se realiza el análisis de cromaticidad y luminosidad para muestras con cubierta comestible colocada previamente al freído bajo las condiciones mencionadas previamente. Las figuras 31,32 y 33, presentan estos resultados para la pectina, goma guar y goma xantana, respectivamente.

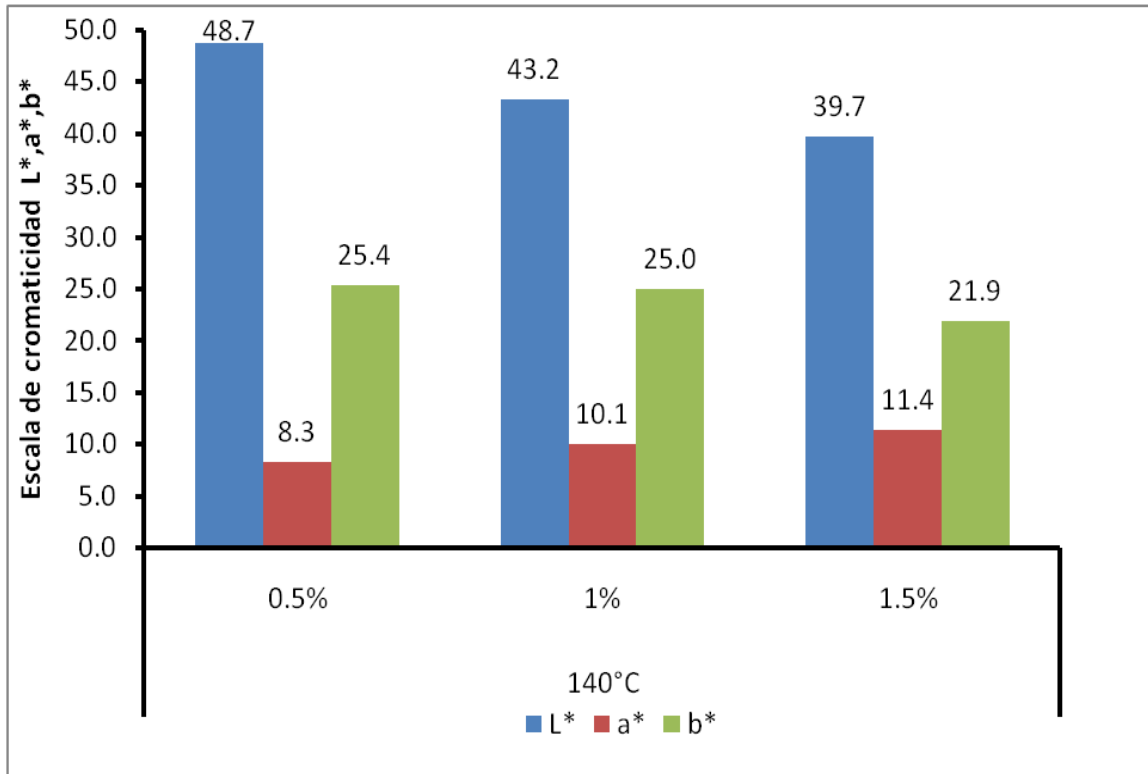


Figura 31. Comportamiento de cromaticidad en alimento frito conteniendo una cubierta con diferentes concentraciones de pectina.

Al incrementar concentración de pectina en la solución formadora de la cubierta comestible, disminuye ligeramente la luminosidad de los productos fritos, esto puede deberse a que al aumentar la cantidad de sólido disuelto en la cubierta la viscosidad se incrementa (como se observó en la figura 31), lo que forma una capa protectora poco translúcida debido a gelificación/gelatinización de la pectina inducida térmicamente por encima de los 60 °C (Ramos-Perfecto, 2013). En cuanto a los parámetros de cromaticidad no se observó diferencia significativa al variar la concentración de pectina.

En la figura 32 podemos observar la influencia de la variación de concentración de la goma guar en los valores de L*, a* y b*, los cuales indican un ligero descenso de la luminosidad en las dos concentraciones mayores respecto a la de 0.5%. Mientras que los parámetros de cromaticidad no muestran una diferencia significativa conforme la concentración aumenta, al igual que sucedió con la pectina.

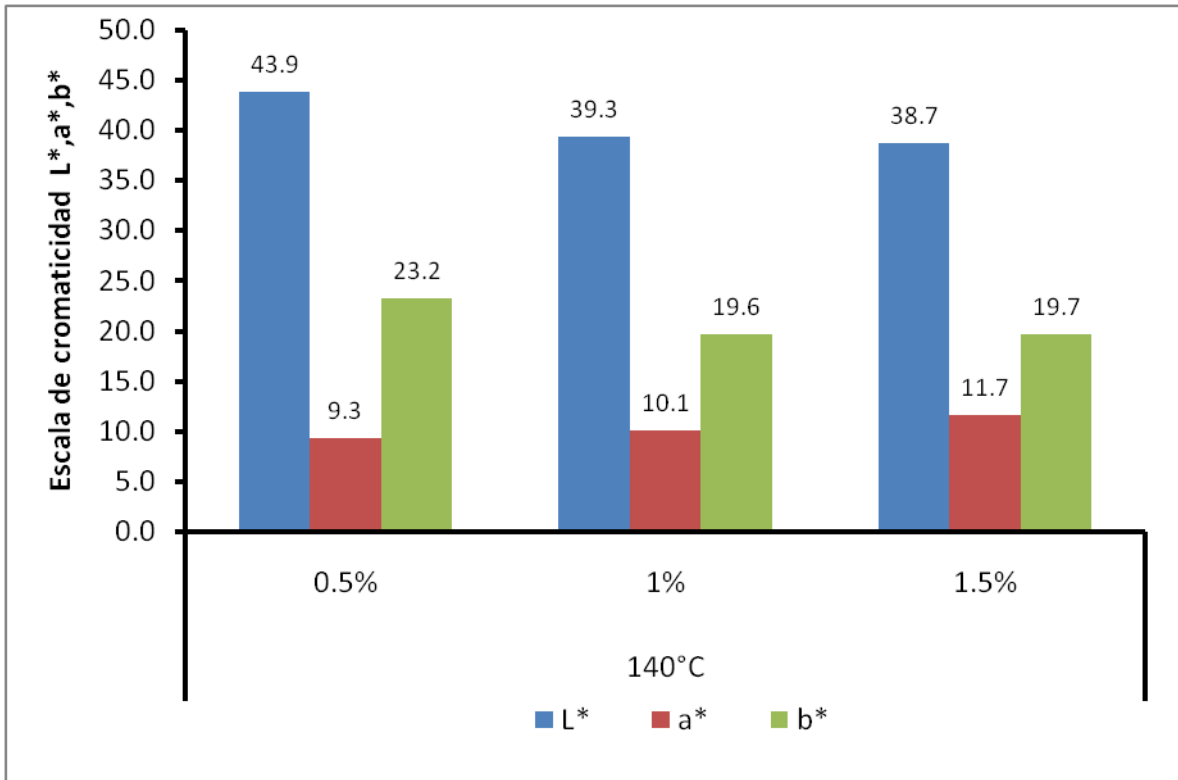


Figura 32. Comportamiento de cromaticidad en alimento frito conteniendo una cubierta con diferentes concentraciones de goma guar.

