

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Proyecto Final de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos para
optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

**Evaluación del efecto de la aplicación de coberturas comestibles a base de hidrocoloides
sobre la absorción de aceite en *chips* de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí fritos
al vacío**

Elaborado por:
Ximena Abrahams Ibarra

Carné: B30030

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Elaborado por:

Ximena Abrahams Ibarra

Aprobado por:

Ph.D. Carolina Rojas Garbanzo
Presidenta del Tribunal

Lic. Johan Jiménez Arias
Director del Proyecto

M.Sc. Hermes Alvarado Montero
Asesor del Proyecto

M.Sc. Marvin Soto Retana
Asesor del Proyecto

M.Sc. Lea Wexler Goering
Profesora Designada

DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

El presente proyecto de graduación posee un nivel de confidencialidad parcial. El documento se publica restringiendo información por el potencial de transferencia de la tecnología.

DEDICATORIA

A mis papás por acompañarme en cada etapa de mi vida y por su amor incondicional.

Al baby, porque lastimosamente no me pudo ver graduada y sé que se sentiría muy orgulloso de mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta este momento y por las bendiciones que me brinda todos los días.

A la profe Nadia por ser una profesora y ser humano excepcional, gracias por apoyarme en este proyecto, aclararme las miles de dudas que me surgían, reunirse conmigo tantas veces para que todo me quedara claro, por su paciencia, amabilidad, comprensión; por recoger las papayas en la feria cuando no pude y por preocuparse por mi salud mental cuando estaba pasando por una etapa difícil en mi vida.

A Johan por asumir con total responsabilidad y compromiso la dirección de esta tesis a mitad del proceso. Gracias por el interés, cordialidad y apoyo brindados, por contestar todas mis dudas, mis mensajes y audios desesperados y por sacar siempre el tiempo para reunirse conmigo.

Al profe Hermes por su paciencia y tranquilidad, por escuchar mis mensajes y audios desesperados a cualquier hora, por aclarar mis dudas de química y agilizar el proceso de revisión cuando así lo necesité.

Al profe Marvin por aclarar mis dudas y por sus observaciones en el trabajo final.

A Caro Rodríguez, Megan, Valerita, María y Michi por ayudarme tanto en las pruebas experimentales, gracias por su responsabilidad, puntualidad y compañerismo.

A Cama, Alonso, Giova, Luis, Silvia y Eduardo por su calidad humana, amabilidad y simpatía, gracias por ayudarme siempre en cualquier cosa que necesitara durante las pruebas experimentales y por hacer el ambiente de trabajo más ameno y divertido.

A la empresa OROFRUITS en especial a don Giovanni por su amabilidad, responsabilidad y disposición y por asegurarse de que las papayas estuvieran en el estado de madurez requerido.

A Gerardina Umaña por aclararme las dudas relacionadas con la papaya, siempre con mucha amabilidad.

A Rody y Rebe por su amistad, por hacer de la U un lugar mucho mejor y por aclarar mis dudas relacionadas con la tesis.

A mi mamá por compartir mis tristezas y alegrías, por su amor y compañía eterna, en especial en esta etapa tan importante para mí. A mi papá por creer en mí, por sus halagos y siempre estar al tanto de lo que necesito.

A mis hermanos Glory, Che y Abraham por alegrar mis días, por su apoyo, amor y escucharme una y otra vez hablar de la U y de la tesis.

A Ricardo por su amor y ternura, por acompañarme todos los fines de semana a recoger las papayas durante las pruebas, por escucharme y aconsejarme cuando más lo necesité y por estar a mi lado en este proceso.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xviii
1. JUSTIFICACIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1. Proceso de fritura por inmersión.....	5
3.1.1. Definición y características.....	5
3.1.2. Cambios producidos en el alimento durante la fritura.....	6
3.2. Absorción de aceite en los alimentos durante el proceso de fritura.....	7
3.2.1. Mecanismos de absorción de aceite.....	7
3.2.2. Factores que afectan la absorción de aceite durante la fritura.....	8
3.2.2.1. Características del alimentos.....	8
3.2.2.2. Características del aceite.....	8
3.2.2.3. Pretratamientos aplicados al alimento.....	8
3.3. Proceso de fritura al vacío.....	9
3.3.1. Equipo de fritura al vacío.....	10
3.3.2. Características de los productos fritos al vacío.....	11
3.3.3. Factores que afectan la absorción de aceite durante a fritura al vacío.....	12
3.3.3.1. Efecto del vacío en el contenido de aceite del alimento.....	12
3.3.3.2. Efecto del periodo de presurización y centrifugación.....	12
3.4. Papaya.....	13
3.4.1. Origen y características.....	13
3.4.2. Regiones productoras de papaya en el mundo y en Costa Rica y su exportación.....	14
3.4.3. Variedades de papaya.....	14

3.4.3.1.	Variedad híbrido Pococí.....	15
3.5.	Hidrocoloides.....	15
3.5.1.	Definición y características.....	15
3.5.2.	Tipos de hidrocoloides.....	15
3.5.2.1.	Derivados de celulosa.....	16
3.5.2.2.	Pectinas.....	16
3.5.2.3.	Almidón.....	16
3.5.2.4.	Gomas.....	16
3.5.2.5.	Proteínas.....	17
3.5.3.	Usos de los hidrocoloides en la industria alimentaria.....	17
3.5.3.1.	Espesantes.....	17
3.5.3.2.	Geles.....	18
3.5.3.3.	Emulsificantes y estabilizantes.....	18
3.5.3.4.	Sustitutos de grasa.....	18
3.5.3.5.	Coberturas comestibles.....	18
3.5.3.5.1.	Métodos de aplicación de las coberturas.....	18
3.5.3.5.2.	Mecanismo de acción de las coberturas para disminuir la absorción de aceite durante la fritura.....	19
3.5.3.5.3.	Investigaciones realizadas del efecto de los hidrocoloides en la disminución de aceite durante la fritura.....	19
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1.	Localización del proyecto.....	21
4.2.	Materias primas.....	21
4.3.	Proceso de elaboración de los <i>chips</i> de papaya.....	21
4.4.	Equipo utilizado.....	23
4.5.	Pruebas preliminares.....	25
4.6.	Pruebas experimentales.....	26

4.6.1.	<i>Selección de dos hidrocoloides que presenten atributos físicos y de proceso que permitan su aplicación como coberturas en chips de papaya.....</i>	26
4.6.2.	<i>Identificación de las condiciones de aplicación de los hidrocoloides que mejor limiten la absorción del aceite en los chips de papaya durante la fritura al vacío.....</i>	31
4.7.	Métodos de análisis físicoquímicos.....	37
4.7.1.	Contenido de lípidos.....	37
4.7.2.	Reducción del contenido de lípidos.....	37
4.7.3.	Contenido de humedad.....	37
4.7.4.	Actividad de agua (aw).....	38
4.7.5.	Color.....	38
4.7.6.	Textura.....	39
4.7.7.	Viscosidad.....	39
4.8.	Métodos de análisis de proceso.....	40
4.8.1.	Porcentaje de adhesión de la cobertura.....	40
4.8.2.	Costo de aplicación.....	41
4.8.3.	Mediciones de retención y pérdida de humedad.....	41
5.	PRUEBAS PRELIMINARES.....	43
5.1.	<i>Selección del accesorio para la medición de textura (dureza) de los chips de papaya.....</i>	43
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
6.1.	<i>Selección de dos hidrocoloides que presenten atributos físicos y de proceso que permitan su aplicación como coberturas en chips de papaya.....</i>	46
6.1.1.	Preselección teórica.....	46
6.1.1.1.	Frecuencia de uso de los hidrocoloides.....	46
6.1.1.2.	Eficacia de los hidrocoloides.....	47

6.1.2.	Selección práctica.....	49
6.1.2.1.	Viscosidad de las dispersiones y adhesión de la cobertura...	49
6.1.2.2.	Nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones.....	54
6.1.2.3.	Costo de aplicación.....	56
6.1.2.4.	Ecuación de deseabilidad.....	59
6.2.	<i>Identificación de las condiciones de aplicación de los hidrocoloides que mejor limiten la absorción del aceite en los chips de papaya durante la fritura al vacío.....</i>	<i>60</i>
6.2.1.	Definición de los límites de la concentración de los hidrocoloides.....	60
6.2.2.	Definición de los límites del tiempo de escurrido.....	61
6.2.3.	Diseño experimental: Optimización del proceso de aplicación de las coberturas de goma guar y goma xantán en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío	62
6.2.3.1.	Resultados obtenidos de las variables respuesta.....	62
6.2.3.2.	Resultados obtenidos de los parámetros de humedad.....	73
6.2.3.3.	Significancia de los modelos generados.....	77
6.2.3.4.	Condiciones óptimas.....	84
6.2.3.5.	Validación del modelo.....	86
6.2.4.	Comparación entre la goma guar y la goma xantán.....	89
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
7.1.	Conclusiones.....	91
7.2.	Recomendaciones.....	92
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	94
9.	ANEXOS.....	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Efecto del uso de hidrocoloides en la reducción de la absorción de aceite en productos fritos, empleando diferentes condiciones de aplicación de las coberturas.....	20
Cuadro II. Escala de valoración del porcentaje de adhesión de la cobertura.....	27
Cuadro III. Escala de valoración del nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones de los hidrocoloides.....	28
Cuadro IV. Escala de valoración del costo de aplicación de los hidrocoloides al emplearlos como coberturas.....	29
Cuadro V. Diseño experimental propuesto para la selección de dos hidrocoloides empleados como coberturas para reducir la absorción de aceite en chips de papaya fritos al vacío.....	30
Cuadro VI. Factores independientes y niveles codificados y naturales para la evaluación de las diferentes condiciones de aplicación de las coberturas en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	35
Cuadro VII. Distribución de las pruebas experimentales del segundo objetivo de la investigación.....	36
Cuadro VIII. Coeficiente de variación de los resultados obtenidos en la medición de la dureza de los <i>chips</i> de papaya en el analizador de textura TA.XT Plus utilizando tres accesorios distintos (esfera de 0,64 cm, cilindro de 3 mm y cilindro de 6 mm).....	45
Cuadro IX. Temperatura y tiempo de solubilización, necesidad de agitación y puntuación del nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones para las concentraciones mínima y máxima de los hidrocoloides.....	55
Cuadro X. Concentraciones mínimas y máximas y las respectivas viscosidades del ajuste realizado para la goma guar y la goma xantán.....	60
Cuadro XI. Resultados obtenidos de las variables respuesta (humedad de los <i>chips</i> , a_w , contenido de lípidos y dureza) en los <i>chips</i> de papaya control (sin cobertura).....	62
Cuadro XII. Variables independientes y resultados obtenidos de las variables respuesta (adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos,	

color (ΔE^*) y dureza) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma guar como cobertura.....64

Cuadro XIII. Variables independientes y resultados obtenidos de las variables respuesta (adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color (ΔE^*) y dureza) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma xantán como cobertura.....65

Cuadro XIV. Resultados obtenidos de parámetros relacionados con la humedad de la materia prima y del producto (humedad de la papaya, humedad de los *chips*, humedad de la papaya con cobertura, retención de humedad antes de la fritura (RHAF), retención de humedad después de la fritura (RHDF), pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* sin y con cobertura (PHDF_{sc} y PHDF_{cc})) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma guar como cobertura.....74

Cuadro XV. Resultados obtenidos de los parámetros relacionados con la humedad de la materia prima y del producto (humedad de la papaya, humedad de la papaya con cobertura, retención de humedad antes de la fritura (RHAF), retención de humedad después de la fritura (RHDF), pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* sin y con cobertura (PHDF_{sc} y PHDF_{cc})) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma xantán como cobertura.....75

Cuadro XVI. Significancia de los modelos generados para las variables respuesta analizadas aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotatable, al utilizar la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.....78

Cuadro XVII. Significancia de los modelos generados para las variables respuesta analizadas aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotatable, al utilizar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.....79

Cuadro XVIII. Valores de los factores de concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido para la obtención de las condiciones óptimas para el a_w en los *chips* de papaya

fritos al vacío cubiertos con goma guar.....	85
--	----

Cuadro XIX. Valores de los factores de concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido, para la obtención de las condiciones deseadas de la adhesión de la cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío cubiertos con goma xantán.....	86
---	----

Cuadro XX. Valor experimental y valor estimado de adhesión de la cobertura a partir del modelo generado con la metodología de superficie de respuesta, empleando las condiciones óptimas.....	87
---	----

Cuadro XXI. Condiciones de aplicación (concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido) de las coberturas de goma guar y goma xantán para las cuales se obtuvieron las mayores reducciones del contenido de lípidos en los <i>chips</i> de papaya.....	90
--	----

Cuadro XXII. Aplicación de la ecuación de deseabilidad para los cinco hidrocoloides preseleccionados para la concentración mínima y la concentración máxima de cada uno, según las puntuaciones obtenidas para la adhesión de la cobertura, el nivel de complejidad y el costo de aplicación.	99
--	----

Cuadro XXIII. Análisis de varianza de las variables de adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos y dureza para los modelos generados empleando la metodología de superficie de respuesta al utilizar la goma guar como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	100
--	-----

Cuadro XXIV. Análisis de varianza de las variables de adhesión de la cobertura, humedad de los <i>chips</i> , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color y dureza para los modelos generados empleando la metodología de superficie de respuesta al utilizar la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	101
--	-----

Cuadro XXV. Valores y probabilidades asociadas a los coeficientes de regresión del modelo significativo generado para la actividad de agua (a_w), aplicando la metodología de	
---	--

superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotable, al utilizar la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.....103

Cuadro XXVI. Valores y probabilidades de los coeficientes de regresión del modelo generado para la adhesión de la cobertura, aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotable, al utilizar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.....103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de procesamiento de los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío con coberturas a base de hidrocoloides.....	22
Figura 2. Diagrama del equipo de fritura al vacío. 1) Vista del equipo con la canasta en posición “Abajo”; 2) Vista del equipo con la canasta en posición “Arriba” (Elaborado por Marvin Soto).....	23
Figura 3. Esquema del procedimiento seguido para la definición de los límites de las concentraciones de los hidrocoloides seleccionados.....	32
Figura 4. Coordenadas de color L*, a* y b*.....	39
Figura 5. Representación gráfica de las mediciones de retención y pérdida de humedad de la papaya fresca y los <i>chips</i> de papaya.....	41
Figura 6. Dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la media en la medición de la dureza de los <i>chips</i> de papaya empleando la esfera de 0,64 cm.....	43
Figura 7. Dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la media en la medición de la dureza de los <i>chips</i> de papaya empleando el cilindro de 3 mm.....	44
Figura 8. Dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la media en la medición de la dureza de los <i>chips</i> de papaya empleando el cilindro de 6 mm.....	44
Figura 9. Frecuencia relativa de uso de los hidrocoloides utilizados en las investigaciones.....	47
Figura 10. Número de investigaciones en las que los hidrocoloides lograron una mayor reducción de aceite en los productos fritos.....	48
Figura 11. Viscosidad con la desviación estándar de las dispersiones de los hidrocoloides para las concentraciones mínima y máxima de cada uno.....	50
Figura 12. Porcentaje de adhesión de la cobertura con la desviación estándar de las dispersiones de los hidrocoloides para las concentraciones mínima y máxima de cada uno.....	50
Figura 13. Puntuación obtenida para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide según el porcentaje de adhesión de la cobertura.....	54

Figura 14. Costo de aplicación de las dispersiones de los hidrocoloides al emplearlos como coberturas en 1 kg de papaya.....	57
Figura 15. Puntuación obtenida para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide según el costo de aplicación.....	58
Figura 16. Puntuación obtenida para cada hidrocoloide al aplicar la ecuación de deseabilidad.....	59
Figura 17. Porcentaje de adhesión de la cobertura para cada tiempo de escurrido empleado en las rebanadas de papaya cubiertas con las dispersiones de goma guar y goma xantán con las concentraciones del punto central del diseño compuesto central rotatable de cada una.....	61
Figura 18. Efecto de la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido sobre el a_w de los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío cubiertos con goma guar.....	82
Figura 19. Efecto de la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido sobre la adhesión de la cobertura de goma xantán en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	84
Figura 20. Flujo del proceso de elaboración de <i>chips</i> de papaya fritos al vacío cubiertos con goma xantán bajo las condiciones de proceso que optimizan la adhesión de la cobertura.....	88
Figura 21. Gráfico de aleatoriedad de los valores de adhesión de la cobertura al emplear la goma guar como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	104
Figura 22. Gráfico de aleatoriedad de los valores de a_w al emplear la goma guar como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	104
Figura 23. Gráfico de aleatoriedad de los valores del contenido de lípidos al emplear la goma guar como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	105
Figura 24. Gráfico de aleatoriedad de los valores de la reducción del contenido de lípidos al emplear la goma guar como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	105

Figura 25. Gráfico de aleatoriedad de los valores de dureza emplear la goma guar como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	106
Figura 26. Gráfico de aleatoriedad de los valores de adhesión de la cobertura al emplear la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	106
Figura 27. Gráfico de aleatoriedad de los valores de humedad al emplear la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	107
Figura 28. Gráfico de aleatoriedad de los valores del contenido de lípidos al emplear la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	107
Figura 29. Gráfico de aleatoriedad de los valores de la reducción del contenido de lípidos al emplear la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	108
Figura 30. Gráfico de aleatoriedad de los valores del color (ΔE^*) al emplear la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	108
Figura 31. Gráfico de aleatoriedad de los valores de dureza al emplear la goma xantán como cobertura en los <i>chips</i> de papaya fritos al vacío.....	109

ABREVIATURAS

a_w : Actividad de agua

CA: Costo de aplicación

CMC: Carboximetilcelulosa

Cn: Concentración

cob: Cobertura

Conc: Concentración

DCCR: Diseño compuesto central rotable

eq: Equivalente

H_{cfc} : Humedad de los *chips* de papaya con cobertura

H_{cfc} : Humedad de las rebanadas de papaya con cobertura

HPMC: Hidroxipropilmetilcelulosa

H_{scf} : Humedad de los *chips* de papaya sin cobertura

H_{sci} : Humedad de las rebanadas de papaya sin cobertura

Hum: Humedad

L^* : Luminosidad

μ : Viscosidad absoluta

máx: Máximo

m_c : Masa de las rebanadas de papaya con cobertura

MC: Metilcelulosa

m_i : Masa de las rebanadas de papaya sin cobertura

mín: Mínimo

MSR: Metodología de superficie de respuesta

N/A: No aplica

ρ : Densidad

p: Probabilidad

PAM: Pectina de alto metoxilo

PBM: Pectina de bajo metoxilo

p_{fa}: Probabilidad de falta de ajuste

PHDF_{CC}: Pérdida de humedad durante de la fritura de los *chips* de papaya con cobertura

PHDF_{SC}: Pérdida de humedad durante de la fritura de los *chips* de papaya sin cobertura

R²: Coeficiente de determinación

R²_{adj}: Coeficiente de determinación ajustado

RHAF: Retención de humedad antes de la fritura

RHDF: Retención de humedad después de la fritura

s: Desviación estándar de la muestra

t: Tiempo

T: Tratamiento

Temp: Temperatura

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de coberturas comestibles a base de hidrocoloides sobre la absorción de aceite en *chips* de papaya fritos al vacío. Para ello se realizó una preselección de los hidrocoloides mediante una revisión bibliográfica de 21 artículos donde se emplearon para el mismo objetivo en diferentes matrices alimentarias. Esta preselección se hizo tomando en cuenta la frecuencia de uso de los hidrocoloides en las investigaciones y su eficacia en la disminución de la absorción de aceite en los alimentos durante el proceso de fritura. A partir de esto, se preseleccionaron cinco hidrocoloides, los cuales fueron: goma xantán, goma guar, carboximetilcelulosa, pectina de alto metoxilo y pectina de bajo metoxilo.