Para el efecto de la concentración de la goma xantana en los valores de L*, a* y b* los resultados se presentan en la figura 33, la cual indica que la luminosidad se ve disminuida ligeramente a la máxima concentración utilizada (1.5%), en tanto que los valores de a* y b*, permanecen sin variación significativa.

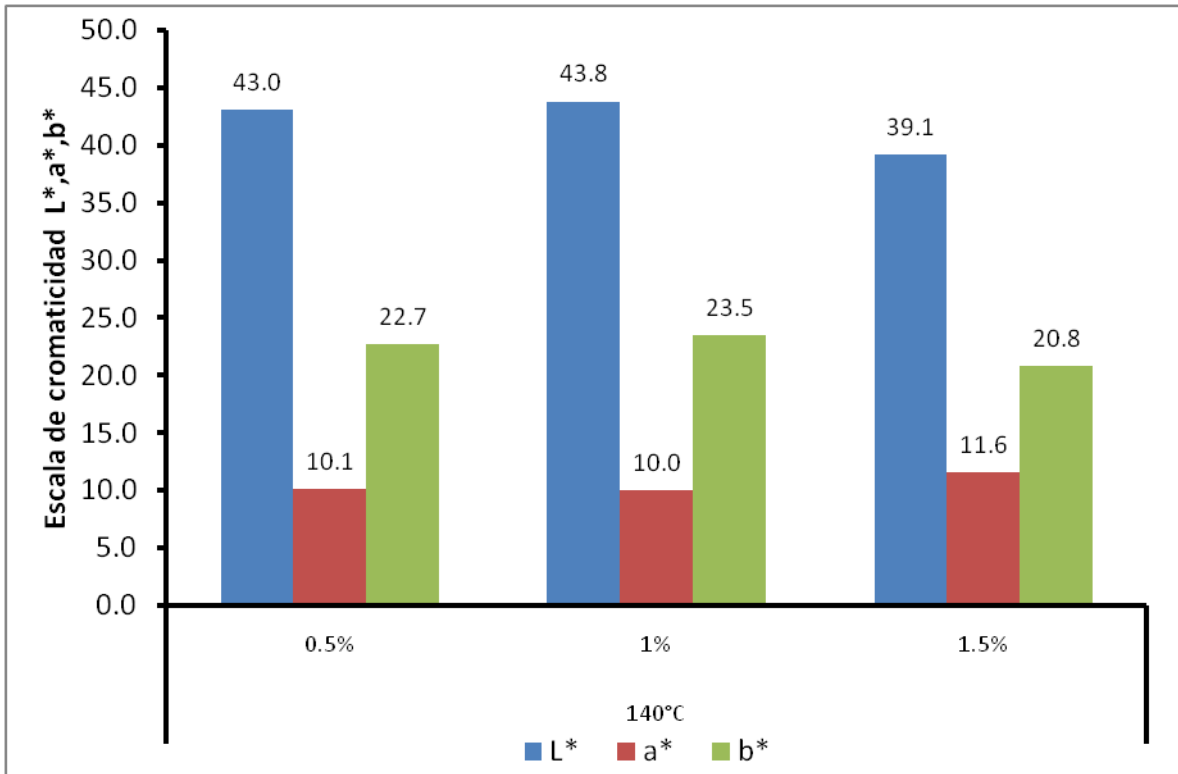


Figura 33. Comportamiento de cromaticidad en alimento frito conteniendo una cubierta con diferentes concentraciones de goma xantana.

4.4 Análisis de textura

Un método para determinar la textura de un alimento es mediante la medición de la presión ejercida que ocasione una determinada deformación en éste. Para lo anterior, se consideró aplicar la presión necesaria para modificar el diámetro original del alimento en estudio (churro freído a 140 °C durante 12 min). Lo anterior se realizó tanto para la muestra testigo (sin recubrimiento) como para aquellas con cubiertas comestibles a base de pectina, goma guar y goma xantana a tres diferentes concentraciones. Los valores promedio obtenidos se muestran en la tabla 11

Tabla 11. Valores promedio obtenidos del análisis de textura (Presión ejercida, Kg/cm²)

| Muestras | Porcentajes de concentraciones de cubiertas (kg/cm ²) | | | |
|---------------------|---|------------|------------|------------|
| | 0.0% | 0.5% | 1% | 1.5% |
| Testigo | 2.02 ±0.35 | --- | --- | --- |
| Pectina | --- | 1.74 ±1.17 | 3.10 ±0.05 | 3.14± 0.16 |
| Goma Xantana | --- | 3.17 ±0.03 | 3.17 ±0.03 | 3.20± 0.01 |
| Goma Guar | --- | 2.76 ±0.36 | 2.76± 0.57 | 2.88± 0.27 |

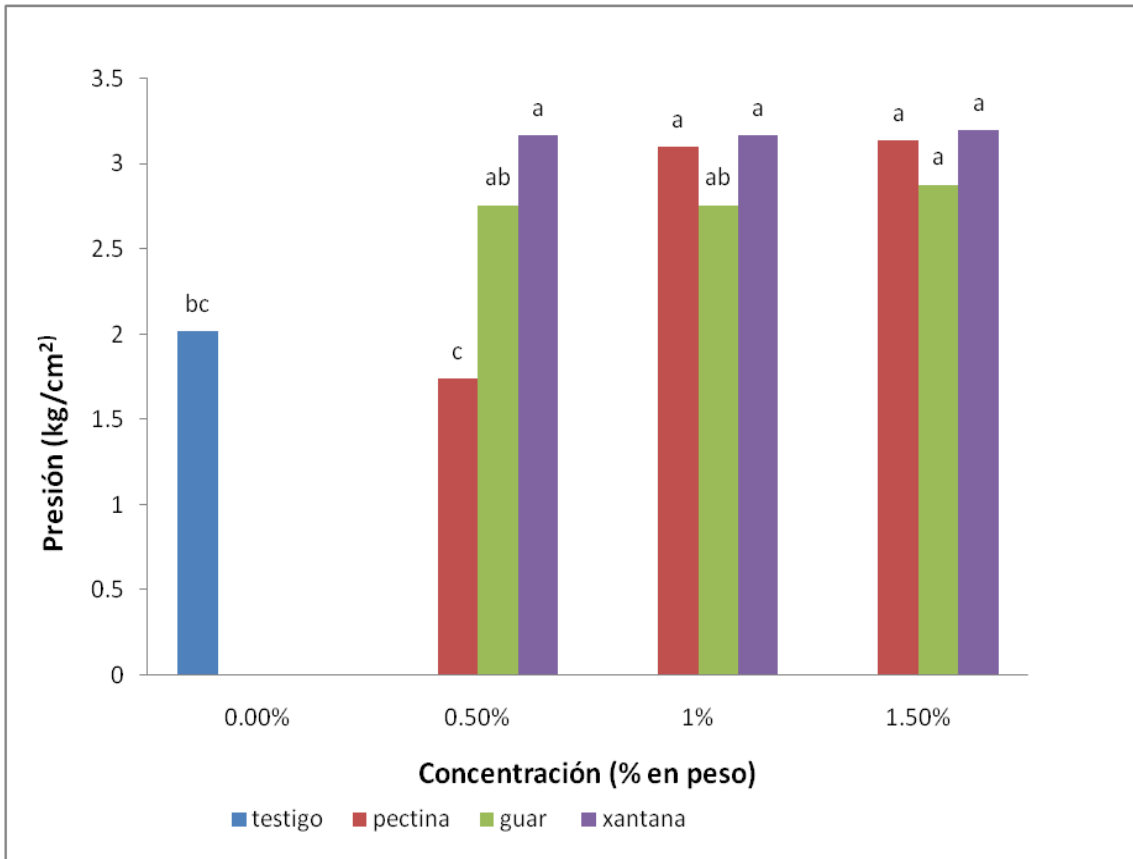
Cada valor representa el promedio de 3 observaciones ± desviación estándar

Los recubrimientos elaborados con goma xantana fueron los que proporcionaron un mayor incremento en la textura del alimento, el cual oscila en un promedio del 57.4% respecto al de la muestra testigo; seguido de los recubrimientos a base de pectina pero solo con concentraciones $\geq 1\%$ en peso, dicho incremento en la textura fue del alrededor del 54.4% en promedio. Finalmente los recubrimientos a base de goma guar son los que mostraron la menor modificación de la textura del alimento, ya que solo se incrementó en un promedio del 38.6%.

De los recubrimientos comestibles utilizados en la industria de los alimentos, aquellos elaborados a base de hidrocoloides son más atractivos debido a que poseen buenas propiedades de barrera al oxígeno, humedad, dióxido de carbono y lípidos, por lo cual pueden reducir la absorción de aceite durante el freído profundo (Aminlari *et al.*, 2005; Suárez *et al.*, 2008; Singthong y Thongkaew, 2009; Quintero *et al.*, 2010; Nyun *et al.*, 2011; Daraei *et al.*, 2012; Porta *et al.*, 2012), por lo tanto, una variedad de alimentos se han recubierto con hidrocoloides para prevenir la pérdida de humedad, preservar la textura y mantener el color (Singthong and Thongkaew, 2009; Nyun *et al.*, 2011). Algunos de los hidrocoloides usados comúnmente son las proteínas, celulosa en polvo y sus derivados, metilcelulosa, alginatos, pectina, almidón, proteína de suero, albúmina, maíz, gluten, gomas, etc.

Algunos estudios con recubrimientos a base de hidrocoloides muestran que éstos son capaces de formar una capa protectora sobre toda la superficie del alimento durante las etapas iniciales del freído, debido a la gelificación/gelatinización inducida térmicamente por encima de los 60 °C y esta capa protectora retarda la transferencia de humedad y grasa entre la muestra y el medio de freído. Además, la textura del alimento se modifica debido a la formación de una estructura más rígida lo que incrementa su firmeza. Estos resultados concuerdan con los reportados por Ramos-Perfecto en el 2013, quien realizó un estudio con papas fritas recubiertas con una solución de pectina, encontrando que la textura de las papas depende de la presencia de sustancias pécticas, las cuales son parte del material intercelular. Las enzimas pécticas producen grupos carboxílicos libres, los cuales pueden reaccionar con iones divalentes, por ejemplo, Ca y Mg (calcio y magnesio), creando estructuras más rígidas y también incrementando la firmeza. La formación de pectatos-Ca incrementa la rigidez de la pared celular y da resistencia a la degradación por el proceso de freído.

En seguida se muestra la figura 34, donde se puede observar los promedios de la presión (kg/cm^2) ejercida para deformar el alimento de estudio así como su comparación de medias.



Los valores son el promedio de 3 repeticiones.

Valores con la misma literal indican semejanza estadística ($p < 0.05$)

Figura 34. Textura en muestras de chorro freído a 140 °C durante 12 min conteniendo recubrimientos de hidrocoloides con diferentes concentraciones.

Para el caso del presente alimento en estudio es altamente deseable que la textura de los alimentos recubiertos con diferentes cubiertas sea semejante al alimento testigo. En este entendido pectina al 0.5, guar al 0.5% y guar a 1% fueron las cubiertas que estadísticamente ($p < 0.05$) presentaron texturas semejantes al testigo. El resto de los tratamientos presento textura superior a la del testigo.

Estudios realizó por Rovedo *et al.*, (1999) y Olewnick Kulp (1993), en papas fritas han demostrado que la textura final de un producto frito es ligeramente dependiente de su composición. De hecho, la interacción entre la proteína y el almidón (amilosa y amilopectina) es importante para la calidad y la textura del producto final, en lo que todo producto frito debe tener una consistencia crujiente para poder obtener la consistencia de un producto frito.

4.5 Determinación de grasa

Después de someter las muestras en estudio al proceso de freído bajo las condiciones ya especificadas anteriormente, se prosiguieron a determinar el grado de barrera a la absorción de grasa ofrecido por los recubrimientos seleccionados a base de hidrocoloides previamente colocados en el alimento. Lo anterior se realizó determinando el porcentaje de grasa presente en el alimento después del proceso de cocción. Los resultados se compararon con la muestra testigo (sin recubrimiento) y se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Porcentajes determinación de grasa de muestras freídas a 140 °C durante 12 min.

| Muestras | % Grasa | Cambio de % de grasa |
|---------------------------|------------|----------------------|
| Testigo | 31.01±1.49 | 100 |
| Pectina 0.5 % | 28.46±1.79 | -8.22 |
| Pectina 1.0 % | 26.16±7.89 | -15.64 |
| Pectina 1.5 % | 20.96±0.39 | -32.4 |
| Goma xantana 0.5 % | 25.28±0.97 | -18.48 |
| Goma xantana 1.0 % | 23.42±4.22 | -24.48 |
| Goma xantana 1.5 % | 23.77±3.05 | -23.35 |
| Goma guar 0.5 % | 31.37±0.18 | +1.16 |
| Goma guar 1.0 % | 30.05±1.91 | -3.095 |
| Goma guar 1.5 % | 29.02±0.72 | -6.42 |

Los valores representan el promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar

En la tabla anterior se observa que al incrementar la concentración del sólido utilizado en la formulación de la solución formadora del recubrimiento, el porcentaje de grasa absorbido por el alimento disminuyó, siendo más evidente esta reducción en la cubierta de pectina, ya que para las concentraciones de 0.5, 1.0 y 1.5% la reducción de la absorción de grasa fue del 8.2, 15.6 y 32.4%, respectivamente con respecto a la muestra testigo. En tanto que la cubierta elaborada a base de goma guar fue la que mostró la menor variación del