Posteriormente, se realizó una selección práctica con el fin de escoger los dos hidrocoloides que presentaron los atributos físicos y de proceso adecuados para su aplicación como coberturas. Esta selección se hizo tomando en cuenta cuatro atributos de los hidrocoloides: la viscosidad, la adhesión de la cobertura, el nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones y el costo de aplicación. Además, con estos atributos se formuló una ecuación de deseabilidad a partir de la cual se generó una puntuación de 1 a 5. Los hidrocoloides que presentaron las mayores puntuaciones (cercasas a 5) fueron la goma guar y la goma xantán, por lo que fueron los dos hidrocoloides seleccionados.

Se empleó la metodología de superficie de respuesta con el diseño central compuesto rotatable para estimar los modelos de mejor ajuste para cada variable respuesta. En este caso, los modelos fueron significativos para las variables de a_w y adhesión de la cobertura para la goma guar y para la goma xantán, respectivamente. El modelo matemático estimado para el contenido de lípidos no fue significativo, en ninguno de los hidrocoloides.

No obstante, se mostró una reducción de lípidos en los *chips* de papaya con cobertura al compararlos con los *chips* control. Al aplicar la goma guar como cobertura, se presentó una disminución en el contenido de lípidos en dos tratamientos con una reducción de lípidos máxima de 1,78% para una concentración de hidrocoloide de 0,24% y un tiempo de escurrido de 52 s; y para la goma xantán en cinco tratamientos con una reducción de lípidos máxima de 5,28% para una concentración de hidrocoloide de 0,25% y un tiempo de escurrido de 60 s. Por lo que, la goma xantán presentó mejores resultados con respecto a la reducción del contenido de lípidos en los *chips* de papaya.

La adhesión de la cobertura presentó una relación con la reducción del contenido de lípidos en los *chips* y las condiciones óptimas para obtener los valores de adhesión de la cobertura establecidos como deseables al emplear la goma xantán fueron una concentración de hidrocoloide de 0,40% y un tiempo de escurrido de 5 s.

1. JUSTIFICACIÓN

El consumo de ácidos grasos saturados está altamente relacionado con problemas de salud como enfermedades coronarias, cáncer, diabetes e hipertensión, lo que ha provocado una preocupación por el consumo de productos fritos (Dueik *et al.* 2009). En consecuencia, el desarrollo de *snacks* saludables bajos en grasa ha adquirido gran importancia en esta industria. Sin embargo, los consumidores no desean sacrificar las características sensoriales típicas de los productos fritos, a pesar de querer un producto más saludable. Por esta razón, en la industria de los *snacks* se ha intentado reemplazar la fritura por otras técnicas como la extrusión, el secado y el horneado para la obtención de estos productos con menor contenido de grasa, pero ninguna de estas ha logrado imitar las características sensoriales que se obtienen en la fritura, como el sabor, textura, apariencia y la palatabilidad (Dueik *et al.* 2009).

La fritura al vacío representa una tecnología alternativa para el desarrollo de *chips* de frutas y vegetales, pues mantiene las características sensoriales típicas de un producto frito, conservando en gran medida el color, sabor y valor nutricional originales del alimento (Dueik *et al.* 2009). Además, se ha observado que al implementar un sistema de centrifugación a alta velocidad al vacío posterior a la fritura, disminuye la absorción de aceite, puesto que reduce la cantidad de aceite adherido a la superficie del alimento en un 80-90% (Moreira 2012). Como resultado, se han realizado investigaciones en el desarrollo de *chips* fritos al vacío empleando diferentes materias primas, no obstante, ha sido poco el trabajo desarrollado en papaya, específicamente del híbrido Pococí, razón por la cual se seleccionó para el presente proyecto de investigación.

En Costa Rica, la papaya se encuentra entre las frutas que presentan mayor preferencia en las tendencias de consumo en los últimos años, al igual que el banano, naranja, manzana, piña y sandía (LEGISCOMEX 2015), con un consumo *per cápita* por año de 17,76 kg (PIMA 2016). La papaya ha adquirido relevancia en los últimos años debido a su buena calidad gustativa y a su alto valor nutricional (Bogantes *et al.* 2011).

Además, la papaya híbrido Pococí presenta mejores características en comparación con otras variedades. Se caracteriza por ser homogénea y de alto rendimiento (Bogantes *et al.* 2011), además es más grande, tiene un color rojo más intenso en el interior, un aroma fuerte y un sabor más dulce.

En comparación con otras materias primas, los *chips* de papaya obtenidos mediante la fritura y centrifugación al vacío absorben una cantidad considerable de aceite, entre 27 y 33% al emplear condiciones optimizadas del proceso de fritura (Brenes 2017), mientras que los *chips* de manzana y de mango fritos al vacío sin centrifugación posterior contienen 14% y 33% de aceite respectivamente, y los *chips* de papa fritos al vacío y con centrifugación posterior presentan un 9% (Moreira 2012). Por lo tanto, la fritura y posterior centrifugación al vacío en esta matriz parece que no logra la obtención un producto con bajo contenido de lípidos. Por esta razón, se planteó buscar una alternativa que lograra disminuir la absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de los *chips* de papaya, con el fin de obtener un producto de alta calidad nutricional y sensorial.

En los últimos años, se han realizado diferentes investigaciones sobre métodos que permiten disminuir el contenido de aceite en alimentos fritos, debido al interés por desarrollar productos más saludables, entre estos se encuentra la aplicación de coberturas a base de hidrocoloides, que se considera en la actualidad una de las mejores alternativas para lograr la reducción de la absorción de aceite en los alimentos durante la fritura (Varela y Fiszman 2011).

Las coberturas, que están formadas por polímeros hidrofílicos, funcionan como una buena barrera contra los lípidos, mejorando las características nutricionales del producto al reducir la absorción de aceite y, por lo tanto, el contenido de lípidos del producto final. Asimismo, las coberturas hacen la superficie del alimento más fuerte y quebradiza, con una menor cantidad de poros en esta, lo que limita la salida del agua en forma de vapor y, por lo tanto, la absorción de aceite. De igual forma, tienen la capacidad de retener agua, por lo que previenen el reemplazo de esta por aceite (Varela y Fiszman 2011). Dentro de los hidrocoloides utilizados comúnmente en la industria alimentaria se encuentran la

goma guar, goma xantán, derivados de celulosa (metilcelulosa, hidroxipropilcelulosa y carboximetilcelulosa), entre otros polisacáridos y proteínas (Varela y Fiszman 2011).

Se han realizado investigaciones del efecto del uso de hidrocoloides, empleando diferentes condiciones de aplicación en productos fritos, que demuestran su efectividad en la reducción de la absorción de aceite durante la fritura. Por ejemplo, en papas fritas al utilizar coberturas de hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), goma guar y goma xantán al 1,0% se obtuvo una reducción en la absorción de aceite de 47%, 19% y 6% respectivamente (Pahade y Sakhale 2012). También, en plátano verde la aplicación de coberturas de goma guar, carboximetilcelulosa (CMC) y goma xantán al 1,2% redujeron el contenido de aceite de los plátanos fritos en 43%, 31% y 23% respectivamente (Martínez *et al.* 2015). De igual forma, en *chips* de taro cubiertos con metilcelulosa (MC) al 1,5% se logró una reducción de aceite del 52% (John y Singh 2014).

Existe una limitada cantidad de estudios publicados sobre la aplicación de coberturas en frutas tropicales, y específicamente en papaya es prácticamente nula. Por esta razón, se determinaron las condiciones de aplicación de los hidrocoloides que lograran una mayor reducción en el contenido de aceite de estos *chips*. Así, bajo este contexto el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de coberturas comestibles, a base de hidrocoloides, sobre la absorción de aceite en *chips* de papaya híbrido Pococí fritos al vacío.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de la aplicación de coberturas comestibles, a base de hidrocoloides, sobre la absorción de aceite en *chips* de papaya fritos al vacío.

2.2. Objetivos específicos

- Seleccionar dos hidrocoloides que presenten atributos físicos y de proceso adecuados que permitan su aplicación como coberturas en *chips* de papaya.
- Identificar las condiciones de aplicación de los hidrocoloides que mejor limiten la absorción del aceite en los *chips* de papaya durante la fritura al vacío.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Proceso de fritura por inmersión

3.1.1. Definición y características

La fritura por inmersión es un proceso en el cual los alimentos son sumergidos en aceite a una temperatura superior al punto de ebullición del agua, normalmente entre 150 y 200 °C (Safari *et al.* 2018). Las altas temperaturas utilizadas en la fritura causan la evaporación y la salida del agua del alimento hacia el aceite y, a su vez, la entrada de aceite en este (Movahhe y Chenarbon 2018).

Asimismo, durante la fritura se producen cambios físicos y químicos en el alimento, como la gelatinización del almidón, desnaturalización de las proteínas y el desarrollo del sabor en cuanto a los cambios químicos, mientras que los físicos incluyen la disminución del contenido de humedad, aumento en la temperatura del producto, aumento en el contenido de aceite y la formación de la corteza (Moreira 2012). Por lo tanto, se producen sabores y texturas únicas, los cuales hacen que los productos fritos sean altamente aceptados por el consumidor (Safari *et al.* 2018).

Durante la fritura por inmersión se desarrollan fenómenos de transferencia de calor y de masa entre el alimento y el aceite. La transferencia de calor ocurre a una alta velocidad, debido a la gran cantidad de aceite que se utiliza para calentar el alimento y a la alta capacidad calorífica que tiene el aceite en comparación con otros medios de calentamiento, como el aire caliente o el vapor. La transferencia de calor en el proceso de fritura por inmersión se da mediante dos mecanismos: convección y conducción. Primero, el calor se transfiere del aceite a la superficie del alimento por convección y después desde la superficie al interior del alimento por conducción (Ziaifar 2009).

En la etapa inicial de la fritura, cuando se alcanza la temperatura de ebullición del agua en el alimento, se da la evaporación de esta y su salida en forma de vapor genera la formación de burbujas, que a su vez producen turbulencia en el aceite. La turbulencia aumenta la convección del calor y, por lo tanto, la transferencia de este (Ziaifar 2009), debido a esto la pérdida de humedad es lenta al inicio del proceso, sin embargo, aumenta abruptamente hasta alcanzar un máximo y después disminuye exponencialmente con el paso del tiempo. La pérdida de humedad juega un papel determinante en la transferencia de calor y la absorción de aceite, debido a su capacidad para crear poros en el alimento donde se absorbe el aceite (Ziaifar 2009).

Por último, se da el punto final de burbuja en donde disminuye considerablemente la salida de vapor del alimento y, por ende, la formación de burbujas en el aceite, lo cual disminuye la transferencia de calor en el proceso (Safari *et al.* 2018).

3.1.2. *Cambios producidos en el alimento durante la fritura*

Durante la fritura se producen cambios físicos y químicos en el alimento, entre los cuales se encuentran la reacción de Maillard y la caramelización que son las principales responsables del color y las tonalidades dorado y café desarrolladas en los productos fritos (Bordin *et al.* 2013).

También, se producen cambios en el sabor del alimento, debido a la absorción de aceite y a las reacciones de oxidación en donde se producen compuestos volátiles y no volátiles que modifican el sabor. Los principales factores que afectan el desarrollo del color y sabor en los alimentos fritos son el tipo de aceite, el tiempo de almacenamiento, los cambios térmicos, la tensión superficial entre el alimento y el aceite, la temperatura del aceite, el tiempo de fritura, el contenido de humedad del alimento, el tamaño y las características de la superficie del alimento y los pretratamientos aplicados al mismo (Bordin *et al.* 2013).

Los cambios en la textura del alimento se deben a la combinación de modificaciones en las proteínas, lípidos y carbohidratos presentes en este. Algunos ejemplos son la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, las cuales contribuyen al encogimiento del alimento, la formación de la corteza en la superficie, así como la formación de poros, debida principalmente a la evaporación del agua, lo cual corresponde al principal cambio estructural en el alimento (Bordin *et al.* 2013).

A nivel nutricional, la principal modificación en la composición del alimento es el contenido de lípidos, lo cual depende especialmente del tipo de alimento frito que se desea. En productos fritos delgados como los *chips* se produce una deshidratación casi completa con un contenido de humedad final menor a 5%, lo que provoca una mayor absorción de aceite, entre 30-40%. Por el contrario, los productos fritos gruesos como las papas a la francesa presentan un contenido de humedad final entre 30-50% y, por ende, un contenido de lípidos menor a 15%, obteniendo un alimento con una corteza crujiente y un centro suave y húmedo (Ziaifar 2009).

Asimismo, en el proceso de fritura se da la desnaturalización de las proteínas debido a las altas temperaturas empleadas y la destrucción de ciertos aminoácidos, lo cual modifica la calidad del contenido proteico del alimento (Ziaifar 2009). Los minerales presentes en el alimento son preservados durante la fritura, en especial cuando el alimento se fríe a altas temperaturas y tiempos cortos (Ziaifar 2009).

En cuanto a las vitaminas, estas son altamente termosensibles y su oxidación depende de la temperatura interna del alimento y del proceso de fritura. La vitamina C es la más termosensible y del complejo B la tiamina, riboflavina, niacina y la vitamina B6 son las más afectadas. De igual forma, algunos antioxidantes se pierden durante la fritura como el retinol, carotenoides y tocoferoles, causando cambios en el color y sabor del aceite (Ziaifar 2009).

La amilosa y la amilopectina se dispersan en el agua a altas temperaturas, formando una red polimérica que conlleva a la gelatinización del almidón, dicha gelatinización se produce después de la desnaturalización de las proteínas globulares e incluye a los carbohidratos, proteínas, lípidos y agua del alimento. También, durante la fritura se ha observado la formación de almidón resistente, aumentando el contenido de fibra (Ziaifar 2009).

3.2. Absorción de aceite en los alimentos durante el proceso de fritura

La absorción de aceite es otro de los fenómenos que se presenta en la fritura por inmersión. Este es un proceso complejo en el cual interfieren distintos factores como la estructura del alimento, los intercambios de calor y masa entre el alimento y el medio, y las propiedades del alimento y del aceite. Por lo tanto, se han establecido diferentes mecanismos mediante los cuales se da la absorción del aceite en un alimento (Ziaifar 2009).

3.2.1. Mecanismos de absorción de aceite

De acuerdo con Ziaifar (2009), los principales mecanismos de absorción de aceite son:

- Reemplazo de agua: El agua al alcanzar el punto de ebullición, se evapora y el vapor sale de los poros del alimento siendo reemplazado por aceite.
- Penetración capilar: La penetración del aceite al alimento se da por capilaridad en los poros formados al evaporarse el agua.
- Condensación del agua: Ocurre cuando el alimento se retira del medio de fritura y el vapor presente en los poros se condensa, generando un vacío que produce la absorción del aceite adherido a la superficie del alimento.
- Adhesión y el drenaje del aceite: Se refiere a la retención externa del aceite en la superficie del alimento, el cual es absorbido al retirar el producto del aceite y depende de la forma y la velocidad con la que se retira este.

3.2.2. Factores que afectan la absorción de aceite durante la fritura

Existen diversos factores que afectan la absorción de aceite durante la fritura, entre ellos se encuentran las características del alimento y su composición, las propiedades del aceite utilizado, así como los factores de proceso (antes y después del proceso) (Ziaifar 2009).

3.2.2.1. Características del alimento

Características del alimento como el tamaño y la forma son importantes en la absorción de aceite durante la fritura, pues estos determinan el área superficial expuesta en donde se puede adherir y absorber el aceite; asimismo, la absorción de aceite se produce principalmente en los poros de la corteza, por lo que las características de la capa externa son importantes. De igual forma, la composición del alimento influye en la absorción de aceite, ya que el contenido de agua del alimento crudo está estrechamente relacionado con la cantidad de aceite que este puede absorber (Ziaifar 2009).

3.2.2.2. Características del aceite

Las características del aceite utilizado en el proceso de fritura también son determinantes en la absorción de aceite. La viscosidad del aceite empleado influye en la adhesión y el escurrido en el producto: a mayor viscosidad, menor velocidad de migración del aceite. La viscosidad no depende solamente del tipo de aceite sino también de la temperatura y la calidad de este. De igual forma, la tensión superficial del aceite influye en la absorción de aceite por capilaridad en los poros formados en el alimento, de manera que, a mayor tensión superficial, mayor absorción de aceite (Ziaifar 2009).

Por otra parte, la degradación del aceite influye en su absorción hacia el alimento, pero en menor medida. Un aceite con mayor degradación presenta una mayor viscosidad debido a la formación de polímeros y un menor ángulo de contacto debido a la formación de compuestos polares, lo cual produce un aumento en la absorción de aceite en el producto (Ziaifar 2009).

3.2.2.3. Pretratamientos aplicados al alimento

A continuación, se explican los pretratamientos que se aplican usualmente a los productos fritos y que poseen influencia sobre la absorción de aceite.

3.2.2.3.1. Escaldado

Durante el escaldado se puede dar la disminución de masa seca del producto debido a la salida de compuestos hidrosolubles y, por ende, el aumento del contenido de agua y una mayor absorción de aceite durante la fritura (Ziaifar 2009).

Por otro lado, durante el escaldado se produce la gelatinización del almidón en la superficie del alimento formando una capa delgada y firme, la cual podría funcionar como una barrera contra la absorción de aceite en el proceso de fritura. Además, se pueden activar las enzimas pectinesterasas que pueden producir el colapso de las paredes celulares presentes en la superficie, disminuyendo la porosidad del alimento y así, disminuir la absorción de aceite en la fritura (Ziaifar 2009).

3.2.2.3.2. *Secado*

El secado con aire caliente antes de la fritura disminuye el contenido de agua del alimento, y por lo tanto la absorción de aceite; asimismo, genera una contracción del alimento, minimizando su área superficial y la transferencia de masa durante la fritura. Por otro lado, en la deshidratación osmótica se da la deshidratación parcial del alimento en una solución concentrada, generalmente salina o azucarada, lo que provoca una disminución en el contenido de agua del alimento, y por ende, una menor absorción de aceite en el proceso de fritura (Ziaifar 2009).

3.2.2.3.3. *Horneado*

El horneado con vapor produce una intensa gelatinización del almidón en la superficie, generando una barrera para la entrada de aceite en el producto (Ziaifar 2009).

3.2.2.3.4. *Coberturas*

Por último, la aplicación de coberturas es uno de los pretratamientos utilizados para disminuir la absorción de aceite durante la fritura. Consiste en sumergir el alimento en dispersiones de hidrocoloides y después freírlo, esto con el fin de disminuir la porosidad de la superficie y crear una barrera contra la absorción de aceite (Ziaifar 2009).

3.3. **Proceso de fritura al vacío**

La fritura al vacío es un proceso de fritura por inmersión que se realiza en un sistema cerrado a una presión inferior a la atmosférica. La utilización de bajas presiones ocasiona la disminución del punto de ebullición del agua y, de esta manera, una disminución en la temperatura de fritura (Maity *et al.* 2014) hasta menos de 90 °C (Diamante *et al.* 2015). Esta se ha utilizado en diferentes alimentos, especialmente en frutas y vegetales, debido a que la ausencia de oxígeno inhibe reacciones indeseables como la oxidación lipídica y el pardeamiento enzimático, por lo que el color y sabor natural de la fruta u hortaliza son preservados, además que se da una mayor conservación de los nutrientes del alimento en comparación con la fritura por inmersión convencional y una menor degradación del aceite (Fan *et al.* 2009).