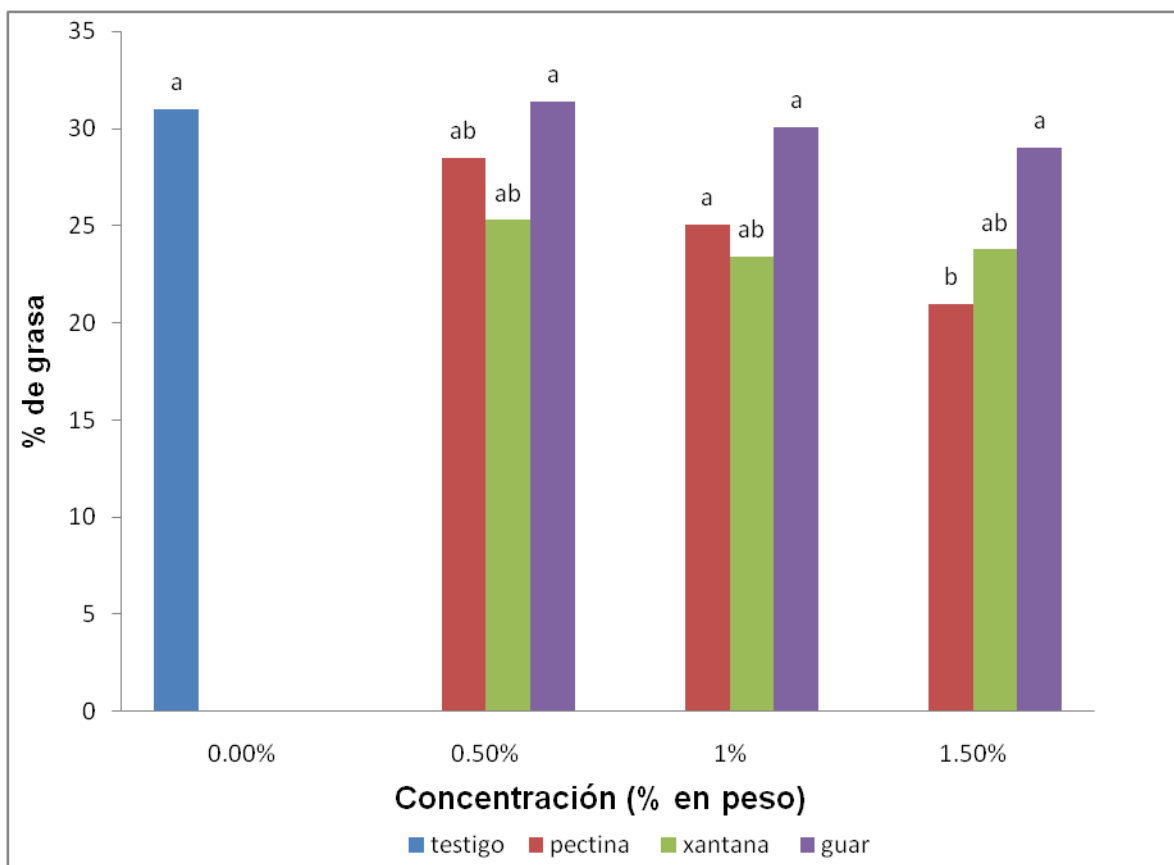
porcentaje de reducción de grasa absorbida respecto de la muestra sin recubrimiento (cerca del 2.8%). Por otro lado, el recubrimiento elaborado con goma xantana mostró un promedio de reducción de grasa respecto de la muestra testigo del 22.1%, sin mostrar diferencias significativas a concentraciones $\geq 1\%$ en peso.

La tendencia del comportamiento mostrado en relación al contenido de absorción de grasa concuerda con los resultados del análisis de textura mostrados en el apartado 4.4, ya que en ambas propiedades las cubiertas elaboradas con goma guar presentaron una textura y un grado de absorción de grasa ligeramente diferente con la muestra testigo; en tanto que aquellos recubrimientos de goma xantana y pectina fueron los que mostraron una mayor modificación en ambos aspectos.

Los resultados obtenidos para el grado de absorción de grasa concuerdan con las reportadas por Rimac-Brnic *et al.*, 2004 quienes indican (en su estudio sobre disminución de la absorción de aceite en tiras de papa durante el freído profundo) que los hidrocoloides utilizados (derivados de carboximetilcelulosa) proporcionaron una capa fina alrededor de las muestras recubiertas evitando así la migración del aceite dentro del tejido de papa durante el proceso de freído. Singthong y Thongkaew en el 2009 atribuyen la reducción del contenido de aceite en rodajas de plátano a la formación de una película en la superficie de las rodajas recubiertas (Alginato de sodio, CMC, Pectina), la cual protegió su estructura durante el freído. Ali *et al.*, en el 2012 demostraron que los hidrocoloides actúan como una barrera protectora, reduciendo la pérdida de humedad y disminuyendo los espacios para la absorción de aceite e indicaron que un escaldado en CaCl_2 es capaz de estabilizar la estructura del tejido contra la violencia del proceso de freído (Tiras de papa recubiertas con CMC, Mezcla CMC+goma guar, mezcla goma xantana+proteína de suero de leche+almidón de maíz resistente). Daraei *et al.*, en el 2012 afirman que al recubrir papas fritas con diferentes hidrocoloides se reduce la pérdida de humedad durante el freído y por consiguiente se obtienen

papas fritas con menos absorción de aceite (rodajas de papa recubiertas con CMC, Goma guar, Goma xantana).

En seguida se muestra la figura 35 donde se puede observar los promedios de porcentaje de grasa presente en cada tratamiento.



Los valores son el promedio de 2 repeticiones.

Valores con la misma literal indican semejanza estadística ($p < 0.05$)

Figura 35. Porcentaje de grasa en muestras de churro freído a 140 °C durante 12 min conteniendo recubrimientos de hidrocoloides con diferentes concentraciones.

4.6 Evaluación sensorial

En la tabla 13 se muestran los diferentes tratamientos, así como los atributos evaluados los cuales fueron: color, textura (suavidad) y sensación grasosas mediante un panel sensorial semientrenado a través de una prueba discriminativa de ordenamiento.

Tabla 13. Atributos sensoriales de los diferentes tratamientos.

| Atributos | Tratamientos | | | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Sin cubierta | Pectina | Goma guar | Goma xantana |
| Color | 1.91 ± 1.17 <i>a</i> | 2.3 ± 0.86 <i>ab</i> | 2.88 ± 0.80 <i>b</i> | 2.88 ± 1.29 <i>b</i> |
| Suavidad | 2.31 ± 1.30 <i>a</i> | 2.40 ± 1.21 <i>a</i> | 2.71 ± 0.95 <i>a</i> | 2.57 ± 0.97 <i>a</i> |
| Sensación Grasosa | 2.54 ± 1.17 <i>a</i> | 2.20 ± 0.99 <i>a</i> | 2.74 ± 1.03 <i>a</i> | 2.51 ± 1.24 <i>a</i> |

Cada valor representa la media de 35 panelistas ± desviación estándar.

Medias con diferente literal en una fila son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

A través de la evaluación sensorial de las diferentes cubiertas en sus distintos atributos solo se encontró diferencia estadística en los productos cubiertos de goma guar y goma xantana con respecto del testigo (churro sin cubierta) en el atributo de color. El tratamiento cubierto de pectina presentó similitud estadística en cuanto a este atributo con el resto de los tratamientos. Por otra parte el análisis estadístico de la determinación de color instrumental (colorímetro Konica minolta modelo CR-400) de estos mismos tratamientos, no presentó diferencias significativas, sin embargo la figura 36 que es una representación de los resultados obtenidos sensorialmente para los diferentes tratamientos ubicados en el plano de cromaticidad, nos muestra que el testigo tiene un color inclinado al amarillo, el tratamiento cubierto de pectina se inclina entre el amarillo y naranja, el tratamiento cubierto con goma xantana tiende hacia un color naranja-roja y por último el tratamiento cubierto de guar tiende a un color rojo-rosa. Estas diferencias en la gama de amarillos a rojos fueron detectados por los panelistas aun y cuando en el análisis instrumental de color no hubo diferencia

estadísticas por encontrarse dentro del mismo radio de cromaticidad. La evaluación sensorial tanto de textura como sensación grasosa resultó ser estadísticamente semejante en todos los tratamientos con respecto al testigo. En el 2011 Bhagwan *et al.*, realizaron un estudio semejante agregando hidrocoloides entre ellos la goma guar y la goma xantana para reducir la absorción de grasa en la “samosa” (empanada oriental frita), en esta investigación se realizó una evaluación sensorial de tipo hedónica para detectar grado de aceptación en atributos como color, sabor, sensación en la boca y aceptación global.

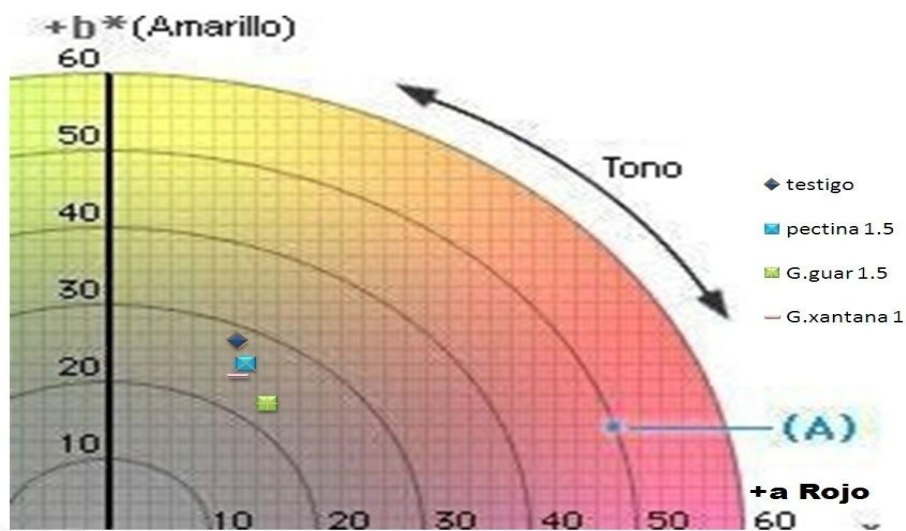


Figura 36. Ubicación en el plano de cromaticidad de las muestras seleccionadas para evaluación sensorial.

5. CONCLUSIONES

- Los recubrimientos de pectina mostraron un comportamiento reológico del tipo dilatante mientras que las gomas xantana y guar un comportamiento pseudoplástico. Por tal razón el método adecuado de aplicación para la pectina fue por aspersión, las gomas guar y xantan por frotación.
- Los resultados de la prueba de textura indican que al incrementar la concentración de las recubrimientos a base de hidrocoloides la rigidez del alimento aumenta, siendo más evidente en cubiertas de pectina y de goma xantana, en tanto que con goma guar el cambio en la estructura de la superficie del alimento fue menor.
- La mayor disminución de absorción de grasa, se presento al aplicar el recubrimiento de pectina a 1.5%, seguido de goma xantana a 1%, mientras que con la goma guar a 1.5%, la cantidad de grasa absorbida fue ligeramente menor con respecto a la muestra testigo.
- La semejanza sensorial en los atributos de sensación grasosa y textura de los diferentes tratamientos con respecto al testigo representan una característica positiva para este estudio, ya que ambos atributos son características propias del chorro de harina, es altamente deseable que al agregar a este producto alguna cubierta para disminuir el contenido de grasa, sus atributos sensoriales sean semejantes al producto sin modificar.

6. LITERATURA

- Altenhofen, M., Krause, A. C., Guenter, T. (2009).** Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca²⁺ ions: Effect of the plasticizer concentration. *Carbohydrate polymers*. 77, 736 - 742.
- Amendola, I, (1993).** *The Baker's Manual*, 4th Ed.; Van Nostrand Reinhold: New York, 200–201.
- Aminlari, M.; Ramezani, R.; Khalili, M.H. (2005).** Production of Protein-Coated Low-Fat Potato Chips. *Food Science and Technology International*, 11, 177-181.
- Anonimo 1.** hidrocoloides (en línea). Consultado el día 07 de marzo del 2013. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/24062099/Hidrocoloides> .
- Anónimo 2,** 2010. Aceites giról, Asociación pro-ayuda de niños quemados consultado el día 22 de agosto del 2013. Disponible en: <http://www.aceitegirol.com/index-2.html> .
- Badui, (1993).** *Química de los Alimentos*. Zaragoza, España, Editorial Longman. 648 p.
- Baldwin, E., Krochta, J.M., Nisperos-Carriedo, M.O., (1994).** *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. CRC Press, New York, USA.
- Ballester O. F. (2013).** Caracterización reológica de alimentos. Saintgermainltda. (en línea) consultado el día 15 de agosto del 2013. disponible en <http://saintgermainltda.com/wp-content/uploads/2013/05/CARACTERIZACION-REOLOGICA-DE-ALIMENTOS.pdf>.
- Bhagwan K. Sakhale y Jyosna B. Badgujar 2011.** Effect of hydrocolloids incorporation in casing of samosa on reduction of oil uptake. *Association of Food Scientists & Technologists (India)* (November–December) 48(6):769–772.
- Bosquez, M.E., Vernon, E.J., Pérez, L. y Guerrero, L.I. (2000).** Películas y Cubiertas Comestibles para la Conservación en Fresco de Frutas y Hortalizas. *Industria Alimentaria*. 22(1):14-29, 32-36.
- Cubero, N.; Montferrer, A.; Villalta, J. (2002).** *Aditivos alimentarios*. Madrid, España. Ediciones Mundi Prensa. 236 p.