Asimismo, la generación de acrilamida disminuye durante la fritura al vacío, debido a la utilización de temperaturas y tiempos de proceso menores, ya que la acrilamida se produce a temperaturas superiores a 120 °C. (Fan *et al.* 2009). Por estas razones, la fritura al vacío se considera una alternativa para producir *snacks* más saludables (Tagalpallewar *et al.* s.f.).

Por otro lado, algunas de las desventajas que presenta esta tecnología se mencionan a continuación. Los equipos de fritura al vacío son más costosos que los de fritura convencional y usualmente están diseñados para producción a gran escala, por lo que a los pequeños productores se les dificulta su adquisición (Tagalpallewar *et al.* s.f.).

Por otra parte, los alimentos fritos al vacío son sensibles al oxígeno y la humedad, por lo que el empaque es un aspecto crítico para evitar su rápido deterioro. El empaque debe proteger al producto contra la humedad, oxígeno, luz, así como también de la vibración, los golpes y el mal manejo durante su distribución y almacenamiento, de modo que es necesario emplear materiales de empaque que funcionen como buena barrera (Fan *et al.* 2009).

Además, para aumentar la vida útil de los productos fritos al vacío generalmente se incorpora un gas inerte dentro del empaque, como nitrógeno, por lo que, los empaques para los productos fritos al vacío son más costosos que los empleados para productos fritos de manera convencional (Fan *et al.* 2009).

3.3.1. Equipo de fritura al vacío

El freidor al vacío consiste en un sistema que tiene cuatro componentes principales: un contenedor, la bomba de vacío, el dispositivo de remoción de aceite y el condensador. El contenedor tiene un elemento de calefacción, un termostato, una canasta donde se coloca el producto y la tapa. Por otra parte, el dispositivo de remoción de aceite es una centrífuga que se conecta con la canasta y gira a una velocidad constante por un tiempo definido. En cuanto al condensador, este se encarga de condensar el vapor proveniente del freidor, evitando su llegada a la bomba de vacío y el daño de esta (Moreira 2014).

Según Fan *et al.* (2009), el proceso de fritura al vacío consiste en seis etapas:

1. Se calienta el aceite a la temperatura programada.
2. Se coloca el producto en la canasta y se cierra la tapa.
3. Se activa el vacío hasta alcanzar la presión requerida.
4. Al alcanzar la presión programada, la canasta se sumerge en el aceite y el producto se fríe durante un tiempo definido.

5. Posteriormente, la canasta se retira del aceite y se centrifuga a una velocidad y tiempo establecidos.
6. Al terminar la centrifugación, se da la pérdida de vacío del sistema y se abre la tapa para retirar el producto.

Según el proceso de producción es posible tener dos diferentes tipos de freidores al vacío: el freidor continuo y el discontinuo. El freidor continuo se utiliza para producciones a gran escala; en este la materia prima se alimenta mediante una esclusa rotativa y cae en un contenedor al vacío en donde se encuentra el aceite, posteriormente una banda transportadora traslada el producto terminado hacia la salida. Una cámara de vacío en la salida evita la entrada del aire al freidor al vacío (Fan *et al.* 2009). Por otro lado, el freidor por lotes o discontinuo es el más utilizado, pues se emplea para producciones a pequeña escala o para productos especiales, sin embargo, el proceso es más costoso (Fan *et al.* 2009) debido a que el tiempo de producción es mayor, se requiere de más mano de obra y el tiempo de inactividad es mayor.

3.3.2. Características de los productos fritos al vacío

La fritura al vacío es la única tecnología de fritura en la cual se pueden procesar productos con alto contenido de azúcares como lo son las frutas y las hortalizas. Asimismo, los productos fritos al vacío conservan mejor sus colores y sabores originales debido a la disminución en la oxidación, por la ausencia de oxígeno y las bajas temperaturas, en comparación con la fritura a presión atmosférica. De igual forma, estos productos se caracterizan por tener una alta crujencia, que se traduce en productos de alta calidad y frescura (Moreira 2014).

Por otra parte, frutas y hortalizas con alto contenido de nutrientes se pueden freír al vacío y obtener un producto con una baja degradación de su contenido nutricional, debido a la ausencia de oxígeno y a las bajas temperaturas utilizadas (Moreira 2014).

También, en la fritura al vacío se mantiene o se acentúa el color natural de los alimentos, mientras que en la fritura convencional los alimentos se oscurecen debido principalmente a la reacción de Maillard, en la cual se obtienen compuestos coloreados de tonos oscuros. Por lo tanto, la fritura a presión atmosférica no se puede utilizar para freír frutas y hortalizas, puesto que la textura y el color del producto se deterioran completamente, resultando en el colapso de la estructura del producto y en una apariencia a sobrecocido por el color oscuro (Moreira 2014).

Se ha encontrado que en productos fritos a presión atmosférica tales como papas a la francesa y papas tostadas se presentan elevados contenidos de acrilamida, mientras que,

al utilizar la fritura al vacío, se presenta una reducción mayor a 94% de la generación de acrilamida, debido a la utilización de menores temperaturas (Moreira 2014).

3.3.3. Factores que afectan la absorción de aceite durante la fritura al vacío

3.3.3.1. Efecto del vacío en el contenido de aceite del alimento

Según Moreira (2014), mayores niveles de vacío como 16,7; 9,9 y 3,1 kPa generaron que la corteza se formara más rápido y, por ende, una mayor tasa de absorción de aceite, debido a la pérdida de la hidrofiliidad de las papas crudas.

Este autor observó además que al inicio de la fritura (alrededor de los 150 s) la adhesión de aceite en la superficie de los *chips* fue mayor al disminuir la presión de vacío. Esto se debe a que, al disminuir el vacío, el punto de ebullición del agua disminuye, el diferencial de temperatura (ΔT) aumenta, la tasa de pérdida de agua aumenta y, por ende, se forma la corteza más rápido. Sin embargo, los distintos niveles de vacío no afectaron el contenido de aceite final de los *chips* de papa a ninguna temperatura (Moreira 2014).

Además, se realizó otra investigación con *chips* de zanahoria en donde se observó que a mayor presión de vacío, mayor tasa de evaporación del agua y de absorción del aceite. No obstante, las distintas presiones de vacío no afectaron los contenidos finales de humedad y aceite en el producto (Moreira 2014).

3.3.3.2. Efecto del periodo de presurización y de centrifugación

La etapa de presurización es muy importante en la absorción del aceite en el producto, puesto que puede aumentar o disminuir la absorción de aceite en el alimento, según la cantidad de aceite presente en la superficie y del contenido de humedad del alimento (Moreira 2014).

Durante la presurización, la presión en los poros del alimento aumenta rápidamente causando que el aceite adherido a la superficie penetre en el interior del alimento, hasta que en los poros se alcance la presión atmosférica. Por lo tanto, se ha observado que durante la etapa de enfriamiento la absorción de aceite no depende solo de la disminución de temperatura, sino también del cambio de presión de vacío a presión atmosférica. Además, en una investigación se demostró que, al aumentar la tasa de presurización y la velocidad de enfriamiento, aumentó el contenido final de lípidos en *chips* de papa (Moreira 2014).

Por otra parte, se ha encontrado que el 14% del contenido de lípidos total se encuentra en el centro del alimento, mientras que el 86% del aceite restante en la superficie. Al utilizar

un sistema de centrifugación antes de la presurización, se logró remover alrededor de 80-90% del contenido de lípidos total en el alimento (Moreira 2014).

En una investigación realizada con *chips* de zanahoria fritos al vacío (6,5 kPa, 118 °C) se logró remover el 50% del aceite contenido en la superficie, empleando un sistema de centrifugación por tres minutos antes de la presurización; esto permitió que el aceite se escurriera fácilmente debido a su baja viscosidad por la alta temperatura a la que se encuentra el producto (Moreira 2014). En la misma investigación, *chips* de papa fritos al vacío sin centrifugación presentaron un contenido de lípidos de 40%, mientras que al aplicar la centrifugación al vacío se logró obtener un producto con 8% de lípidos, es decir 87% menos de aceite (Moreira 2014).

Se debe tomar en cuenta que la etapa de centrifugación no depende solo de la velocidad sino también del tiempo y de la posición (vertical u horizontal) en la que se encuentren los *chips* con respecto a la dirección de la fuerza centrífuga. Por ejemplo, al centrifugar *chips* en la posición horizontal, se obtuvo un contenido de aceite de 18-28%, mientras que aquellos en posición vertical, un contenido de aceite de 7% (Moreira 2014).

3.4. Papaya

3.4.1. Origen y características

La papaya (*Carica papaya* L.) es una especie originaria de América Central que pertenece a las Caricáceas, una familia compuesta por seis géneros. Pertenece al género *Carica*, de la cual es la única representante (Bogantes *et al.* 2011). Son frutos de cáscara lisa, cuyo tamaño depende de la variedad y el tipo de planta, tiene forma ovoide oblonga, es grande, carnosa, jugosa y ranurada longitudinalmente. De color verde amarillento y anaranjado o rojizo por dentro, con numerosas semillas parietales (Barea 2015).

Esta fruta posee un alto contenido de α y β -caroteno (con actividad pro vitamina A), vitamina C y vitaminas del complejo B (B1 y B2) en menor proporción. También tiene un alto contenido de calcio y potasio y en menor cantidad de hierro, fósforo y magnesio; tiene bajo contenido de sodio, lo cual es beneficioso para quienes padecen de hipertensión y de afecciones cardiovasculares (Vargas 2013).

Aporta fibra, con efecto laxante, y posee un bajo contenido calórico, por la pequeña cantidad de carbohidratos que contiene. Además, contiene papaína, enzima que produce la ruptura en las proteínas de los alimentos, muy útil para problemas gastrointestinales, tales como gastroenteritis, colitis, hiato, acidez, entre otros (Barea 2015). El contenido nutricional puede ser diferente según la variedad, condiciones de cultivo y estado de

madurez. También, la papaya tiene aroma y sabor agradables, por lo que es un fruto muy gustado a nivel mundial (Vargas 2013).

3.4.2. Regiones productoras de papaya en el mundo y en Costa Rica

La papaya se cultiva en regiones de menos de 600 msnm, que presentan una buena distribución de precipitaciones durante todo el año y preferiblemente a temperaturas entre 23 y 27 °C. Por sus requerimientos en las condiciones climáticas, las zonas tropicales y subtropicales son las más aptas para su producción, no obstante, en las zonas tropicales se obtienen mejores rendimientos y calidad de la fruta (Salazar 2012).

Por esta razón, los principales países productores de papaya en el mundo son India, Brasil y México, siendo este último el principal exportador en el mundo (FAO 2017). Por otra parte, en Costa Rica para el año 2017 se produjeron 54000 toneladas de papaya de las cuales 3212 toneladas se exportaron (FAO 2017) y el 76% de las exportaciones de papaya se destinaron a Canadá (Ulloa 2018).

En Costa Rica las regiones con las condiciones climáticas más adecuadas para el cultivo de papaya son el Pacífico Central y la Región Chorotega. Sin embargo, actualmente las principales regiones productoras de papaya se encuentran en el Caribe, en los cantones de Pococí y Guácimo principalmente, y en la zona Norte en San Carlos. También, la papaya se cultiva en Orotina y Parrita (Vargas 2013).

A nivel nacional el consumo *per cápita* por año de papaya es de 17,76 kg, por debajo de frutas de gran consumo como banano, naranja, piña y sandía (PIMA 2016).

3.4.3. Variedades de papaya

En Costa Rica se cultivan principalmente las variedades criollas, conocidas como “Lucía” y “Parriteña”. La variedad “Lucía” es relativamente heterogénea, con un peso entre 1,5 kg y 2,5 kg y una productividad parcialmente baja. La variedad “Parriteña” también se caracteriza por ser muy heterogénea, pero produce una fruta con mayor tamaño, de 2 a 3 kg, con pulpa gruesa y un mejor sabor (Bogantes *et al.* 2011).

También, se cultivan variedades genéticamente estables, como las del grupo “Solo” (“Sunset” y “Sunrise”) que se han cultivado en algunas ocasiones, principalmente para exportación. Estas variedades se caracterizan por tener una fruta pequeña (300-600 g) y con muy buen sabor. Igualmente, se ha introducido la variedad “Maradol”, originaria de Cuba y muy difundida en México, esta variedad produce una fruta de gran tamaño, de 2 a 3 kg y con pulpa dulce, sin embargo, su cultivo en nuestro país ha presentado problemas

en cuanto a productividad y una alta susceptibilidad a la antracnosis, enfermedad de poscosecha más importante en la papaya (Bogantes *et al.* 2011).

3.4.3.1. *Variedad híbrido Pococí*

En 1999 se desarrolló el híbrido Pococí, resultado del cruce entre la papaya criolla y la hawaiana, el cual fue liberado en el 2006, tras años de investigación en mejoramiento genético en el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de Costa Rica (UCR). Dicho híbrido se adapta mejor a las condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras y tiene características comerciales deseables (Bogantes *et al.* 2011).

Este híbrido se caracteriza por ser homogéneo y de alto rendimiento (Bogantes *et al.* 2011), además presenta un peso promedio por fruto de 1,5 kg, tiene un color rojo más intenso en el interior, un aroma fuerte y un sabor más dulce, debido a que presenta 13 °Brix, mientras que las variedades criollas presentan entre 8 y 10 °Brix (Loría 2012).

Asimismo, su tallo es más alto y grueso y es una planta más frondosa y productiva que las variedades criollas, por lo que presenta rendimientos muy superiores, en promedio 113 790 kg/ha durante los primeros cinco meses, mientras que las variedades criollas tienen un rendimiento variable, entre 50 000 y 60 000 kg/ha (Salazar 2012).

3.5. **Hidrocoloides**

3.5.1. *Definición y características principales*

Los hidrocoloides son un grupo de diversos polímeros de cadena larga caracterizados por su capacidad de formar dispersiones viscosas o geles al entrar en contacto con el agua. Por la presencia de gran cantidad de grupos hidroxilo en su estructura, son afines a las moléculas de agua, por lo que se consideran compuestos hidrofílicos. Además, sus dispersiones en agua resultan intermedias entre las suspensiones y las disoluciones, y exhiben las propiedades de un coloide. Por estas características, se les denomina “coloides hidrofílicos” o “hidrocoloides” (Milani y Maleki 2012). Estas sustancias son obtenidas de distintas fuentes entre ellas vegetales, animales, fuentes microbiológicas o sintéticas (Skurtys *et al.* 2011).

3.5.2. *Tipos de hidrocoloides*

Entre los diferentes tipos de hidrocoloides, es posible encontrar derivados de celulosa, gomas y proteínas, los cuales son ampliamente utilizados en la industria alimentaria. A continuación se describen características de cada uno.

3.5.2.1. *Derivados de celulosa*

Los derivados de celulosa son polisacáridos compuestos por cadenas lineales de unidades de β -D-glucopiranosas, unidas por enlaces $\beta(1-4)$ y sustituidas con grupos metilo, hidroxipropilo o carboxilo. Solamente cinco derivados de celulosa suelen ser utilizados como coberturas en alimentos, debido a sus características; estos son hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), hidroxipropilcelulosa (HPC), carboximetilcelulosa (CMC), metilcelulosa (MC) y celulosa microcristalina (Kurek *et al.* 2017). Estas coberturas presentan una fuerza moderada, son resistentes al aceite y las grasas, flexibles, transparentes, no proveen sabor y funcionan moderadamente como barrera al oxígeno (Skurtys *et al.* 2011).

3.5.2.2. *Pectinas*

Las pectinas son una familia heterogénea de polisacáridos ramificados compuestos por residuos de ácido α -D-galactopiranoúrico, unidos por enlaces $\alpha(1-4)$, donde los grupos carboxilo del ácido urónico pueden estar libres (pectina de bajo metoxilo) o parcialmente esterificados por un grupo metilo (pectina de alto metoxilo). La pectina ha sido muy utilizada como cobertura en frutas y hortalizas, no obstante, su uso como coberturas para disminuir la absorción de aceite durante la fritura se ha reportado poco en investigaciones (Kurek *et al.* 2017).

3.5.2.3. *Almidón*

El almidón es un polímero natural de fácil adquisición y de bajo costo, en el cual la amilosa tiene mayor capacidad para formar coberturas en alimentos, por su estructura lineal, en comparación con la amilopectina. Por lo tanto, se puede utilizar cualquier almidón que contenga amilosa (Kurek *et al.* 2017).

3.5.2.4. *Gomas*

Las gomas están compuestas por polisacáridos y se clasifican en tres grupos: las gomas provenientes de exudados como la goma arábica y la goma de mezquite, las gomas extraídas del endospermo de leguminosas o de la madera como la goma guar y las gomas obtenidas por fermentación microbiana como la goma xantán (Skurtys *et al.* 2011).

La goma guar es un galactomanano obtenido de las semillas de *Cyamopsis tetragonoloba* planta que crece en India y Pakistán. Su estructura es una cadena lineal con uniones $\beta(1-4)$ de residuos de manosa unidos a residuos de galactosa por enlaces $\alpha(1-6)$ (Kurek *et al.* 2017). La goma guar se hidrata con rapidez en agua fría y forma soluciones altamente viscosas y tixotrópicas (Díaz 2010).

Por otra parte, la goma xantán es un polisacárido extracelular producido durante la fermentación aerobia de *Xanthomonas campestris* (Kurek *et al.* 2017). Está constituida por una cadena de muchas unidades de celobiosa, unidas a grupos de derivados de azúcares como ácido glucurónico o manurónico, formando ramificaciones. Esta goma es muy soluble en agua caliente, e incluso fría, formando soluciones altamente viscosas a bajas concentraciones (Díaz 2010).

Otros ejemplos de gomas son: la arábica, algarrobo, tragacanto, karaya, gellan, konjac, tara, entre otras (Imeson 1999).

3.5.2.5. *Proteínas*

Los hidrocoloides a base de proteínas presentan ventajas como la estabilidad física y la estructura molecular, que ofrecen muchos puntos para la interacción química, lo cual puede permitir mejorar sus propiedades al utilizarlos como coberturas. Estos hidrocoloides provienen de diferentes fuentes de proteína como maíz, leche, soya, trigo y suero. Por lo tanto, es importante considerar no solo su funcionalidad, sino también la fuente de proteína de la cual proviene, debido a que gran cantidad de la población es alérgica a ciertas proteínas, principalmente aquellas provenientes de la soya y el trigo (Kurek *et al.* 2017).

3.5.3. *Usos de los hidrocoloides en la industria alimentaria*

3.5.3.1. *Espesantes*

Los hidrocoloides se emplean como espesantes debido a que tienen la capacidad de modificar la reología de los alimentos, esta modificación de la textura o viscosidad de los alimentos ayuda a cambiar sus características sensoriales, por lo que los hidrocoloides se utilizan como aditivos para propósitos específicos. El efecto espesante de los hidrocoloides depende del tipo de hidrocoloide, la concentración de hidrocoloide, el alimento, pH y la temperatura del medio en el que se aplica (Milani y Maleki 2012).

3.5.3.2. *Geles*

Al combinarse con altos contenidos de agua (mayor a 95%), los hidrocoloides forman un gel cuyas partículas tienen la capacidad de fluir y producir una textura suave y sólida en el alimento en donde se aplique. Las características del gel y su aplicación dependen del tipo de hidrocoloide, del mecanismo de formación de la red y del método de procesamiento (Milani y Maleki 2012).

3.5.3.3. *Emulsificantes y estabilizantes*

Es posible utilizar los hidrocoloides como emulsificantes o estabilizantes, cuya funcionalidad se correlaciona con fenómenos como el retraso de la precipitación de las partículas sólidas dispersas, disminución de la tasa de cremado de las partículas de aceite y espuma, prevención de la agregación de partículas dispersas, prevención de la sinéresis de geles que contienen aceite y retraso de la coalescencia de los glóbulos de aceite (Milani y Maleki 2012).