- Debeaufort, F., y Voilley, A. (1997).** Methylcellulose-based edible films and coatings: 2. Mechanical and thermal properties as a function of plasticizer content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 685 – 689.
- Daraei, G.A.; Mirzaei, H.O.; Maghsudlo, Y.; Kashaninejad, M.; Jafari, S.M. (2012).** Production of low fat french-fries with single and multi-layer hydrocolloid coatings. *Journal of Food Science and Technology*, DOI 10.1007/s13197-012-0660-9.
- De Grandi, C.F.D.; Garcia, B.S.A.; Prati, P.; Matta, F.F.; Collares, Q.F.P.; Vicente E. (2009).** Reducing of fat uptake in cassava product during deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, 94: 390–394.
- Delgado, (2002).** Obtención in situ de pectina cruda de bajo metoxilos de bagazo de manzana por pectinesterasa fúngica tesis de Maestría, UACH.
- Domblaser, L (2000).** New Product News=GNPD&PF. *Prepared Foods*, 169 (10), 13.
- Drake, S.R., Kupferman, E.M., Fellman, J.K. (1988).** Bing sweet cherry (*Prunus avium* L.) quality as influenced by wax coatings and storage temperature. *Journal of Food Science*, 53, 124-126.
- Ellis P.R., Wang Q., Rayment, P., Ren, Y. y Ross-Murphy, S.B. (2001).** Guar gum: agricultural and botanical aspects, physicochemical and nutritional properties, and its use in the development of functional foods. En Sungsoo, S., Dreher, M.L. (Eds.), *Handbook of Dietary Fiber: an Applied Approach*, Marcel Dekker Inc, New York.
- FELLOWS, P. (1988).** Ambient temperature processing. Irradiation. En: Horwood, E. *Food processing technology: principles and practice*. Ellis Horwood Ltd., Chichester and VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, pp.186-195.
- Galiotta G, Harte F, Molinari D, Capdevielle R, Diano W. (2005).** Galiotta G, Harte F, Molinari D, Capdevielle R, Diano W. 2005. Aumento de la vida de útil poscosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, S.C. 6 (2). ISSN 1665-0204.
- Gamble MH, Rice P (1987).** Effect of pre-frying drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *Int J Food Sci Technol* 22:535–539.
- García Angel H. 2009.** “Efecto de películas de quitosano sobre la vida de anaquel del queso panela. Tesis de licenciatura. Departamento de Ciencia y

Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Narro. Saltillo, Coahuila, México.

- Garcia, M. A., Ferrero, C., Bertola, N., Martino, M., Zaritzky, N. (2002).** Edible coatings from cellulose derivatives to reduce oil uptake in fries products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 3, 391 – 397.
- Gennadios, A., Weller, C.L. (1990).** Edible films and coatings from wheat and corn proteins. *Food Technology*, 44, 63-69.
- Greener, I. Fennema, O. (1994).** Edible films and coatings: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. En: Krochta, J.M., Baldwin, E.A., 51 Nisperos Carriedo, M.O. (eds.). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Ed. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, USA, pp. 1-21-24.
- Guilbert, S. (1986).** Technology and application of edible protective films. En: Mathlouthi, M. (Ed.). *Food Packaging and Preservation. Theory and Practice*. Ed. Elsevier Applied Science Publishers, New York, USA, pp. 371-394.
- Hallstrom, B. (1980).** Es: Fellows, P. 1988. La tecnología de procesamiento de alimentos. Principios y práctica. Ellis Horwood. Reino Unido. Pg. 2183-2186.
- Hernández, E. (1994).** Edible coatings from lipids and resins. En: Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nisperos-Carriedo, M.O. (eds.). *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Ed. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, USA, pp. 279-303.
- Ibarrola (2007).** catedral de mecánica de fluido- UNCor, pag, 3-11 consultado en línea el día 21 de agosto del 2013. Disponible en: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r86786.PDF>
- Janeth M.A.C., (2008).** Aprovechamiento agroindustrial de la uvilla para la obtención de productos cristalinos y chips. Escuela politécnica nacional. Facultad de ingeniería química y agroindustria -pag.14.
- Janositz A, Noack A-K, Knorr D. (2011). Janositz A, Noack A-K, Knorr D. 2011.** Pulsed electric fields and their impact on the diffusion characteristics of potato slices. *Food Science and Technology* 44: 1939-1945.
- Kester, J.J., Fennema, O.R. (1986).** Edible films and coatings: A review. *Food Technology*, 40, 47-59.
- Kim, D.N. Deok Nyun Kim , Jongbin Lim , In Young Bae , Hyeon Gyu Lee , Suyong Lee. 2010.** Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and

- oil uptake during frying of potato strips. Article Journal of Food Engineering . 318,319.
- Kimber MP, Holding S (1987).** Some technological aspects of batter. In: 1st European Symposium on Savory Coatings. Elsevier Applied Science Publishers LTD, London, pp 85–89.
- Krochta, J. M., Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. (1994).** Edible coatings and films to improve food quality. Florida, United States of America: CRC Press.
- Krochta, Munder-johnson. (1997).** Edible protein films and coatings. En: Damodaran, S., Paraf, A.(eds.). Food Proteins and their Applications in Foods. Ed. Marcel Dekker, New York, USA.
- Krokida M.K, Oreopoulou V, Maroulis Z.B, Marinos-Kouris D. (2001).** Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries. *Journal of Food Engineering* 49: 339-345.
- Lewis, (1993).** Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Proceso. Zaragoza, España, Editorial Acribia. 494 p.
- Maftoonazad, N., Ramaswamy, H. S., Moalemiyan M., Kushalappa, A. C.(2007).** Effect of pectin-based edible emulsion coating on changes in quality of avocado exposed to *Lasiodiplodia theobromae* infection. *Carbohydrate Polymers*. 68, 341 – 349.
- Mallikarjunan P, Chinnan M. S, Balasubramaniam V. M. and Phillips R. D. (1997).** Edible coatings for Deep-fat frying of starchy products. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, **30**: 709–714.
- Martínez-Bustos F, López-Soto M, Zazueta-Morale JJ y Morales-Sánchez E. (2005).** Preparación y propiedades de almidones pre-gelatinizados de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y jícama (*Pachyrhizus erosus*) usando calentamiento óhmico. *Agrociencia*. **39**: 275-283.
- Mellema, M., (2003).** Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science & Technology* 14 (9), 364–373.
- Moreira RG, Castell-Perez ME, Barrufet MA (1999).** Deep-fat frying fundamentals and applications. Aspen Publishers, Inc, Gaithersburg, pp 75–104.
- Morales V. V. (2008).** Nuevos desarrollos en tecnologías convencionales de extensión de vida de anaquel. *Extensión of Product Shelf-life for Food*

Processor Technical Information Section, Leatherhead Food International.
info@munidoalimentario.com.

Moreno, M.C.; 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. Food Engineering and Physical Properties*, 73, 122-128.

Nísperos-Carriedo, M.O., Baldwin, E.A., Shaw, P.E. (1992). Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. Proceedings of the Annual Meeting Florida State Hort. Society, 104, 122-125.

Nyun, K.D.; Lim, J.; Young, B.I.; Gyu, L.H.; Lee, S. (2011). Effect of hydrocolloid coatings on the heat transfer and oil uptake during frying of potato strips. *Journal of Food Engineering*, 102, 317-320.

OWEN R FENNEMA. (1996). Food Chemistry, Tercera edición.