3.5.3.4. *Sustitutos de grasa*

Debido a los cambios en el estilo de vida de las personas en la actualidad, la creciente concientización del vínculo entre la dieta y la salud, y las nuevas tecnologías de procesamiento que han aumentado rápidamente el consumo de los alimentos listos para consumir, alimentos innovadores y el desarrollo de productos ricos en fibra y bajos en grasa, se han utilizado los hidrocoloides como sustitutos de grasa, al simular muchas de las características de textura que esta aporta a los alimentos, pues en la mayoría de los casos se sustituye parcialmente el aceite o la grasa por hidrocoloides, en alimentos como aderezos o helados, donde los hidrocoloides forman geles que mejoran la viscosidad de estos productos, logrando una textura similar al producto original (Milani y Maleki 2012).

3.5.3.5. *Coberturas comestibles*

Además, los hidrocoloides se han utilizado como coberturas o capas delgadas comestibles, las cuales permiten recubrir un alimento y actuar como una barrera entre el alimento y el medio circundante. Estas coberturas se pueden colocar sobre la superficie del alimento, así como entre los componentes de este, y funcionan como inhibidores de humedad, gases, aromas y migración de lípidos (Milani y Maleki 2012).

3.5.3.5.1. *Métodos de aplicación de las coberturas*

Para cubrir frutas y vegetales con hidrocoloides se utilizan principalmente dos métodos de aplicación: inmersión y aspersion. El método de inmersión consiste en sumergir la fruta fresca troceada en las dispersiones de hidrocoloides durante un corto tiempo. La adhesión de la cobertura al alimento depende de las propiedades de la dispersión como densidad, viscosidad y tensión superficial, así como la velocidad de extracción del alimento de la dispersión (Skurtys *et al.* 2011).

Por otra parte, el método por aspersion es muy utilizado cuando la dispersión aplicada es poco viscosa, de lo contrario se debe aplicar con el método de inmersión. Actualmente, existen sistemas de aspersion programables para la aplicación de coberturas. El sistema de aspersion clásico produce un rocío fino con una distribución del tamaño de partícula

relativamente reducida de hasta 20 μm , mientras que el sistema de electroaspersión ha sido capaz de producir partículas uniformes de menos de 100 nm. También, en este método de aplicación afectan otros factores como el tiempo de secado, la temperatura de secado y el método de secado empleado después de la aplicación de la cobertura en el alimento (Skurtys *et al.* 2011).

3.5.3.5.2. Mecanismo de acción de las coberturas para disminuir la absorción de aceite durante la fritura

Al aplicar coberturas en los alimentos se produce una barrera protectora contra la pérdida de agua del producto y, además, cambia la estructura de la superficie a una más quebradiza y fuerte, con menor cantidad de poros, por lo cual evita que el agua escape en forma de vapor de la superficie porosa. De este modo, se mantiene la cantidad adecuada de humedad dentro del alimento y se reduce la permeabilidad de la superficie, lo cual en el caso de la fritura evita que el agua del alimento sea reemplazada por el aceite (Kurek *et al.* 2017).

Las coberturas modifican la hidrofobicidad de la superficie, disminuyendo la absorción de aceite durante la fritura. Al mismo tiempo, se ha demostrado que las coberturas contribuyen a la reducción de los coeficientes de transferencia de calor, lo cual genera una reducción en la formación y salida de vapor de agua del alimento y, por ende, de la absorción de aceite en la muestra (Kurek *et al.* 2017).

3.5.3.5.3. Investigaciones realizadas sobre el efecto de los hidrocoloides en la disminución de la absorción de aceite durante la fritura

Se han realizado investigaciones que demuestran la efectividad de los hidrocoloides como coberturas, en la reducción de la absorción de aceite durante la fritura. Los resultados obtenidos en algunas de estas investigaciones se muestran a continuación en el **Cuadro I**.

Cuadro I. Efecto del uso de hidrocoloides en la reducción de la absorción de aceite en productos fritos, empleando diferentes condiciones de aplicación de las coberturas.

Materia prima	Hidrocoloides	Concentración (%)	Método de aplicación	Resultados obtenidos
Papas fritas¹	HPMC, MC, goma guar y goma xantán	1,0	Inmersión por 2 minutos	Papas cubiertas con HPMC, goma guar y goma xantán al 1,0% y un pelado con CaCl ₂ al 0,5% presentaron una reducción en la absorción de aceite de 47%, 19% y 6%, respectivamente.
Jackfruit²	Pectina, CMC, goma arábica y alginato de sodio	0,5, 1,0, 1,5 y 2,0	Inmersión por dos horas	Los <i>chips</i> cubiertos con goma arábica presentaron el menor contenido de aceite (de 23%).
Garbanzos y poroto chino³	CMC y HPMC	0,5, 1,0 y 2,0	Inmersión por 1, 3 y 5 minutos	Se presentó una mayor reducción en la absorción de aceite en <i>chips</i> cubiertos con CMC al 0,5%, con un contenido de aceite de 16% (garbanzos) y 20% (poroto chino), y con HPMC al 1,0% con un contenido de aceite de 20% (garbanzos) y 19% (poroto chino).
Taro⁴	Pectina, goma guar y MC	0,5, 1,0 y 1,5	Inmersión por 2 minutos	<i>Chips</i> cubiertos con MC al 1,5% presentaron una mayor reducción de aceite de 52%.
Plátano verde⁵	Goma guar, CMC y goma xantán	0,4 y 1,2	Inmersión por 15 a 30 segundos	La aplicación de coberturas con goma guar, CMC y goma xantán al 1,2% redujo el contenido de aceite de los plátanos fritos en 43%, 31% y 23%, respectivamente.

*CMC, MC y HPMC: carboximetilcelulosa, metilcelulosa e hidroxipropilmetilcelulosa.

¹Pahade y Sakhale 2012; ²Mawi *et al.* 2015; ³Phule y Annapure 2013; ⁴John y Singh 2014; ⁵ Martínez *et al.* 2015.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del proyecto

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio. La fritura al vacío de la papaya se realizó en la planta piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), los análisis fisicoquímicos en el Laboratorio de Química del CITA y de la Escuela de Tecnología de Alimentos.

4.2. Materias primas

La papaya utilizada en esta investigación fue adquirida de la empresa OROFRUITS, cuya plantación de papaya está ubicada en Orotina, Alajuela. Se utilizó la papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí en estado de madurez 4, es decir, entre 41-55% de color amarillo en su cáscara, lo que equivale a un grado de madurez intermedio (Salazar 2012), ya que según Brenes (2017) este fue el estado de madurez que presentó mejores resultados en la calidad de los *chips* desarrollados.

Los hidrocoloides empleados (goma guar, goma xantán, CMC, pectina de alto metoxilo y pectina de bajo metoxilo) se compraron a los proveedores Insumos Químicos y Servicios de Costa Rica (IQS) y Químicas Macías, S.A.

4.3. Proceso de elaboración de los *chips* de papaya

El flujo de proceso para la obtención de los *chips* de papaya con cobertura se muestra en la **Figura 1**. Inicialmente las papayas se lavaron manualmente y se desinfectaron por aspersión con ácido peracético con una concentración de 150 ppm, para pelarlas y trocearlas de forma manual, seguidamente se rebanaron en la rebanadora Hobart con un grosor de 4 mm el cual fue establecido por Brenes (2017) en la optimización del proceso de fritura, se pesó 1 kg de producto rebanado el cual fue sumergido en la dispersión de hidrocoloide (2 L) durante un tiempo definido y, posteriormente, se introdujeron en un escurridor automático a una velocidad y tiempo específicos para remover el exceso de hidrocoloide adherido en la superficie de las rebanadas de papaya fresca. Por último, las

rebanadas de papaya se frieron y centrifugaron al vacío, según las condiciones definidas por Brenes (2017), para así obtener los *chips* de papaya.

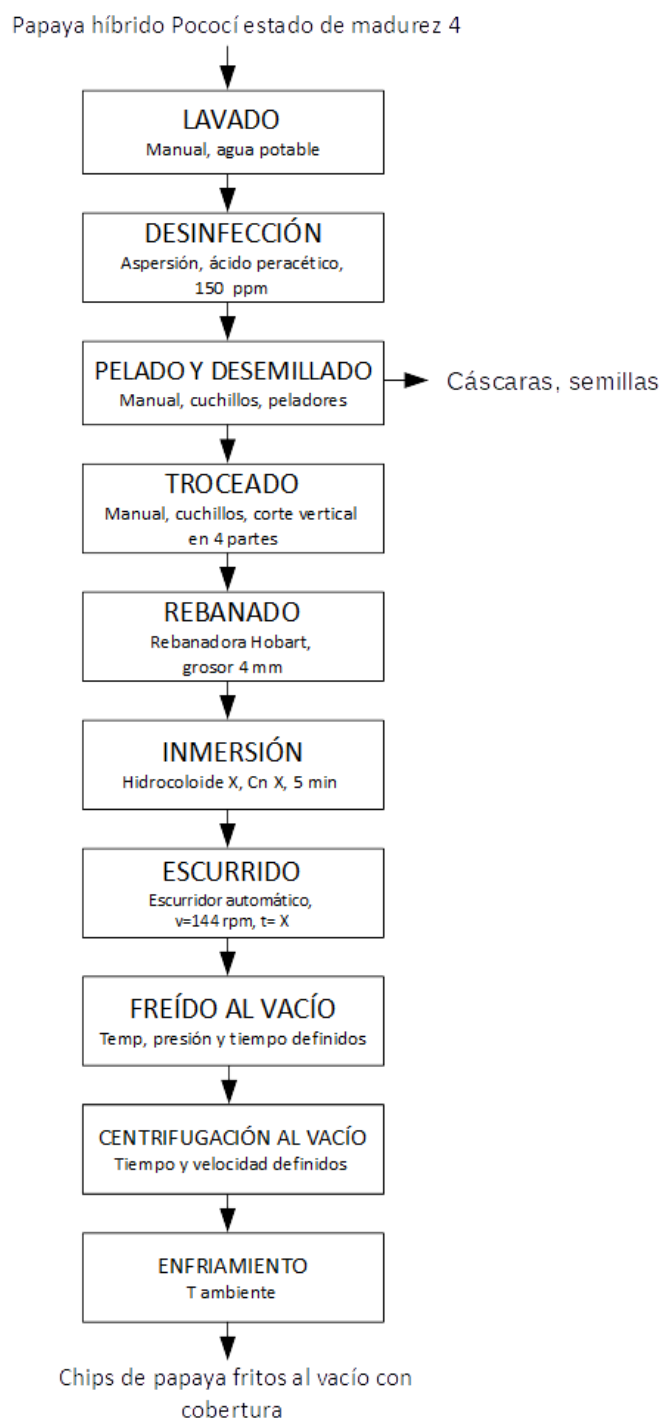


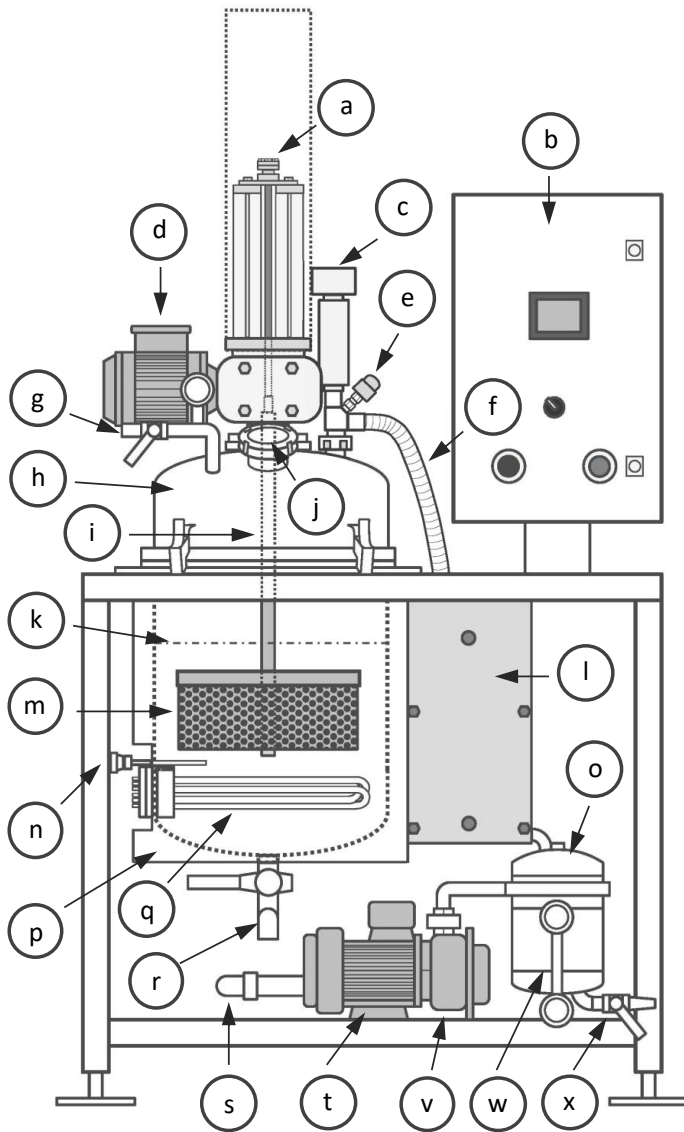
Figura 1. Flujo de procesamiento de los *chips* de papaya fritos al vacío con coberturas a base de hidrocoloides.

4.4. Equipo utilizado

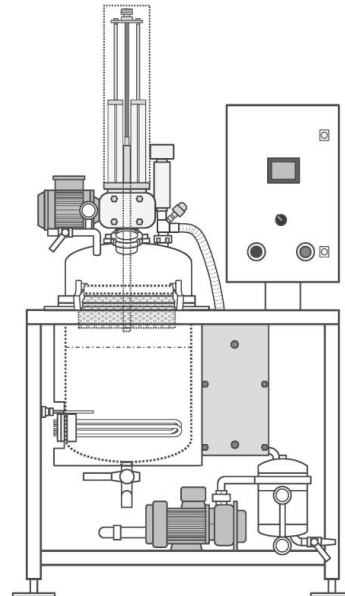
Se utilizó un equipo piloto de fritura al vacío, discontinuo, con una capacidad de 2 kg de producto fresco por lote y 57 L de aceite, con un sistema de centrifugación integrado. Fue diseñado en el CIRAD-PERSYST (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), fabricado por la empresa Auriol (Francia) y adquirido gracias al apoyo de la Vicerrectoría de Investigación de la UCR. Este se encuentra ubicado en la Planta Piloto del CITA. En la **Figura 2** se muestra el esquema del equipo de fritura al vacío.

Además, se utilizó un escurridor automático marca Vanguardia Mecânica (Campinas, Brasil) N° de serie 144. Este equipo cuenta con un regulador de frecuencia que permite operar a diferentes velocidades de giro (0-60 Hz). Posee un tazón de acero inoxidable con un diámetro de 35,00 cm y una altura de 20,50 cm. El escurridor se encuentra localizado en la planta piloto del CITA.

1. Equipo con la canasta en posición "Abajo"



2. Equipo con la canasta en posición "Arriba"



- a. Pistón de la canasta.
- b. Panel de control.
- c. Filtro con extractor.
- d. Motor del eje giratorio.
- e. Válvula de control de paso.
- f. Salida de aire y vapor para formar vacío.
- g. Llave de liberación de vacío.
- h. Tapa del tanque de fritura con presas.
- i. Eje giratorio de la canasta.
- j. Visor del tanque de fritura.
- k. Nivel máximo de aceite.
- l. Intercambiador de placas.
- m. Canasta para colocar producto.
- n. Termocupla (sensor de temperatura).
- o. Tanque de condensados.
- p. Tanque de fritura.
- q. Resistencias eléctricas.
- r. Llave de salida de aceite.
- s. Entrada de agua.
- t. Motor de bomba de anillo líquido.
- v. Bomba de anillo líquido.
- w. Visor de líquido del tanque de condensados.
- x. Llave de salida de condensados.

Figura 2. Diagrama esquemático del equipo de fritura al vacío. 1) Vista del equipo con la canasta en posición "Abajo"; 2) Vista del equipo con la canasta en posición "Arriba" (Elaborado por Marvin Soto)

4.5. Pruebas preliminares

4.5.1. Selección del accesorio para la medición de textura de los chips de papaya

Esta prueba se hizo con el fin de seleccionar el accesorio a utilizar en el análisis de textura que se realizó a los *chips* de papaya en las pruebas experimentales del segundo objetivo.

Para ello, se utilizó un mismo lote de papaya en estado de madurez 4, los *chips* se prepararon bajo las mismas condiciones de fritura y se empacaron en bolsas metalizadas correctamente selladas, con el fin de evitar su humedecimiento. Para el análisis, se utilizó el analizador de textura TA.XT Plus, en donde se probaron tres accesorios diferentes: esfera de 0,64 cm, cilindro de 3 mm y cilindro de 6 mm, pues estos son los accesorios comúnmente utilizados para medir la fracturabilidad de los alimentos tipo *chips*.

Se midió la dureza de los *chips* de papaya mediante el registro de la fuerza del primer pico significativo, presentado en la gráfica; empleando una base hueca y una velocidad de descenso de 1 mm/s. Para cada accesorio se realizaron diez réplicas.

Para la selección del accesorio a utilizar en el análisis de textura, se calculó el coeficiente de variación, a partir de la siguiente ecuación:

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (1)$$

Donde s es la desviación estándar y \bar{X} el promedio de los valores obtenidos.

Esto permitió comparar la dispersión de los resultados obtenidos, y así elegir el accesorio cuyos valores obtuvieran el menor coeficiente de variación.

4.6. Pruebas experimentales

4.6.1. Selección de dos hidrocoloides que presenten atributos físicos y de proceso que permitan su aplicación como coberturas en chips de papaya.

La selección de los hidrocoloides se realizó en dos etapas, según se describe a continuación.

4.6.1.1. Preselección teórica de los hidrocoloides

Consistió en la revisión bibliográfica exhaustiva de investigaciones realizadas donde fueron utilizados los hidrocoloides como coberturas en diferentes alimentos fritos, con el fin de reducir la adsorción de aceite durante la fritura.

A partir de esta revisión bibliográfica, se preseleccionaron cinco hidrocoloides, según la frecuencia de uso y la eficacia obtenida al emplearlos. La frecuencia de uso se refiere a la cantidad de veces que el hidrocoloide fue utilizado en estas investigaciones, por lo que se prefirieron aquellos que se emplearon con mayor frecuencia. Asimismo, con respecto a la eficacia, se prefirieron los hidrocoloides que lograron una mayor reducción de la absorción de aceite en los diferentes alimentos fritos presentes en estas investigaciones. Una vez realizada la preselección, con estos cinco hidrocoloides se realizó una evaluación práctica, la cual se detalla a continuación.

4.6.1.2. Selección práctica de los hidrocoloides

Esta valoración se basó en los atributos físicos y de proceso de los hidrocoloides. Para ello, se prepararon dispersiones con las concentraciones mínimas y máximas recomendadas en las fichas técnicas de cada hidrocoloide, para obtener un volumen total de 2 L de dispersión en agua destilada. Se utilizó una relación 2:1 (dispersión: papaya) por lo que se sumergió 1 kg de rebanadas de papaya en 2 L de dispersión, ya que se determinó que con este volumen de dispersión se lograba cubrir la totalidad de las rebanadas de papaya durante la inmersión. En las dispersiones preparadas se evaluaron los siguientes atributos:

- **Viscosidad:** Una vez preparada la disolución, se midió su viscosidad. Se deseaba un hidrocoloide que lograra alcanzar una viscosidad relativamente alta con una baja concentración. Los detalles de la medición se describen en la sección 4.7.7, la cual se realizó por triplicado para cada dispersión.
- **Porcentaje de adhesión de la cobertura:** Para determinar la cantidad de cobertura adherida, se pesó 1 kg de papaya antes y después de sumergirlos en los 2 L de dispersión durante 5 minutos (Mahajan *et al.* 2014). Después de la inmersión, el exceso de dispersión se removió de las rebanadas de papaya con el escurridor automático a una velocidad de 144 rpm y un tiempo de escurrido de 2 minutos. El cálculo del porcentaje de adhesión se detalla en la sección 4.8.1 y se realizó por triplicado para cada dispersión. Se deseaba una buena adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya fresca.

Para la valoración del porcentaje de adhesión de la cobertura, se estableció una escala del 1 al 5, la cual se presenta a continuación en el **Cuadro II**.

Cuadro II. Escala de valoración de la adhesión de la cobertura.

Adhesión de la cobertura (%)		Puntuación (deseabilidad)
Nula adhesión	0,00 - 0,50	1
Poca adhesión	0,50 - 2,00	2
Adhesión intermedia	2,00 - 4,00	3
Mucha adhesión	4,00 - 6,00	4
Bastante adhesión	6,00 o más	5

En este caso se deseaba un hidrocoloide que presentara mucha o bastante adhesión (puntuación de 5 o cercano a 5). La adhesión de la cobertura se valoró de menor a mayor, donde una menor calificación equivale a una menor adhesión y, por ende, una menor deseabilidad (1) y una mayor calificación equivale a una mayor adhesión y, por lo tanto, una mayor deseabilidad (5).

- Nivel de complejidad de la preparación de la dispersión:** El nivel de complejidad se determinó con respecto a los siguientes criterios: (a) tiempo de preparación de la dispersión, (b) temperatura de dispersión y (c) necesidad de agitación para dispersar completamente el hidrocoloide. El tiempo necesario para la preparación de la dispersión se midió con un cronómetro, desde el momento en que se agregó el hidrocoloide hasta que quedó completamente disperso en el agua (sin presencia de partículas visibles). Las dispersiones se prepararon a temperatura ambiente, a excepción de aquellos casos que se consideró necesario calentar el agua, en dichos casos se midió con termómetro la temperatura necesaria para dispersar completamente el hidrocoloide. Para los hidrocoloides con los cuales se requirió agitación para lograr la dispersión, se utilizó la licuadora hasta alcanzar una completa dispersión.

Para la valoración del nivel de complejidad de cada uno de los criterios, se estableció una escala del 1 al 5, la cual se presenta a continuación en el **Cuadro III**.

Cuadro III. Escala de valoración del nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones de los hidrocoloides.

Nivel de complejidad			Puntuación (deseabilidad)
Nivel de complejidad	Temperatura (°C)	Tiempo de preparación (s) y agitación	
Bastante complejo	70 o más	200 o más	1
Muy complejo	50-70	100-200	2
Complejo	30-50	60-100	3
Poco complejo	25-30	10-60	4
Nada complejo	20-25	0-10	5

En este caso se deseaba un hidrocoloide cuya preparación presentara una baja complejidad (puntuación de 5 o cercano a 5). El nivel de complejidad de las condiciones de aplicación se valoró de menor a mayor, donde una menor calificación equivale a un mayor nivel de complejidad y, por ende, una menor deseabilidad (1) y una mayor calificación equivale a un menor nivel de complejidad y, por lo tanto, una mayor deseabilidad (5). Esta

calificación se obtuvo a partir de la elaboración de una matriz donde se calificó cada uno de los hidrocoloides según el nivel de complejidad de los criterios de evaluación (tiempo, temperatura y agitación) y se promediaron los resultados obtenidos por hidrocoloide.

Se realizaron tres réplicas para cada dispersión preparada.

- **Costo de aplicación:** Se contactaron los proveedores de los hidrocoloides para obtener su precio, y a partir de este se calculó el costo de aplicación de cada hidrocoloide por kilogramo de producto, como se muestra en la sección 4.8.2. Se realizó un cálculo del costo de aplicación para cada hidrocoloide.

Para la valoración del costo de aplicación, se estableció una escala del 1 al 5, la cual se presenta a continuación en el **Cuadro IV**.

Cuadro IV. Escala de valoración del costo de aplicación de los hidrocoloides al emplearlos como coberturas.

Costo de aplicación (€/kg producto)		Puntuación (deseabilidad)
Bastante costoso	200 o más	1
Muy costoso	90-200	2
Costoso	40-90	3
Poco costoso	10-40	4
Nada costoso	0-10	5

En este caso se deseaba un hidrocoloide que presentara un bajo costo de aplicación (puntuación de 5 o cercano a 5). El costo de aplicación se valoró de menor a mayor, donde una menor calificación equivale a un mayor costo de aplicación, y por ende una menor deseabilidad (1), mientras que una mayor calificación equivale a un menor costo de aplicación, y por lo tanto una mayor deseabilidad (5).

4.6.1.3. Variables respuesta

Con el fin de lograr la selección de dos hidrocoloides que presentaran los atributos físicos y de proceso adecuados para su aplicación como coberturas en los *chips* de papaya fritos al vacío, se analizaron las variables explicadas anteriormente: viscosidad, adhesión de la

cobertura, nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones y costo de aplicación.

4.6.1.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial 5x2 con el fin de evaluar dos factores que corresponden al tipo de hidrocoloide (con cinco niveles) y a la concentración de hidrocoloide (con dos niveles), como se muestra en el **Cuadro V**.

Cuadro V. Diseño experimental aplicado para la selección de dos hidrocoloides empleados como coberturas para reducir la absorción de aceite en *chips* de papaya fritos al vacío.

FACTOR 1	FACTOR 2
Hidrocoloide	Concentración
1	Mínima
	Máxima
2	Mínima
	Máxima
3	Mínima
	Máxima
4	Mínima
	Máxima
5	Mínima
	Máxima

Para la preparación de las dispersiones, se realizaron tres repeticiones para la concentración mínima y tres repeticiones para la concentración máxima de cada hidrocoloide, lo que representó un total de 30 de ensayos.

Estas pruebas se realizaron en un periodo de cinco semanas, para las cuales se hizo un nuevo pedido de papayas cada semana con la cantidad y características requeridas.

Para seleccionar los dos hidrocoloides se empleó la siguiente ecuación de deseabilidad:

$$Deseabilidad = 0,5(\text{puntuación de adhesión de la cobertura}) + 0,3(\text{puntuación del nivel de complejidad}) + 0,2(\text{puntuación de costo de aplicación}) \quad (2)$$

Los parámetros asociados a cada factor de la ecuación fueron definidos a criterio de los investigadores del proyecto.

Se le brindó una importancia del 50% a la eficacia de las coberturas, relacionada con la adhesión de la cobertura y un 50% a la eficiencia del proceso de aplicación de las coberturas, relacionada con el nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones y con el costo de aplicación.

Asimismo, para la eficiencia se le dio una mayor importancia al nivel de complejidad (30%) debido a que incluye tres criterios (tiempo, temperatura y agitación) que afectan directamente el consumo energético y el tiempo de proceso. Mientras que para el costo de aplicación un menor porcentaje (20%) pues generalmente las concentraciones de los hidrocoloides utilizadas en su aplicación como coberturas son bajas y su costo es accesible, por lo que afecta en menor grado la eficiencia del proceso.

A partir de esta ecuación se seleccionaron los dos hidrocoloides con los mayores valores obtenidos (cercaos a 5).

4.6.2. Identificación de las condiciones de aplicación de los hidrocoloides que mejor limiten la absorción del aceite en los chips de papaya durante la fritura al vacío.

Con el fin de determinar las mejores condiciones de aplicación de las coberturas, se utilizó la metodología de superficie de respuesta con el diseño central compuesto rotatable (DCCR) para cada hidrocoloide. Para ello, se escogieron dos factores que tienen gran relevancia en la aplicación de las coberturas: la concentración de hidrocoloide en la dispersión y el tiempo de escurrido. Sin embargo, antes de aplicar la metodología de superficie de respuesta, se definieron los límites en los cuales se evaluó cada factor.

4.6.2.1. Definición de los límites de las concentraciones de los hidrocoloides

Una vez seleccionados los dos hidrocoloides, se realizó un ajuste de las concentraciones mínimas y máximas reportadas en la ficha técnica de cada uno, esto con el fin de que la viscosidad entre la concentración mínima y entre la concentración máxima de ambos

hidrocoloides fueran equivalentes, y por lo tanto que los hidrocoloides fueran comparables al aplicarlos como coberturas en las rebanadas de papaya. A continuación, en la **Figura 3** se ilustra el procedimiento seguido.

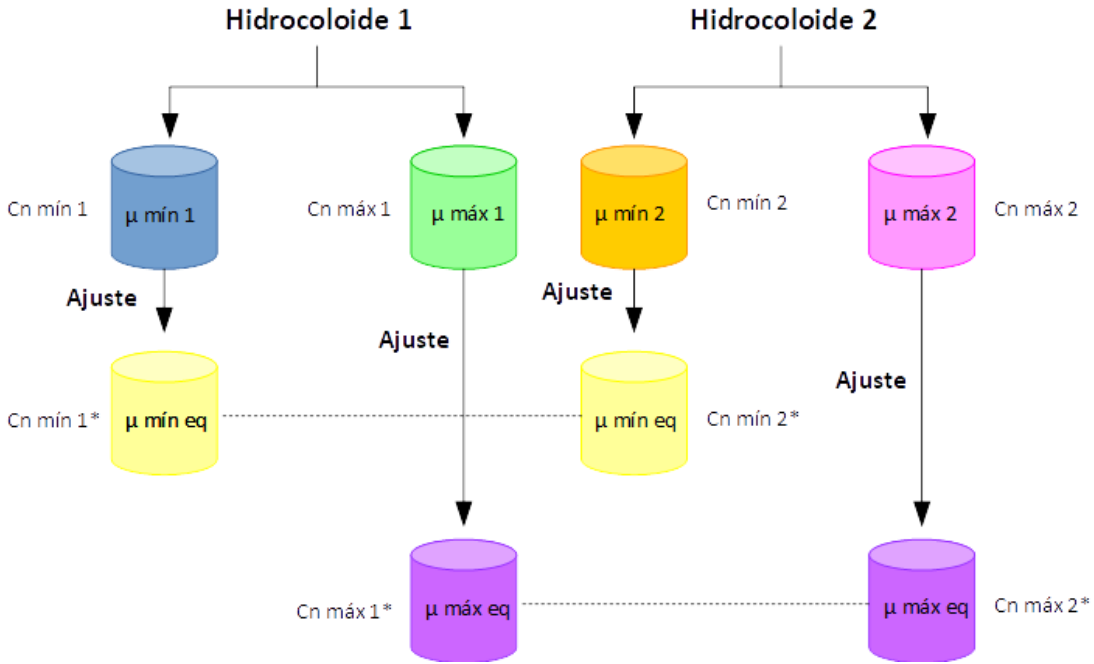


Figura 3. Esquema del procedimiento seguido para la definición de los límites de las concentraciones de los hidrocoloides seleccionados.

Como se observa en la **Figura 3**, a la concentración mínima y máxima de los hidrocoloides 1 y 2, se les realizó un ajuste hasta alcanzar una viscosidad equivalente entre ellas. La viscosidad es el parámetro que determina la manera en que la cobertura se forma sobre la superficie del producto, por lo que es necesario ajustar las concentraciones de las dispersiones, de manera que los resultados obtenidos en el estudio sean comparables entre los dos hidrocoloides.

4.6.2.2. Definición de los límites del tiempo de escurrido

El escurrido es la etapa posterior a la inmersión de las rebanadas de papaya en las dispersiones de los hidrocoloides, cuyo objetivo es remover el exceso de dispersión de hidrocoloide de la superficie de las rebanadas de papaya. Esta operación se realizó en el

escurridor automático descrito previamente, en el cual se utilizó una velocidad de centrifugación de 144 rpm (10 Hz), ya que con esta velocidad se logró remover el exceso de hidrocoloide en la superficie sin dañar las rebanadas de papaya, permitiendo así la formación de la cobertura sobre estos.

Para establecer los límites del tiempo de escurrido se empleó la concentración de las dispersiones que corresponden al punto central del diseño central compuesto rotatable, para ambos hidrocoloides. Se probó un intervalo de 10 segundos a 300 segundos (5 minutos), con el fin de determinar la pérdida de masa de las rebanadas de papaya a los 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240 y 300 segundos. A continuación, se describe el procedimiento seguido para cada hidrocoloide.

1. Se sumergió 1 kg de rebanadas de papaya en 2 L de dispersión del hidrocoloide (utilizando agua destilada), para lograr una relación 2:1 (dispersión-trozos de papaya) durante 5 minutos.
2. Se removieron las rebanadas de papaya de la dispersión con el apoyo de un colador y se pesó la papaya con la cobertura.
3. Se introdujeron las rebanadas de papaya en el escurridor, se puso a funcionar y se pesó a los tiempos previamente establecidos.
4. Finalmente se calculó el porcentaje de cobertura adherida a las rebanadas de papaya en cada uno de los tiempos.

Con los resultados obtenidos se establecieron los límites del tiempo de escurrido, según los tiempos en los cuales se observó una pérdida de la cobertura adherida a las rebanadas de papaya.

4.6.2.3. Identificación de las mejores condiciones de aplicación de las coberturas

Posterior a la definición de los límites de la concentración de hidrocoloide y del tiempo de escurrido de los dos hidrocoloides, se probaron 12 tratamientos con diferentes combinaciones de concentración y tiempo de escurrido para cada uno, correspondientes a los puntos axiales, factoriales y centrales del diseño experimental. El DCCR se empleó con

el fin de evaluar las condiciones de aplicación de las coberturas que mejor limitaran la absorción de aceite durante la fritura al vacío, así como su efecto sobre las características sensoriales de los *chips* de papaya, para ambos hidrocoloideos. Para cada punto del diseño experimental se siguió el proceso descrito en la sección 3.3., resumido en la **Figura 1**.

4.6.2.4. Variables respuesta

Con el fin de evaluar el efecto de las diferentes condiciones de aplicación (concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido) se realizaron determinaciones del contenido de lípidos, contenido de humedad, actividad de agua (a_w), color (ΔE^*), textura (dureza) y adhesión de la cobertura, como se describe en las secciones 4.7.1., 4.7.2., 4.7.4., 4.7.5., 4.7.6. y 4.8.1. respectivamente, así como la reducción del contenido de lípidos. Las mediciones se hicieron por triplicado para cada tratamiento evaluado, a excepción de la medición de textura en donde se realizaron diez réplicas y la adhesión de la cobertura donde se realizó una.

4.6.2.5. Parámetros de humedad

Se determinó el contenido de humedad de la papaya fresca con cobertura y de los *chips*, y otros parámetros como la retención de humedad antes y después de la fritura, y la pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* con y sin cobertura, como se describe en las secciones 4.7.3., 4.8.3.1., 4.8.3.2., 4.8.3.3. y 4.8.3.4., respectivamente. Esto con el fin de evaluar el efecto de la aplicación de las coberturas sobre la humedad del producto. Las mediciones de la humedad de la papaya fresca y de los *chips* se hicieron por triplicado para cada tratamiento evaluado y los cálculos se realizaron con el promedio de estas mediciones.

4.6.2.6. Diseño experimental

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta para la optimización de la aplicación de las coberturas, con el diseño central compuesto rotatable (DCCR) con dos factores (concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido) y cuatro repeticiones del punto

central, para un total de 12 ensayos. Se realizó un DCCR para cada hidrocoloide con el fin de obtener las condiciones de aplicación de la cobertura para la optimización del proceso.

Los factores independientes y sus niveles codificados y naturales para cada hidrocoloide se muestran en el **Cuadro VI**.

Cuadro VI. Factores independientes y niveles codificados y naturales para la evaluación de las diferentes condiciones de aplicación de las coberturas en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Goma guar					
Factores	Niveles codificados				
	-1,414	-1	0	1	1,414
	Niveles naturales				
Concentración de hidrocoloide (%)	0,20	0,24	0,35	0,46	0,50
Tiempo de escurrido (s)	5,0	13,0	32,5	52,0	60,0
Goma xantán					
Factores	Niveles codificados				
	-1,414	-1	0	1	1,414
	Niveles naturales				
Concentración de hidrocoloide (%)	0,10	0,14	0,25	0,36	0,40
Tiempo de escurrido (s)	5,0	13,0	32,5	52,0	60,0

Los niveles naturales de los factores se obtuvieron en la definición de los límites de la concentración de hidrocoloide (sección 4.6.2.1) y del tiempo de escurrido (sección 4.6.2.2). Los ensayos resultantes fueron realizados de manera aleatoria para minimizar el efecto de las variables no controlables.

Adicional a los ensayos debidos al diseño experimental, se realizaron tres repeticiones de muestras control (*chips* sin cobertura) y para cada repetición se hicieron tres réplicas por medición, a excepción de la medición de textura que se realizaron diez réplicas y de la adhesión de la cobertura en donde se realizó una. Esto con el fin de compararlos con los *chips* de papaya con cobertura de ambos hidrocólidos.

La realización de estas pruebas se desarrolló en diez días, con el fin de completar los 12 ensayos del diseño experimental de cada hidrocoloide. Su distribución se muestra en el **Cuadro VII** a continuación.

Cuadro VII. Distribución de las pruebas experimentales del segundo objetivo de la investigación.

Día		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hidrocoloide		Goma guar					Goma xantán				
Tratamientos del diseño experimental	punto axial	2	2	0	0	0	0	2	1	0	1
	punto factorial	1	1	1	1	0	2	0	1	1	0
	punto central	0	0	2	1	1	0	0	1	2	1
Muestras control (sin cobertura)		0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Total de ensayos		3	4	3	2	1	2	2	3	4	3

Originalmente, la distribución de las pruebas por día presentaba un punto axial, uno factorial y otro central. No obstante, debido a inconvenientes en la disponibilidad de la materia prima no fue posible desarrollarlas de dicha manera.

4.6.2.7. Análisis estadístico

A partir de los resultados obtenidos, se estimó el modelo para cada una de las variables respuesta, así como los diagnósticos: el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), la probabilidad del modelo (p), la probabilidad de falta de ajuste (p_{fa}) y la distribución de los residuos. Esto se realizó en el programa Statistica 7 (Statsoft®, USA).

4.7. Métodos de análisis fisicoquímicos

4.7.1. Contenido de lípidos

Se realizó la determinación de lípidos de los *chips* de papaya, empleando el procedimiento para la determinación de la grasa cruda por extracto etéreo, basado en el método descrito por Carpenter *et al.* (1993); bajo el protocolo del Laboratorio de Química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) PSA-MQ-005, con el equipo SoxtecTMAvanti 2050 Auto System marca Foss Tecator.

4.7.2. Reducción del contenido de lípidos

Para la determinación de la reducción en el contenido de lípidos de los *chips* de papaya debido a la aplicación de las coberturas, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{reducción del contenido de lípidos} = \% \text{contenido de lípidos}_{\text{control}} - \% \text{contenido de lípidos}_{\text{con cobertura}} \quad (3)$$

Donde el control se refiere a los *chips* de papaya sin cobertura.

4.7.3. Contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad de la papaya fresca y de los *chips* de papaya se siguió el protocolo del Laboratorio de Química del CITA P-SA-BQ-80, utilizando el analizador termogravimétrico (TGA). El equipo utilizado es marca LECO, proveniente de Estados Unidos, modelo TGA701, número de serie 6282-5333).