Pastor C, Ortolá M.D (2005). Aplicación de films comestibles en fresones (*Fragaria spp*) de la variedad Ventana. Universidad Politécnica de Valencia.

Pedreschi F y Moyano P.(2005a). Effect of pre-drying on texture and oil uptake of potato chips. *LWT* 38, 599–604.

Pedreschi F y Moyano P. (2005b). Oil uptake and texture development in fried potato slices. *Journal of Food Engineering* 70: 557–563.

Pérez, B. y Báez, R. (2003). Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas. Alimentaria, julio-agosto. Ramos García Margarita de Lorena. “influencia de la temperatura y aplicación de quitosano en cormos de gladiola en su desarrollo pre y pos cosecha”. Tesis Nivel Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 2008.

Ponce, A. G., Roura S. I., del Valle C. E., Moreira M. R. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: *in vitro* and *in vivo* studies. *Postharvest Biology and Technology*, (49) 294 – 300.

Porta, R.; Mariniello, L.; Di Pierro, P.; Sorrentino, A.; Giosafatto, V.C.; Rossi, M.G.; Esposito, M. (2012). Water Barrier Edible Coatings of Fried Foods. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, Volumen 2 • Issue 7 • 1000e116, ISSN: 2155-952X.

Pyler, E.J(1988). Baking Science and Technology, 3rd Ed.; Sosland Publishing Co.: Kansas, 1988; Vol. II, 1028–1077.

- Quintero, C.J.; Falguera, V.; Muñoz, H.A. (2010).** Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*, 5, 93-118.
- Ramos-Perfecto, (2013).** Diseño de estrategias para reducir la absorción de aceite durante el freído de papa. Tesis de maestría. Facultad de ciencias químicas departamento de investigación en alimentos. Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, México.
- Renovato-Nuñez, (2005).** Caracterización físico-química de pomazas cítricas y sus relevancias en la industria de la pectina. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Rimac-Brncic S, Lelas V, Rade D, Simundic B. (2004).** Decreasing of oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 64: 237–241.
- Rovedo CO, Pedreno-Navarro MM, Singh RP (1999).** Mechanical properties of a corn starch product during the post-frying period. *J Texture Stud* 30:279–290
- Saguy IS, Pinthus EJ (1995).** Oil uptake during deep fat frying: factors and mechanisms. *Food Technol* 49:142–145, 152.
- Sahin S, Sumnu G y Halil O. M. (2007).** Effect of osmotic pretreatment and microwave frying on acrylamide formation in potato strips. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87: 2830–2836.
- Salengke, Sastry. (2007).** Effects of ohmic pretreatment on oil uptake of potato slices during frying and subsequent cooling. *Journal of Food Process Engineering* 30: 1–12.
- Santanera, A.N., (2000).** tecnología experiencia for tribologic research-foro tecnico. Nuestra amiga la viscosidad. (en línea) consultado el 26 de abril del 2013, disponible en: <http://www.idpaparatos.com/forotecnico/forotecnico.htm>
- Saucedo-Pompa S, Sáenz-Galindo A, Jasso-Cantu D, Aguilar-González M. A, Aguilar C. N. (2009).** Influencia del ácido elágico y de cera de candelilla de cubiertas comestibles en la vida de anaquel de manzanas. *Revista Acta Química Mexicana*. Número 2.
- Shellhammer, T.H., Krochta, J.M. (1997).** Whey protein emulsion film performance as affected by lipid type and amount. *Journal of Food Science*, 62, 390-394.

- Singthong, J.; Thongkaew, Ch. (2009).** Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1199-1203.
- Soliva, R. y Martin, O. (2001).** Envasado de alimentos mediante recubrimientos comestibles. *Alimentaria*, Septiembre. Tharanathan, R.N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 71-78.
- Song, Xian-ju, Zhang, Min y Mujumdar Arun S. (2007).** Effect of vacuum-microwave predrying on quality of vacuum-fried potato chips. *Drying Technology*, 25: 2021–2026.
- Suárez, B.R.; Campañone, L.A.; García, M.A.; Zaritzky, N.E. (2008).** Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*, 84, 383-393.
- Tharanathan, R.N. (2003).** Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science and Technology*, 14, 71-78.
- Trejo Márquez Ma. A, (2010).** “aplicación de recubrimientos comestibles.” Taller multidisciplinario de ingeniería en alimentos-procesos tecnológicos de frutas y hortalizas. Facultad de estudios superiores cuautitlán. Universidad nacional autónoma de México.
- UDLAP.2011.** “películas comestibles, revisión de literatura”. Consultado el 10 de abril del 2013. (en línea) disponible en: <http://catarina.udlap.mx/udla/tales/documentos/lia/guzmanygcapitulo4pdf>.
- Varela G. (1988).** Current facts about the frying of foods. In: Valera G, Bender AE, edición español p.312,316.
- Vargas, M., Pastor C., Chiralt, A., McClements, D.J. González-Martínez, C. (2008).** Recent advances in edible coatings for fresh and minimally-processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 496-511.
- Vélez-Ruiz, J.F. y Sosa-Morales, M.E. (2009).** Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. En: *Transport Phenomena in Food Processing*. J. Welti-Chanes, J.F. Vélez-Ruiz, G.V. Barbosa- Cánovas, Editores. CRC Press, Boca Ratón, FL. Morten JD (ed) Principles, changes, new approaches. UK, pp 9–25.
- Weiss, J., Takhistov, P., McClements, D.J. (2006).** Functional materials in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, 71, 107-116.

Williams R. (1997). Reducing fat absorption in fried foods using edible films. Master thesis. *University of Guelph, Canada.*

Williams, R., Mittal, G.S., (1999). Water and fat transfer properties of polysaccharide films on fried pastry mix. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 32 (7), 440–445.

7. ANEXOS

ANEXO 1. Hoja maestra de prueba discriminativa de ordenamiento para los diferentes tratamientos de churros

| juez | permutaciones | códigos | | | |
|------|---------------|---------|-----|-----|-----|
| 1 | ABCD | 871 | 213 | 737 | 555 |
| 2 | DCBA | 471 | 259 | 331 | 087 |
| 3 | DCBA | 986 | 323 | 271 | 564 |
| 4 | ACDB | 991 | 306 | 174 | 889 |
| 5 | CABD | 841 | 668 | 611 | 821 |
| 6 | BACD | 973 | 204 | 485 | 657 |
| 7 | ABCD | 269 | 274 | 702 | 564 |
| 8 | ACDB | 090 | 874 | 890 | 893 |
| 9 | ACDB | 197 | 526 | 309 | 225 |
| 10 | BACD | 272 | 336 | 764 | 443 |
| 11 | ABCD | 457 | 833 | 748 | 340 |
| 12 | BACD | 651 | 053 | 126 | 878 |
| 13 | ABCD | 704 | 725 | 027 | 566 |
| 14 | ABCD | 923 | 764 | 439 | 162 |
| 15 | CABD | 661 | 665 | 690 | 227 |
| 16 | CABD | 113 | 431 | 808 | 180 |
| 17 | CABD | 104 | 117 | 162 | 252 |
| 18 | ABCD | 940 | 523 | 843 | 684 |
| 19 | DCBA | 362 | 196 | 836 | 155 |
| 20 | CABD | 246 | 967 | 940 | 294 |
| 21 | DCBA | 003 | 971 | 548 | 437 |
| 22 | BACD | 150 | 050 | 482 | 564 |
| 23 | DCBA | 624 | 540 | 726 | 599 |
| 24 | BACD | 085 | 703 | 560 | 469 |
| 25 | DCBA | 056 | 871 | 356 | 743 |
| 26 | ABCD | 029 | 888 | 904 | 459 |
| 27 | BACD | 378 | 823 | 061 | 150 |
| 28 | CABD | 341 | 848 | 272 | 352 |
| 29 | ACDB | 833 | 929 | 820 | 387 |
| 30 | ACDB | 850 | 485 | 253 | 550 |
| 31 | ACDB | 513 | 807 | 457 | 305 |
| 32 | BACD | 481 | 701 | 317 | 592 |
| 33 | ACDB | 650 | 667 | 772 | 950 |
| 34 | DCBA | 674 | 835 | 710 | 242 |
| 35 | CABD | 323 | 010 | 700 | 225 |