Para el procedimiento de análisis se utilizó una temperatura de 85 °C. El equipo registra periódicamente la pérdida de masa conforme avanza al tiempo del análisis, en donde este finaliza en el momento en que dicha pérdida de masa sea menor al 0,3%, considerado como masa constante. El equipo reporta directamente el porcentaje de humedad en la muestra analizada. El contenido de humedad se expresa como g de humedad/100 g muestra en base húmeda, dicho el análisis se realizó por triplicado.

4.7.4. Actividad de agua (a_w)

La determinación de la actividad de agua en los *chips* de papaya se realizó bajo el protocolo del Laboratorio de Química del CITA P-SA-MQ-041, el cual se basa en el método oficial de la AOAC; 978.18 (AOAC 2005). Se utilizó el equipo AquaLab 4TE, proveniente de Estados Unidos, ubicado en el Laboratorio de Química del CITA.

4.7.5. Color

Para la determinación de color de los *chips* de papaya se utilizó el colorímetro Colourflex (HunterLab, Estados Unidos) usando la escala CIElab, una luz D65 y un ángulo de incidencia de 10°. El equipo utilizado se encuentra en el Laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos. Se determinaron los valores de L^* , a^* y b^* . Sin embargo, se comparó únicamente el valor de ΔE^* , que se define como la cuantificación de un cambio en el color (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014), con el fin de determinar si habían diferencias de color visualmente perceptibles entre las muestras con cobertura y las muestras control (sin cobertura), ya que el color de los *chips* de papaya (sin cobertura) se optimizó con respecto a la papaya fresca para el proceso de fritura al vacío en la investigación realizada por Brenes (2017).

Este se calcula a partir de las coordenadas L^* , a^* y b^* , como se muestra a continuación en la ecuación (4):

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad (4)$$

La coordenada L^* recibe el nombre de luminosidad o claridad y puede tomar valores entre 0 y 100. La a^* define la desviación del punto acromático correspondiente a la luminosidad hacia el rojo si a^* es positiva y hacia el verde si a^* es negativa. De igual forma, la coordenada b^* define la desviación hacia el amarillo si b^* es positiva y hacia el azul si b^* es negativa. El conjunto a^*b^* recibe el nombre de cromaticidad y junto con L^* definen el color del estímulo (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014). Esto se puede apreciar más claramente en la **Figura 4**.

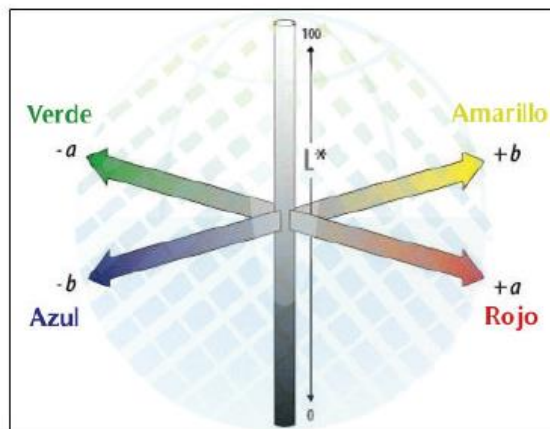


Figura 4. Coordenadas de color L^* , a^* y b^* .

4.7.6. Textura

La medición de textura se realizó en el analizador de textura TA.XT Plus y con el software Exponent versión 6.1.6.0. Se empleó como accesorio una sonda cilíndrica de 3 mm seleccionado en las pruebas preliminares, una base hueca y una velocidad de descenso de 1 mm/s. Se midió la dureza en Newton (N) de los *chips* de papaya, para lo cual se registró la fuerza máxima obtenida durante la primera compresión del producto. Para cada ensayo se realizaron diez réplicas.

4.7.7. Viscosidad

La medición de viscosidad se realizó utilizando una pipeta graduada de 10,00 mL, la cual fue reservada únicamente para este fin. Inicialmente, se realizó la medición con agua destilada y después con la dispersión del hidrocoloide. Cada líquido se dejó fluir libremente y se midió con un cronómetro el tiempo requerido para recorrer desde los 3,00 mL (marca superior) hasta los 8,00 mL (marca inferior). Para esto, la pipeta se colocó en posición vertical sujeta a una prensa universal en un soporte, la posición se verificó con un nivel. Posteriormente, se determinó la densidad de la dispersión de hidrocoloide por el método del volumen, que consistió en medir la masa de 5,00 mL del líquido

medidos en pipeta graduada de 10,00 mL. Ambas mediciones se realizaron con el líquido a la misma temperatura.

Con los resultados obtenidos, se calculó la viscosidad de la dispersión de hidrocoloide empleando la siguiente ecuación:

$$\mu_{dispersión} = \frac{\rho_{dispersión} \cdot t_{dispersión} \cdot \mu_{agua}}{\rho_{agua} \cdot t_{agua}} \quad (5)$$

Donde $\rho_{disolución}$ y ρ_{agua} es la densidad de la dispersión y del agua a una temperatura determinada, $\mu_{disolución}$ y μ_{agua} es la viscosidad de la dispersión y del agua a una temperatura determinada, y $t_{disolución}$ y t_{agua} el tiempo que tarda la dispersión y el agua en recorrer la distancia entre la marca superior y la marca inferior de la pipeta.

La densidad y viscosidad del agua destilada se determinaron con las tablas de constantes de densidad y viscosidad del agua, según la temperatura a la cual se realizó la medición.

La viscosidad se expresó en Pas.

4.8. Métodos de análisis del proceso

4.8.1. Porcentaje de adhesión de la cobertura

Este parámetro indica la cantidad de dispersión del hidrocoloide adherida a las rebanadas de papaya fresca, después de realizar la inmersión y la remoción del exceso de cobertura presente en la superficie de las rebanadas con el escurridor. Se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Porcentaje de adhesión de la cobertura} = \frac{(m_c - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (6)$$

Donde m_c se refiere a la masa de las rebanadas de papaya cubiertos con las dispersiones de hidrocoloides y el término m_i a la masa de las rebanadas de papaya sin la cobertura (Daraei *et al.* 2011). Estos resultados se expresaron en porcentaje.

4.8.2. Costo de aplicación

A partir del precio del hidrocoloide por kilogramo, se calculó el costo de aplicación de este por kilogramo de producto, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$CA = \frac{\text{\$/hidrocoloide}}{\text{kg hidrocoloide}} \cdot \frac{\text{kg hidrocoloide}}{\text{kg dispersión}} \cdot \frac{\text{kg dispersión}}{\text{kg producto}} = \frac{\text{\$/hidrocoloide}}{\text{kg producto}} \quad (7)$$

4.8.3. Mediciones de retención y pérdida de humedad

Se realizaron mediciones de retención y pérdida de humedad con el fin de observar el impacto de la aplicación de la cobertura y de la fritura en la papaya fresca y en los *chips* de papaya. En la **Figura 5** se presentan las mediciones que se realizaron.

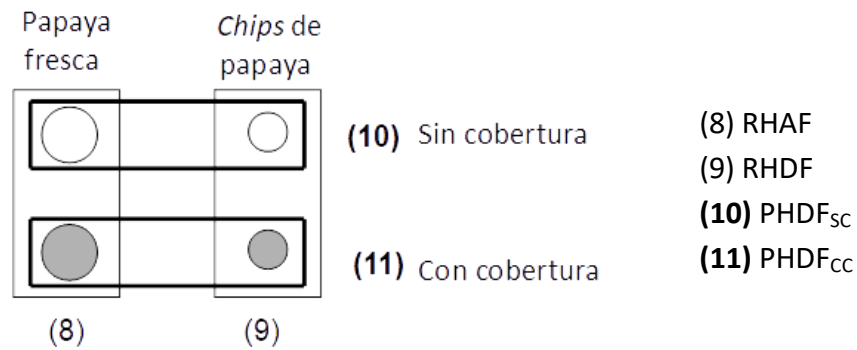


Figura 5. Representación gráfica de las mediciones de retención y pérdida de humedad de la papaya fresca y los *chips* de papaya.

A continuación, se describen las mediciones de retención y pérdida de humedad representadas en la **Figura 5**.

4.8.3.1. Retención de humedad antes de la fritura (RHAF)

Se calculó la retención de humedad de la papaya fresca, debido a la cobertura aplicada como se muestra a continuación en la ecuación (8):

$$RHAF = \frac{H_{cci} - H_{sci}}{H_{sci}} \quad (8)$$

Donde H_{cci} es el contenido de humedad de las rebanadas de papaya con cobertura y H_{sci} el contenido de humedad de las rebanadas de papaya sin cobertura.

4.8.3.2. Retención de humedad después de la fritura (RHDF)

Se calculó la retención de humedad en los *chips* de papaya, debido a la cobertura aplicada como se muestra a continuación en la ecuación (9):

$$RHDF = \frac{H_{ccf} - H_{scf}}{H_{scf}} \quad (9)$$

Donde H_{ccf} es el contenido de humedad de los *chips* de papaya con cobertura y H_{scf} el contenido de humedad de los *chips* de papaya sin cobertura.

4.8.3.3. Pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* sin cobertura (PHDF_{SC})

La pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* de papaya sin cobertura se calculó con la siguiente ecuación:

$$PHDF_{SC} = \frac{H_{sci} - H_{scf}}{H_{sci}} \quad (10)$$

Donde H_{sci} es el contenido de humedad de las rebanadas de papaya sin cobertura y H_{scf} el contenido de humedad de los *chips* de papaya sin cobertura.

4.8.3.4. Pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* con cobertura (PHDF_{CC})

La pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* de papaya con cobertura se calculó con la siguiente ecuación:

$$PHDF_{CC} = \frac{H_{cci} - H_{ccf}}{H_{cci}} \quad (11)$$

Donde H_{ci} es el contenido de humedad de las rebanadas de papaya con cobertura y H_{cf} el contenido de humedad de los *chips* de papaya con cobertura.

5. PRUEBAS PRELIMINARES

5.1. Selección del accesorio para la medición de textura (dureza) de los chips de papaya

Esta prueba se hizo con el fin de seleccionar el accesorio a utilizar en el análisis de textura que se realizó a los *chips* de papaya en las pruebas experimentales.

Para ello, se utilizó el analizador de textura TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Ltd, Godalming, UK), con el cual se midió la dureza de los *chips* de papaya. Se realizó una prueba de compresión donde se registró la fuerza del primer pico significativo, presentado en la gráfica; empleando una base hueca y una velocidad de descenso de 1 mm/s.

Se probaron tres accesorios diferentes, los cuales fueron: la esfera de 0,64 cm de diámetro, el cilindro de 3 mm y el cilindro de 6 mm de diámetro. Con cada accesorio se realizaron diez réplicas del ensayo. En las **Figuras 6, 7 y 8** se presentan los resultados obtenidos.

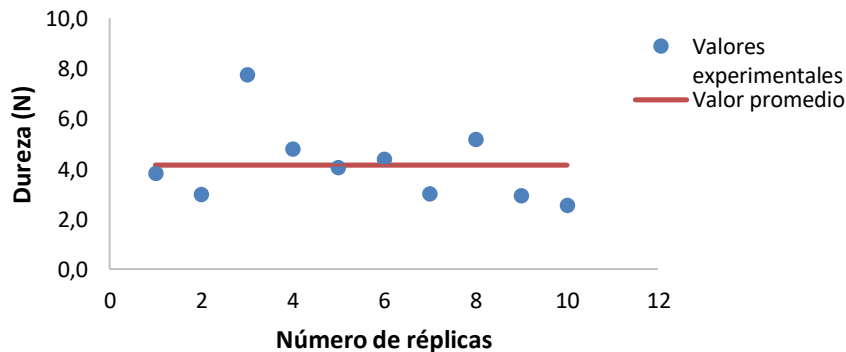


Figura 6. Dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la media en la medición de la dureza de los *chips* de papaya empleando la esfera de 0,64 cm de diámetro.

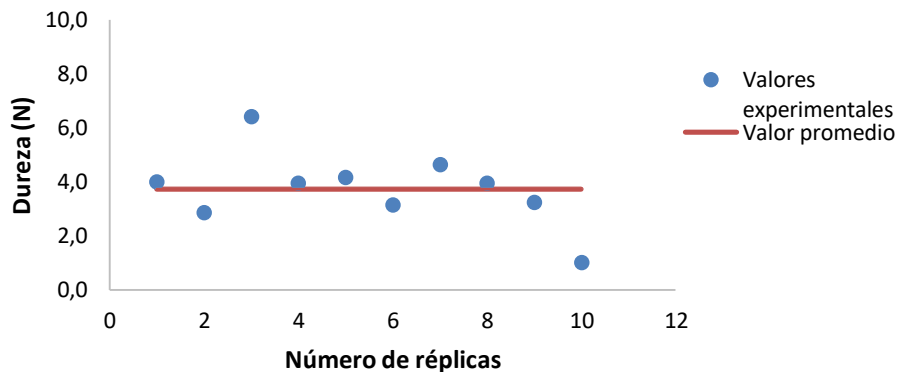


Figura 7. Dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la media en la medición de la dureza de los *chips* de papaya empleando el cilindro de 3 mm de diámetro.

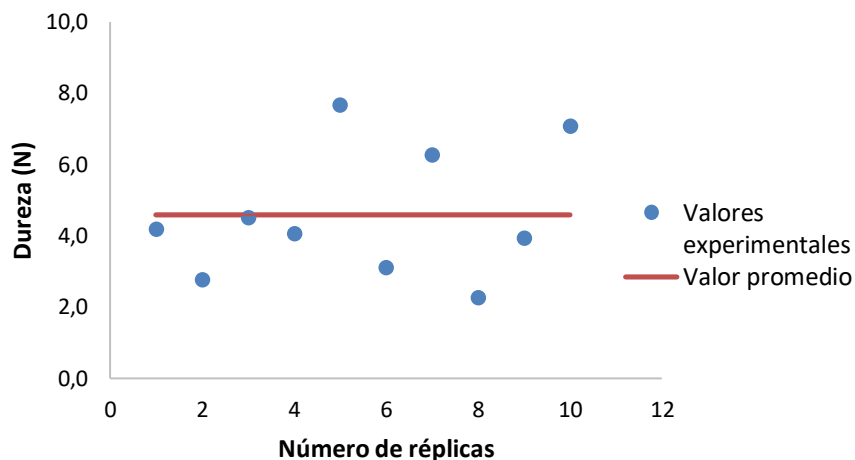


Figura 8. Dispersión de los resultados obtenidos con respecto a la media en la medición de la dureza de los *chips* de papaya empleando el cilindro de 6 mm de diámetro.

En las **Figuras 6 y 7** se muestra que se obtuvo una menor dispersión de los resultados con respecto a la media para las pruebas, al utilizar la esfera de 0,64 cm y en el cilindro de 3 mm.

Con el fin de comparar la dispersión de los resultados obtenidos para cada uno de los accesorios empleados, se determinó el coeficiente de variación, el cual mide la dispersión de los datos con respecto a la media (Berenson *et al.* 2006); los valores obtenidos se muestran en el **Cuadro VIII**.

Cuadro VIII. Coeficiente de variación de los resultados obtenidos en la medición de la dureza de los *chips* de papaya en el analizador de textura TA.XT Plus utilizando tres accesorios distintos (esfera de 0,64 cm, cilindro de 3 mm y cilindro de 6 mm).

Accesorio	Coeficiente de variación* (%)
Esfera de 0,64 cm	37,0
Cilindro de 3 mm	36,8
Cilindro de 6 mm	40,0

*n=10

En el **Cuadro VIII** se observa que el cilindro de 3 mm fue el que presentó un coeficiente de variación menor, es decir una menor dispersión de los resultados obtenidos, y, por ende, una mayor precisión.

Por esta razón, el accesorio seleccionado para la medición de textura (dureza) de los *chips* de papaya en el analizador de textura TA.XT Plus es el cilindro de 3 mm de diámetro.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. *Selección de dos hidrocoloides que presenten atributos físicos y de proceso adecuados que permitan su aplicación como coberturas en chips de papaya.*

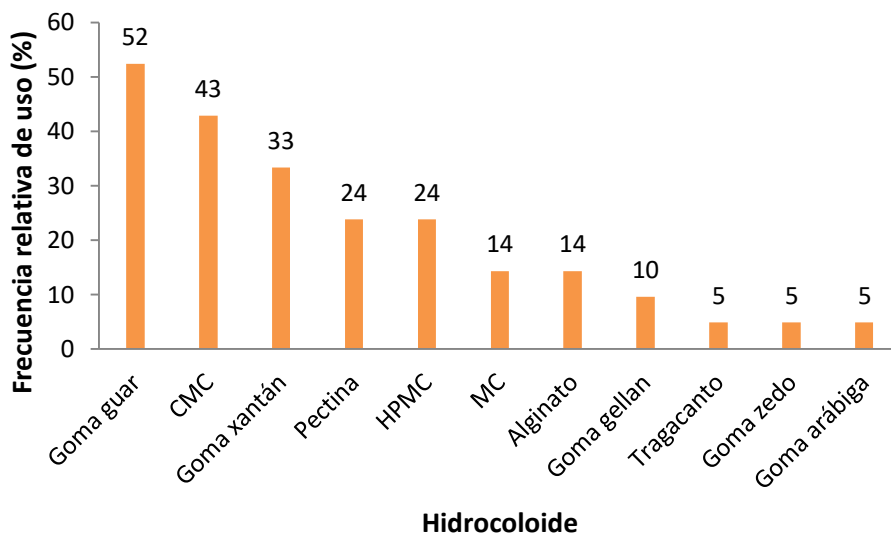
6.1.1. Preselección teórica

Se realizó la revisión bibliográfica de 21 artículos en los que se emplearon los hidrocoloides como coberturas en alimentos, para disminuir la absorción de aceite durante la fritura. Estos se utilizaron en diferentes tipos de alimentos que incluyen papas, donas, *nuggets*, garbanzos, guisantes, frijol chino, plátano verde, banano, camarones, taro, tortillas de harina, kachori y jaca (*jackfruit*). A partir de esta revisión bibliográfica, se seleccionaron cinco hidrocoloides según su frecuencia de uso en las investigaciones y su eficacia.

6.1.1.1. Frecuencia de uso de los hidrocoloides

Como se mencionó anteriormente, se calculó la frecuencia de uso relativa de todos los hidrocoloides empleados en las investigaciones, es decir, la cantidad de veces que cada hidrocoloide fue utilizado en las mismas. Esto se realizó debido a que la frecuencia de uso puede funcionar como un indicador de los hidrocoloides más comúnmente utilizados como coberturas para disminuir la absorción de aceite en los productos fritos, así como de su disponibilidad en el mercado.

A continuación, en la **Figura 9** se muestran los resultados obtenidos.



*CMC: carboximetilcelulosa, HPMC: hidroxipropilmetilcelulosa, MC: metilcelulosa.

Figura 9. Frecuencia relativa de uso de los hidrocoloides utilizados en las investigaciones.

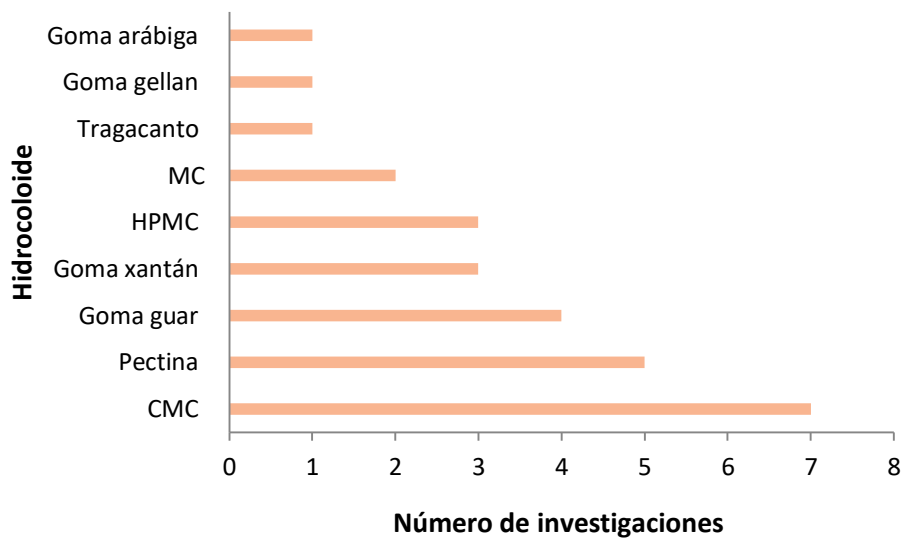
Como se muestra en la **Figura 9**, la goma guar se utilizó en más del 50% de las investigaciones, seguido de la carboximetilcelulosa (CMC) con más de 40%, la goma xantán cercano a 40% y la pectina y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) con la misma frecuencia, cercana al 30%.

Por lo tanto, se seleccionaron los cinco hidrocoloides con las mayores frecuencias de uso, los cuales fueron la goma guar, CMC, goma xantán, pectina y HPMC.

6.1.1.2. Eficacia de los hidrocoloides

Además de la frecuencia de uso, para la preselección de los hidrocoloides se tomó en cuenta su eficacia al emplearlos como coberturas en la disminución de la absorción de aceite durante la fritura, puesto que la capacidad de los hidrocoloides para formar una barrera adecuada contra la migración de aceite es el principal interés de esta investigación. Esto se realizó contabilizando las investigaciones en las que cada hidrocoloide logró las mayores reducciones de aceite en el producto final.

A continuación, en la **Figura 10** se muestran los resultados obtenidos.



*CMC: carboximetilcelulosa, HPMC: hidroxipropilmetilceluosa, MC: metilcelulosa.

Figura 10. Número de investigaciones en las que los hidrocoloides lograron una mayor reducción de aceite en los productos fritos.

Como se observa en la **Figura 10**, los cinco hidrocoloides que lograron las mayores reducciones en la absorción de aceite en los productos fritos de las investigaciones fueron CMC, pectina, goma guar, goma xantán y HPMC. Estos hidrocoloides son los mismos que presentaron la mayor frecuencia de uso.

A pesar de que HPMC está dentro de los hidrocoloides con mayor frecuencia de uso y presentó una alta eficacia, se seleccionó pectina en vez de HPMC, ya que la pectina presentó una mayor eficacia. Asimismo, en las investigaciones no se indica cuál tipo de pectina se utilizó, por lo que se decidió realizar la selección práctica con pectinas de alto y bajo metoxilo, para obtener un total de cinco hidrocoloides seleccionados.

Por lo tanto, a partir de la revisión bibliográfica realizada y de los resultados obtenidos, se seleccionaron los siguientes hidrocoloides: CMC, goma guar, goma xantán, pectina de alto metoxilo y pectina de bajo metoxilo.

6.1.2. Selección práctica

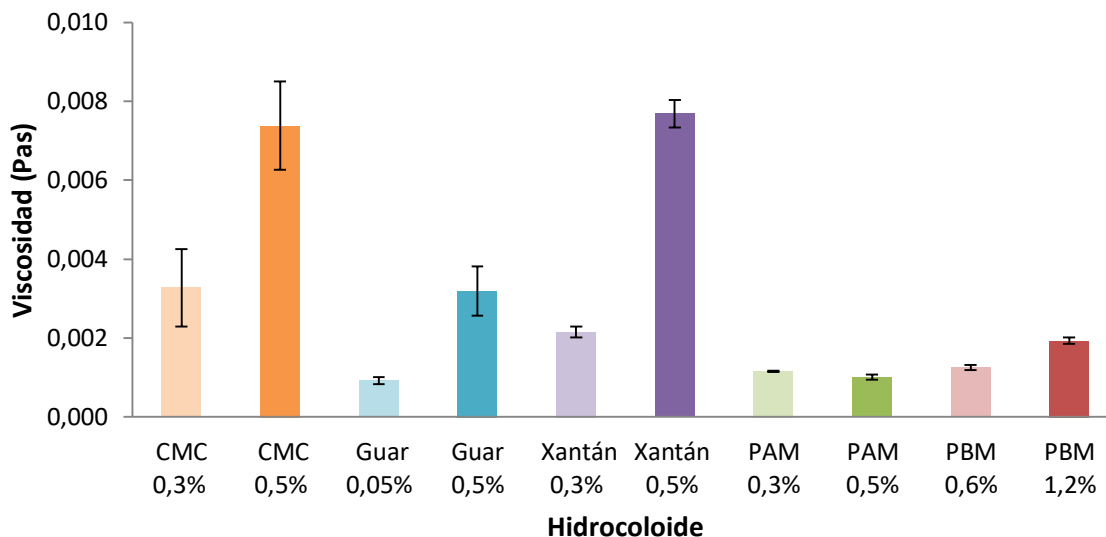
Posterior a la preselección teórica, se realizó la selección práctica de los hidrocoloides, a partir de la determinación de cuatro parámetros: viscosidad, adhesión de la cobertura, nivel de complejidad de preparación de las dispersiones y costo de aplicación. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

6.1.2.1. Viscosidad de las dispersiones y adhesión de la cobertura

La viscosidad se define como una medida de la resistencia a la deformación del fluido, es decir la dificultad con la que un líquido puede fluir (Ramírez 2006). Por lo tanto, a mayor viscosidad menor fluidez.

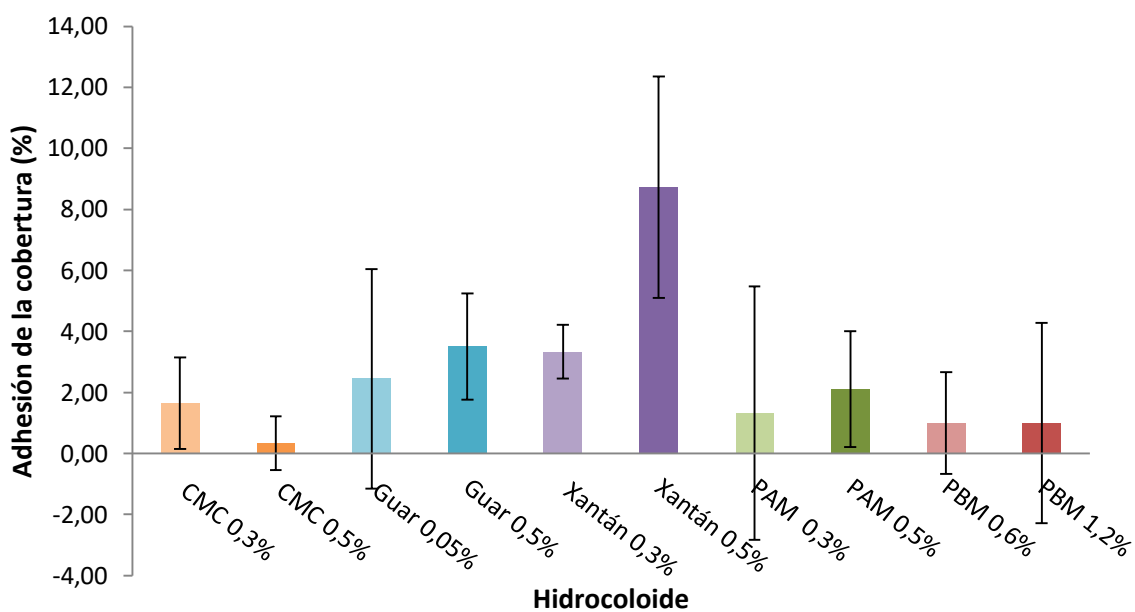
El grosor de la película de hidrocoloide adherida al alimento después de su aplicación depende de las propiedades de la dispersión de hidrocoloide como su viscosidad (Villalobos *et al.* 2009). Asimismo, la viscosidad determina la cantidad de cobertura que se adhiere al producto (Varela y Fizman 2011), por lo que la viscosidad de las dispersiones influye directamente en la adhesión de la cobertura en el alimento. Por esta razón, se determinó la viscosidad con el fin de caracterizar las dispersiones y relacionar este parámetro con la adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya.

En las **Figuras 11** y **12** se muestran los resultados obtenidos para la viscosidad y la adhesión de la cobertura, respectivamente.



*CMC: carboximetilcelulosa, PAM: pectina de alto metoxilo, PBM: pectina de bajo metoxilo.

Figura 11. Viscosidad promedio con la desviación estándar de las dispersiones de los hidrocoloides para las concentraciones mínima y máxima de cada uno.



*CMC: carboximetilcelulosa, PAM: pectina de alto metoxilo, PBM: pectina de bajo metoxilo.

Figura 12. Porcentaje de adhesión promedio de la cobertura con la desviación estándar de las dispersiones de los hidrocoloides para las concentraciones mínima y máxima de cada uno.

En la **Figura 11** se muestran los valores de viscosidad para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide. La CMC y goma xantán presentaron mayores viscosidades en comparación con el resto, además se observa una mayor viscosidad para la concentración máxima que para la concentración mínima. Asimismo, la goma guar mostró gran diferencia entre la viscosidad de la concentración mínima y la de la máxima, no obstante, la viscosidad de la concentración máxima fue mucho menor en comparación con la de la CMC y la goma xantán que poseen la misma concentración (0,5%).

Por otro lado, las pectinas de alto y bajo metoxilo mostraron los menores valores de viscosidad. Se puede observar que la pectina de alto metoxilo, a pesar de tener las mismas concentraciones mínima y máxima que la CMC y la goma xantán (0,3% y 0,5%), presentó una viscosidad mucho menor en comparación con estas. De igual forma, la pectina de bajo metoxilo, a pesar de tener las mayores concentraciones (tanto mínima como máxima) del grupo de hidrocoloides, presentó viscosidades muy bajas.

Esto puede deberse a la presencia de grupos metoxilo en las estructuras químicas de las pectinas, los cuales disminuyen su polaridad y, por ende, su capacidad de ligar el agua, mientras que en las estructuras químicas de los demás hidrocoloides predominan los grupos hidroxilo, aumentando su hidrofiliidad y su capacidad de ligar el agua, produciendo dispersiones más viscosas.

Por otra parte, en la **Figura 12** se muestra el porcentaje de adhesión de la cobertura de los distintos hidrocoloides en las rebanadas de papaya. La goma xantán presentó el mayor promedio del porcentaje de adhesión de la cobertura, lo cual coincide con su alta viscosidad, como se esperaba. Sin embargo, la CMC a pesar de presentar una alta viscosidad, mostró el menor promedio del porcentaje de adhesión. La goma guar presentó un promedio del porcentaje de adhesión intermedio, al igual que su viscosidad. Por otro lado, ambas pectinas presentaron un promedio del porcentaje de adhesión de la cobertura bajo, al igual que su viscosidad. No obstante, aunque la pectina de alto metoxilo mostró una viscosidad ligeramente menor a la de bajo metoxilo, presentó un mayor promedio de la adhesión de la cobertura a la papaya.

En principio, como se mencionó anteriormente, a mayor viscosidad, mayor porcentaje de adhesión de la cobertura. Sin embargo, esta relación entre la viscosidad y la adhesión de la cobertura no siempre se cumple, y esta depende de otras propiedades físicas y químicas de cada hidrocoloide (Varela y Fiszman 2011).

Además, en la **Figura 12** se presenta la desviación estándar para el promedio de la adhesión de la cobertura reportada para cada hidrocoloide, donde la desviación estándar indica el grado de dispersión o alejamiento de los datos con respecto a la media (Guerrero *et al.* 2007). En este caso, se observa que, para la mayoría de los resultados se obtuvo una desviación estándar de igual magnitud o superior a la media. Esto indica que los resultados de la adhesión de la cobertura se encuentran alejados de la media y entre sí (Mohammad y Adil 2009), lo que se traduce en una baja precisión. Asimismo, se observan valores negativos lo cual indica que hubo pérdida de la cobertura y también de agua y materia sólida del producto.

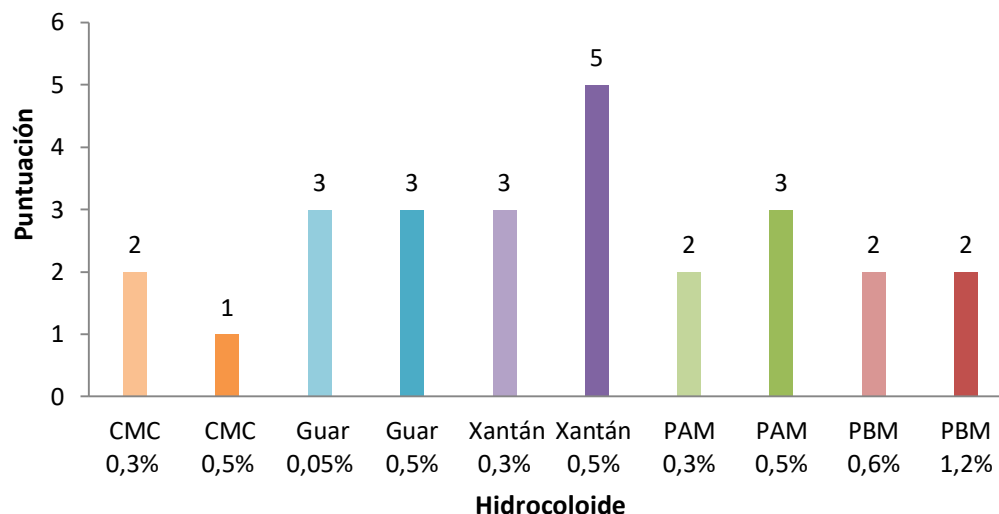
Esta dispersión de los valores puede deberse al método utilizado de inmersión y escurrido, pues durante su ejecución provocó daño mecánico en la papaya, al ser esta una matriz delicada. Asimismo, durante el proceso de inmersión y de escurrido se pudo haber perjudicado la aplicación de las coberturas en las rebanadas de papaya, por diversas razones.

Primeramente, los trozos de papaya que se rebanaron en las pruebas no tenían la misma forma y tamaño, debido a la forma ovoide oblonga de la papaya (Barea 2015), por lo que los trozos de los extremos de la papaya generaban rebanadas de menor longitud en comparación con las rebanadas provenientes de los trozos del centro de la papaya. Esto causó diferencias en el área superficial de las rebanadas y, por ende, en la adhesión de la cobertura a las mismas. Además, al sumergir las rebanadas en las dispersiones no se aseguró que se cubrieran por completo, en especial porque estuvieron colocadas unas encima de otras e igualmente durante el escurrido, lo cual pudo haber afectado la distribución de la cobertura en las rebanadas de papaya, generando que estas quedaran descubiertas en ciertas zonas, como lo menciona Villalobos *et al.* (2009).

Por otra parte, aunque se emplearon papayas en el estado de madurez 4, este comprende un intervalo de madurez entre 41 y 55% determinado mediante el porcentaje de color amarillo en la cáscara de la fruta, el cual está estrechamente relacionado con la madurez interna de la papaya. No obstante, las papayas presentan distinta maduración, a pesar de estar clasificadas dentro de una misma categoría, como en este caso.

Esta variación de la madurez de las papayas, aunque sea leve, produce cambios en la firmeza, debido a la acción de enzimas como las hidrolasas, que degradan los hidratos de carbono poliméricos, principalmente los de las sustancias pécticas y las hemicelulosas, lo que debilita las paredes celulares y la fuerza en que se mantienen unidas las células (Umaña *et al.* 2011). En relación con esto, se observó que para las papayas más maduras (cerca de 55%) durante el proceso de inmersión y escurrido se perdieron pequeños pedazos de papaya, especialmente en el escurrido, ya que la papaya se rompía con más facilidad y se perdían trozos por los orificios del escurridor automático, debido a una menor firmeza en su estructura.

En la **Figura 13** se muestra la puntuación obtenida para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide, según la adhesión de la cobertura obtenida.



*CMC: carboximetilcelulosa, PAM: pectina de alto metoxilo, PBM: pectina de bajo metoxilo.
1: Nula adhesión, 5: Bastante adhesión

Figura 13. Puntuación obtenida para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide según la adhesión de la cobertura.

Como se observa en la **Figura 13**, la goma xantán y la goma guar obtuvieron las mayores puntuaciones (cerca de 5) debido a que presentaron una mayor adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya, en comparación con los demás hidrocoloides.

6.1.2.2. Nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones

Para determinar el nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones de los hidrocoloides, se tomaron en cuenta tres factores: la temperatura de dispersión, el tiempo de dispersión y la necesidad de agitación. Los resultados obtenidos se muestran en el **Cuadro IX**.

Cuadro IX. Temperatura y tiempo de dispersión promedio y puntuación del nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones para las concentraciones mínima y máxima de los hidrocoloides.

Hidrocoloide	Concentración (%)	Tiempo (s) ($\pm s$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) ($\pm s$)	Puntuación nivel de complejidad
CMC	0,3	88 \pm 28	23 \pm 1	2,9
	0,5	114 \pm 17	23 \pm 1	2,3
Goma guar	0,05	10 \pm 4	24 \pm 1	4,0
	0,5	75 \pm 32	24 \pm 2	3,5
Goma xantán	0,3	101 \pm 12	23	3,4
	0,5	130 \pm 17	23	4,2
Pectina alto metoxilo	0,3	165 \pm 2	45	2,1
	0,5	245 \pm 11	50	2,4
Pectina bajo metoxilo	0,6	210 \pm 65	24 \pm 1	2,1
	1,2	211 \pm 7	24 \pm 1	1,9

*CMC: carboximetilcelulosa. 1: Bastante complejo, 5: Nada complejo.

s: Desviación estándar

En el **Cuadro IX** se puede observar que la mayoría de los hidrocoloides a excepción de la pectina de alto metoxilo se dispersaron a temperatura ambiente. Según Imeson (1999), es posible dispersar la pectina a temperatura ambiente, sin embargo, se debe ser cuidadoso debido a que durante la dispersión de la pectina en el agua, la dispersión que se va formando, fácilmente cubre a los grumos de polvo, lo cual produce que esta sea más lenta y complicada. Esto se debe probablemente a los grupo metoxilo presentes en la estructura química de la pectina, los cuales disminuyen su polaridad, haciendo que la dispersión del hidrocoloide en el agua sea más lenta en comparación con los demás hidrocoloides.

Para ello, se recomienda utilizar un homogeneizador de alta velocidad o diluir la pectina con un polvo soluble como el azúcar (Imeson 1999). En este caso, se intentó dispersar la

pectina de alto metoxilo a temperatura ambiente utilizando un homogeneizador de alta velocidad, no obstante, quedaron pequeños grumos en la dispersión. Por lo tanto, para dispersar completamente la pectina se tuvo que calentar el agua a 45-50 °C.