ANEXO 2. Respuestas de los panelistas para la prueba de ordenamiento en los diferentes atributos evaluados para cada tratamiento.

| respuesta color | | | | respuesta suavidad | | | | respuesta graso | | | |
|-----------------|---|---|---|--------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|
| 4 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 |
| 1 | 2 | 4 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 3 | 4 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 |
| 3 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| 3 | 2 | 4 | 1 | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 3 | 2 | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 3 | 1 | 4 | 1 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| 4 | 2 | 3 | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 2 |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 2 | 1 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 1 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 1 | 3 | 2 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 4 |
| 2 | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 | 3 | 2 |
| 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 | 2 | 4 | 3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 3 | 1 | 4 | 3 | 2 |
| 1 | 3 | 4 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 |
| 4 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 1 |

ANEXO 3. Hoja de evaluación de prueba discriminativa de ordenamiento.

NOMBRE _____ **NO.PANELISTA** 1

INTRUCCIONES:

1. Prueba las muestras de izquierda a derecha.
2. Evalué los atributos en el orden que se te muestran, ordenando las muestras de menor (1) a mayor (4) presencia del atributo a evaluar.

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 871 | 213 | 737 | 555 |
|-----|-----|-----|-----|

| | | |
|--------------|-----------------|----------------|
| Color | Suavidad | Grasoso |
| 1. _____ | 1. _____ | 1. _____ |
| 2. _____ | 2. _____ | 2. _____ |
| 3. _____ | 3. _____ | 3. _____ |
| 4. _____ | 4. _____ | 4. _____ |

Comentarios : _____

“muchas gracias”

ANEXO 4. ANOVA y pruebas de comparación de medias de Tukey para resultados de luminosidad.

| Effect Tests | | | | | |
|--------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Source | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
| trat | 9 | 9 | 161.04370 | 1.4526 | 0.2321 |

LSMeans Differences Tukey HSD

| Level | | Least Sq Mean |
|---------------|---|---------------|
| pectina 0.5 | A | 44.026667 |
| testigo | A | 43.513333 |
| pectina 1 | A | 41.753333 |
| pectina 1.5 | A | 40.546667 |
| G.guar 0.5 | A | 39.590000 |
| G.xantana 1 | A | 39.253333 |
| G.xantana 1.5 | A | 38.650000 |
| G.xantana 0.5 | A | 37.766667 |
| G.guar 1 | A | 37.423333 |
| G.guar 1.5 | A | 37.246667 |

Levels not connected by same letter are significantly different

ANEXO 5. ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey para resultados de textura.

Effect Tests

| Source | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|--------------|-------|----|----------------|---------|----------|
| tratamientos | 9 | 9 | 7.0817367 | 10.8777 | <.0001 |

LSMeans Differences Tukey HSD

| Level | Least Sq Mean |
|-----------------|---------------|
| G.xantana 1.5 A | 3.1966667 |
| G.xantana 1 A | 3.1733333 |
| G.xantana 0.5 A | 3.1666667 |
| pectina 1.5 A | 3.1366667 |
| pectina 1 A | 3.0733333 |
| G.guar 1.5 A | 2.8833333 |
| G.guar 1 A B | 2.7633333 |
| G.guar 0.5 A B | 2.7566667 |
| testigo B C | 2.0200000 |
| pectina 0.5 C | 1.7400000 |

Levels not connected by same letter are significantly different

ANEXO 6. ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey para resultados de determinación de grasa.

Effect Tests

| Source | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|----------|-------|----|----------------|---------|----------|
| Column 1 | 9 | 9 | 237.62650 | 6.4796 | 0.0037 |

LSMeans Differences Tukey HSD

| Level | Least Sq Mean |
|-----------|---------------|
| g 0.5 A | 31.365000 |
| test A | 31.010000 |
| g 1 A | 30.050000 |
| p 1 A | 29.490000 |
| g 1.5 A | 29.015000 |
| p 0.5 A B | 28.460000 |
| x 0.5 A B | 25.280000 |
| x 1.5 A B | 23.775000 |
| x 1 A B | 23.420000 |
| p 1.5 B | 20.950000 |

Levels not connected by same letter are significantly different

ANEXO 7. ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey de los datos sensoriales para el atributo de color.

Effect Tests

| Source | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|--------|-------|----|----------------|---------|----------|
| trat | 3 | 3 | 23.628571 | 7.0764 | 0.0002 |

LSMeans Differences Tukey HSD

| Level | | Least Sq Mean |
|-------|-----|---------------|
| g | A | 2.8857143 |
| x | A | 2.8857143 |
| p | A B | 2.3142857 |
| sc | B | 1.9142857 |

Levels not connected by same letter are significantly different

ANEXO 8. ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey de los datos sensoriales para el atributo de textura (suavidad).

Effect Tests

| Source | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|--------|-------|----|----------------|---------|----------|
| trat | 3 | 3 | 3.3428571 | 0.8828 | 0.4518 |

LSMeans Differences Tukey HSD

| Level | | Least Sq Mean |
|-------|---|---------------|
| g | A | 2.7142857 |
| x | A | 2.5714286 |
| p | A | 2.4000000 |
| sc | A | 2.3142857 |

Levels not connected by same letter are significantly different

ANEXO 9. ANOVA y prueba de comparación de medias de Tukey de los datos sensoriales para el atributo de grasa (grasoso).

Effect Tests

| Source | Nparm | DF | Sum of Squares | F Ratio | Prob > F |
|--------|-------|----|----------------|---------|----------|
| trat | 3 | 3 | 5.2857143 | 1.4119 | 0.2420 |

LSMeans Differences Tukey HSD

| Level | | Least Sq Mean |
|-------|---|---------------|
| g | A | 2.7428571 |
| sc | A | 2.5428571 |
| x | A | 2.5142857 |
| p | A | 2.2000000 |

Levels not connected by same letter are significantly different