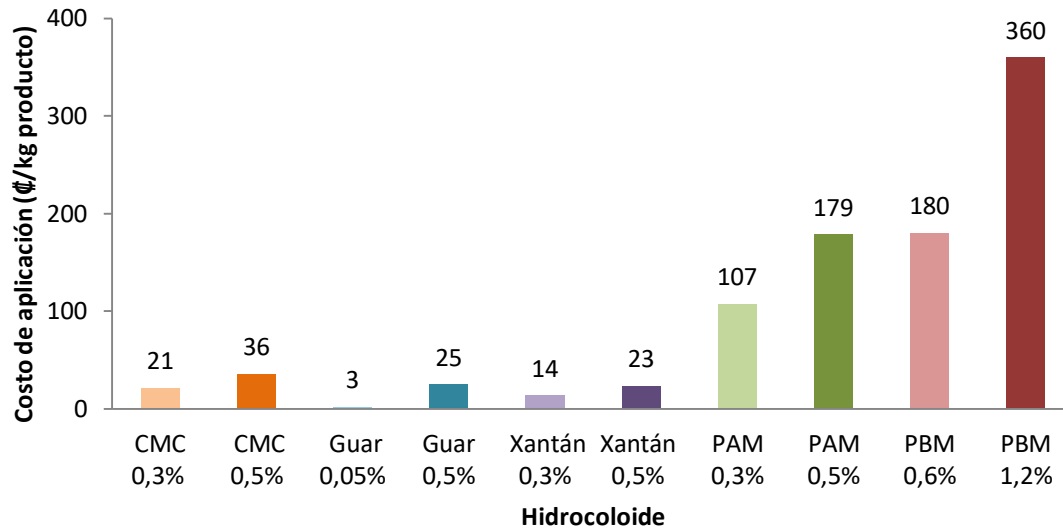
Además, se midió el tiempo de dispersión de los hidrocoloides a la temperatura de dispersión de cada uno y a una misma velocidad en el homogeneizador. Se muestra que la goma guar fue el hidrocoloide que requirió menor tiempo para dispersarse; seguido de la CMC, la goma xantán, la pectina de bajo metoxilo y, por último, la pectina de alto metoxilo. En todos los casos se formaron grumos que el homogeneizador deshizo fácilmente, a excepción de las pectinas, cuyos grumos fueron más difíciles de romper, como se mencionó con anterioridad. Igualmente, se observa que en la pectina de alto metoxilo se necesitó mucho tiempo para lograr dispersar los grumos aún a altas temperaturas. Para todos los hidrocoloides se requirió mayor tiempo para dispersarlos a la concentración máxima.

Por otra parte, la goma guar en su concentración mínima requirió únicamente de agitación manual para dispersarse por completo, mientras que todos los demás hidrocoloides se dispersaron completamente con el homogeneizador.

A partir de estos factores se determinó la puntuación para el nivel de complejidad de la preparación de las dispersiones, donde la goma guar presentó el menor nivel de complejidad y la pectina de alto metoxilo el mayor nivel de complejidad.

6.1.2.3. Costo de aplicación

Se determinó el costo de aplicación de las dispersiones de los hidrocoloides, al emplearlos como coberturas en 1 kg de papaya. A continuación, en la **Figura 14** se muestra los resultados obtenidos.



*CMC: carboximetilcelulosa, PAM: pectina de alto metoxilo, PBM: pectina de bajo metoxilo.

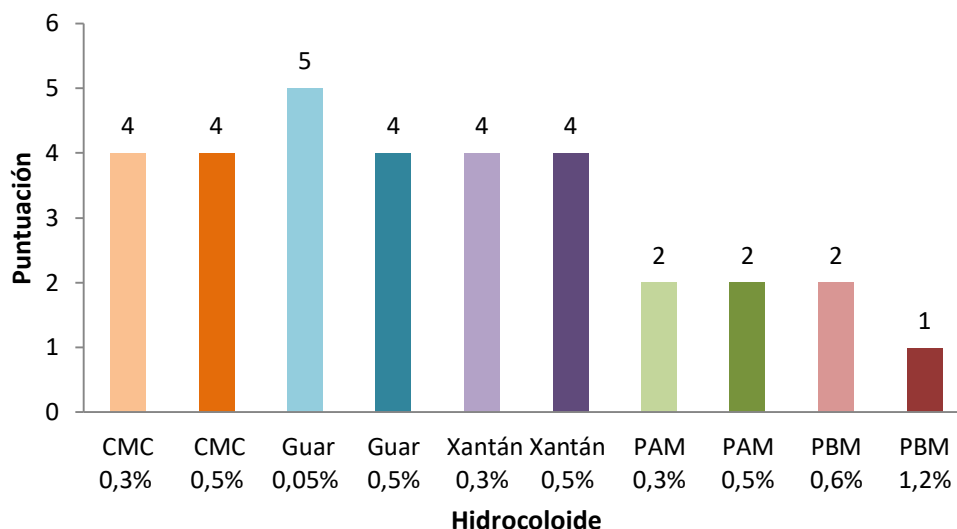
Figura 14. Costo de aplicación de las dispersiones de los hidrocoloides al emplearlos como coberturas en 1 kg de papaya.

En la **Figura 14** se muestra que la goma guar, goma xantán y la CMC presentaron los menores costos de aplicación, mientras que las pectinas presentaron los mayores costos de aplicación, en especial la pectina de bajo metoxilo, por tener mayores concentraciones.

Según Hoefler (2004), la mayoría de los hidrocoloides están sujetos a cambios de precios, ya que provienen de productos naturales que se cultivan, y por lo tanto dependen de las condiciones climáticas que pueden afectar el rendimiento de los cultivos, y consecuentemente su disponibilidad. Otros están sujetos a cambios en los precios causados por factores económicos a largo plazo. Por ejemplo, la pectina usualmente se extrae de los desechos de las industrias de bebidas (cáscaras de cítricos y pulpa de manzana). Si estos cultivos se ven afectados por las bajas temperaturas, afectan la disponibilidad y la calidad del fruto, y por lo tanto de la pectina.

No obstante, el costo de aplicación de los hidrocoloides es relativamente bajo, debido a que su uso en distintas aplicaciones es generalmente de un 1% o menos (Hoefler 2004).

A continuación, en la **Figura 15**, se muestra la puntuación obtenida para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide, según el costo de aplicación.



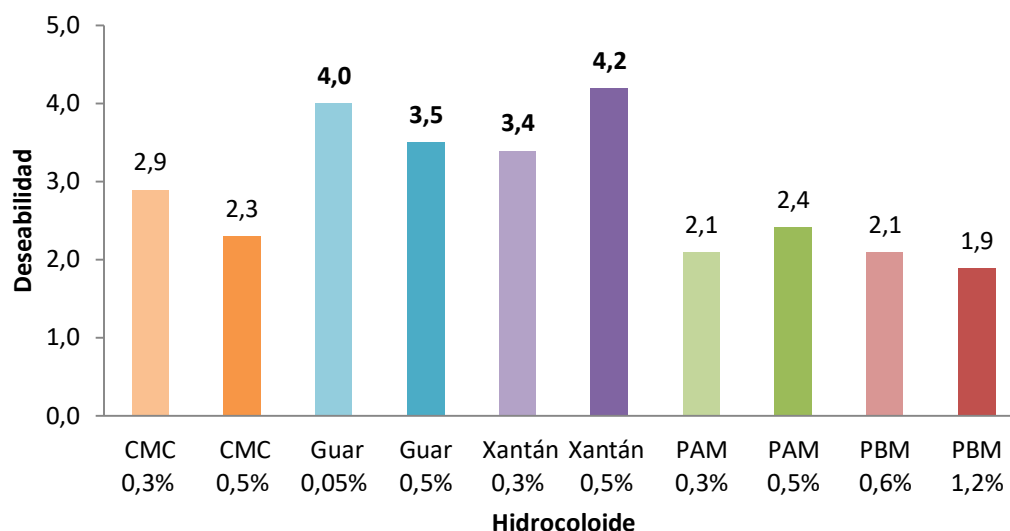
*CMC: carboximetilcelulosa, PAM: pectina de alto metoxilo, PBM: pectina de bajo metoxilo.
1: Bastante costoso, 5: Nada costoso.

Figura 15. Puntuación obtenida para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide según el costo de aplicación.

En la **Figura 15** se muestra que la goma guar (0,05%) obtuvo la puntuación más alta en comparación con los demás hidrocoloides, pues presenta un costo de aplicación muy bajo. La goma guar (0,5%), la CMC y la goma xantán presentaron puntuaciones similares, mientras que ambas pectinas mostraron las puntuaciones más bajas, debido a sus altos costos de aplicación.

6.1.2.4. Ecuación de deseabilidad

En la **Figura 16** se muestran las puntuaciones obtenidas al aplicar la ecuación de deseabilidad para las concentraciones mínima y máxima de cada hidrocoloide.



*CMC: carboximetilcelulosa, PAM: pectina de alto metoxilo, PBM: pectina de bajo metoxilo.
1: Nada deseable, 5: Bastante deseable

Figura 16. Puntuación obtenida para cada hidrocoloide al aplicar la ecuación de deseabilidad.

Se observa que los dos hidrocoloides con la puntuación más cercana a 5 para ambas concentraciones fueron la goma guar y la goma xantán. Por consiguiente, la goma guar y la goma xantán fueron los dos hidrocoloides seleccionados para evaluar su eficacia en la disminución de la absorción de aceite durante la fritura al vacío de papaya.

6.2. *Identificación de las condiciones de aplicación de los hidrocoloides que mejor limiten la absorción del aceite en los chips de papaya durante la fritura al vacío.*

6.2.1. Definición de los límites de la concentración de los hidrocoloides

Se realizó un ajuste de las concentraciones mínimas y máximas de la goma guar y la goma xantán para obtener una viscosidad similar entre las concentraciones mínimas y las concentraciones máximas de ambos hidrocoloides, con el fin de que estos fueran comparables al aplicarlos como coberturas en las rebanadas de papaya. A continuación en el **Cuadro X** se muestra el ajuste realizado.

Cuadro X. Concentraciones mínimas y máximas y las respectivas viscosidades del ajuste realizado para la goma guar y la goma xantán.

Hidrocoloide	Concentración (%)		Viscosidad (Pas) (10^{-3})**	
	Inicial	Ajustada	Inicial	Ajustada
Goma guar	0,05	0,2	$0,93 \pm 0,09$	$1,14 \pm 0,02$
	0,5	N/A	$3,2 \pm 0,6$	N/A
Goma xantán	0,3	0,1	$2,2 \pm 0,1$	$1,02 \pm 0,02$
	0,5	0,4	$7,7 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,1$

*N/A: no aplica. \pm Desviación estándar

En el **Cuadro X** se muestra que la concentración mínima inicial de la goma guar se aumentó, esto debido a que con la concentración de 0,05% se obtenía una dispersión muy fluida, debido a su baja viscosidad. La concentración máxima inicial se conservó sin ajustar, ya que se observó que a partir de la concentración de 0,5%, un pequeño aumento en la concentración representaba un gran aumento en la viscosidad, formando una dispersión cada vez más difícil de manipular, lo cual podía complicar su aplicación durante el proceso y originar un producto con una calidad inferior a la esperada.

Por otro lado, las concentraciones de la goma xantán se disminuyeron de 0,3 a 0,1% (concentración mínima) y de 0,5 a 0,4% (concentración máxima), con el fin de equiparar las viscosidades de las dispersiones de ambas gomas, puesto que la goma guar forma dispersiones menos viscosas en comparación con la goma xantán. Además, no se podían

aumentar las concentraciones máximas de las gomas, puesto que formaban dispersiones más viscosas, cuyos atributos no se determinaron en la selección de los hidrocoloides.

6.2.2. Definición de los límites del tiempo de escurrido

Para definir los límites del tiempo de escurrido se determinó el porcentaje de adhesión de la cobertura, después de sumergir las rebanadas de papaya en las dispersiones de los hidrocoloides, con una concentración que corresponde al punto central del diseño central compuesto rotatable de cada uno, durante 5 minutos y escurrirlas durante 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240 y 300 segundos. A continuación, en la **Figura 17** se muestran los resultados obtenidos.

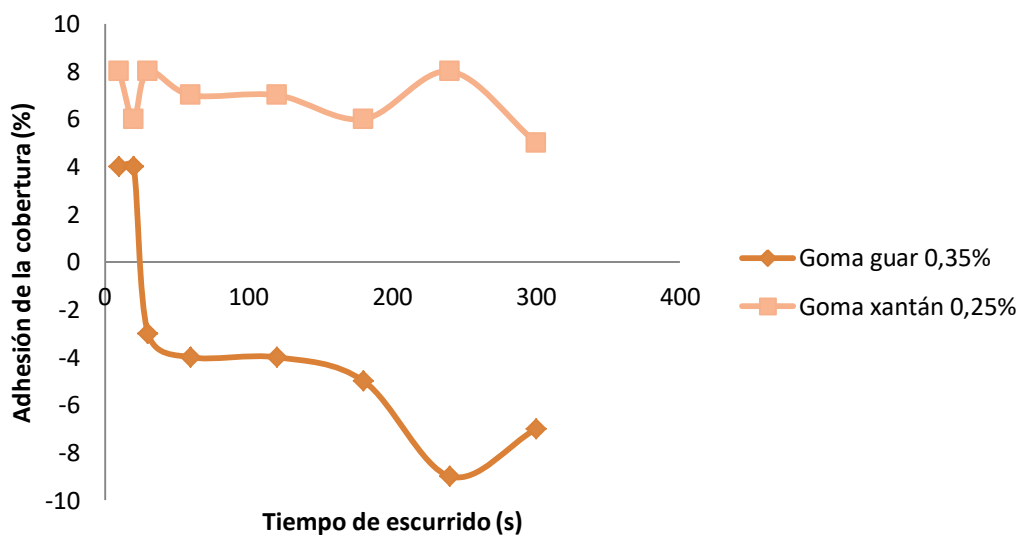


Figura 17. Porcentaje de adhesión de la cobertura para cada tiempo de escurrido aplicado a las rebanadas de papaya cubiertas con las dispersiones de goma guar y goma xantán con las concentraciones del punto central del diseño central compuesto rotatable de cada una.

En la **Figura 17** se muestra que para la goma guar la cobertura se quedó adherida en la papaya a los 10 y 20 s en un 4%, sin embargo a partir de los 30 s la cobertura no se quedó adherida a las rebanadas de papaya y además hubo pérdida de producto (agua y materia sólida), lo cual explica los valores de adhesión negativos. En el caso de la goma xantán, se observa que el porcentaje de adhesión de la cobertura exhibió una tendencia más constante, con una leve disminución en la adhesión de la cobertura a los 300 s (5 min), por

lo que el intervalo de tiempo probado no presentó un gran impacto en la adhesión de este hidrocoloide en la papaya.

Por esta razón, los límites del tiempo de escurrido se definieron con base en los resultados obtenidos para la goma guar. Se observó que a los 10 s se obtiene una buena adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya, no obstante, se decidió un tiempo de escurrido de 5 s como límite inferior, tomando en consideración los tratamientos con concentraciones menores a las del punto central (0,20% y 0,24%), con el fin de evitar remover la totalidad de la cobertura para estas concentraciones.

Se definió un tiempo de escurrido de 60 s (1 min) como límite superior, a pesar de que se presentó pérdida de cobertura y producto a los 30 s, puesto que se tomaron en cuenta las concentraciones mayores a las del punto central (0,46% y 0,50%), con el fin de lograr un escurrido adecuado y evitar un exceso de cobertura en las rebanadas de papaya, que pudiera producir un producto muy húmedo.

6.2.3. Diseño experimental: Optimización del proceso de aplicación de las coberturas de goma guar y goma xantán en los *chips* de papaya fritos al vacío

6.2.3.1. Resultados obtenidos de las variables respuesta

A continuación, en el **Cuadro XI** se presentan los resultados obtenidos de las variables respuesta para los *chips* control (sin cobertura).

Cuadro XI. Resultados obtenidos de las variables respuesta (humedad de los *chips*, a_w , contenido de lípidos y dureza) en los *chips* de papaya control (sin cobertura).

Control	Grado de madurez (%)	Humedad <i>chips</i> (%)	a_w	Contenido lípidos (%)	Dureza (N)
1	41-50	0,93 ± 0,09	0,17 ± 0,01	16,5 ± 0,2	4,5 ± 0,9
2	41-53	0,7 ± 0,2	0,19 ± 0,04	14,8 ± 0,4	4,8 ± 0,6
3	47-55	0,79 ± 0,09	0,15 ± 0,03	12,2 ± 0,6	6 ± 1
Promedio	41-55	0,80	0,1690	14,51	5,01

*± Desviación estándar

Los *chips* control fueron utilizados para compararlos con los *chips* cubiertos con ambos hidrocoloides. Las muestras control en este experimento absorbieron una baja cantidad de lípidos en comparación con lo reportado por Brenes (2017), en cuya investigación se obtuvo un contenido de lípidos en los *chips* de papaya entre 27-33% para las condiciones óptimas de procesamiento. Esta variación entre el contenido de lípidos de las muestras control de esta investigación y el reportado por Brenes (2017) se puede deber a la época del año en la cual se cultivaron las papayas utilizadas, y se ha demostrado que la composición y otras características de la papaya como la textura varían según la época del año en que se cultivan.

La textura de la papaya es el resultado del contenido de humedad, la composición y la integridad de las paredes celulares de los tejidos. También, los factores ambientales, el manejo de los cultivos (irrigación, nutrición mineral, etc.) y factores genéticos y fisiológicos se encuentran dentro de los principales componentes relacionados con la textura de la fruta (Gonçalves y Pierre 2010). Dentro de los factores ambientales que afectan la textura de la fruta, la intensidad de la luz y la temperatura del crecimiento son los más importantes a considerar. Con respecto a la temperatura, los periodos del año que registran temperaturas moderadas (alrededor de 22 °C) es donde se producen los frutos con mayor firmeza. Esto se deriva de la reducción en el tamaño de la célula que resulta en un tejido más denso que en aquellas desarrolladas a bajas temperaturas (Gonçalves y Pierre 2010).

En este caso, el procesamiento de las papayas se desarrolló en febrero y marzo, donde se presentan temperaturas altas, mientras que el procesamiento de las papayas en la investigación de Brenes (2017) se realizó en el mes de agosto en donde se presentan menores temperaturas. Por lo que es probable que las papayas presentaran una firmeza y composición distintas a las papayas empleadas en esta investigación y, por lo tanto, mayores contenidos de lípidos.

Asimismo, pudieron haber influido las diferencias en el grado de madurez de las papayas utilizadas en las investigaciones, ya que a pesar de emplear papayas en el estado de madurez 4, este comprende un intervalo de madurez determinado mediante el porcentaje de color amarillo en la cáscara de la fruta (41-55%), el cual está estrechamente relacionado con la madurez interna de la papaya (Salazar 2012). No obstante, las papayas pueden tener distinta maduración, a pesar de estar clasificadas dentro de una misma categoría.

A continuación en los **Cuadros XII y XIII** se muestran las variables independientes y los resultados de las variables respuesta obtenidos para la optimización de la reducción de lípidos en el proceso de fritura al vacío de los *chips* de papaya al aplicar la goma guar y la goma xantán como coberturas respectivamente.

Cuadro XII. Variables independientes y resultados obtenidos de las variables respuesta (adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color (ΔE^*) y dureza) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma guar como cobertura.

Trat	Variables independientes		Grado de madurez (%)	Variables dependientes					
	Conc (%)	Tiempo escurrido (s)		Adhesión cob (%)	a_w	Contenido lípidos** (%)	Reducción lípidos** (%)	Color (ΔE^*)	Dureza (N)
1	0,24	13,0	41-55	3,00	0,17 ± 0,03	15,0 ± 0,3	-0,49	7,71	4,0 ± 0,7
2	0,24	52,0	41-50	6,00	0,16 ± 0,01	12,7 ± 0,4	1,78	8,64	5 ± 1
3	0,46	13,0	41-55	5,00	0,15 ± 0,01	16,8 ± 0,2	-2,26	7,00	3 ± 1
4	0,46	52,0	41-51	6,00	0,20 ± 0,01	14,4 ± 0,2	0,15	7,46	4,4 ± 0,9
5	0,20	32,5	41-55	4,00	0,19 ± 0,01	21,3 ± 0,8	-6,81	2,10	4 ± 1
6	0,50	32,5	41-50	6,00	0,19 ± 0,01	17,6 ± 0,4	-3,12	3,47	5,8 ± 0,6
7	0,35	5,0	40-55	4,00	0,16 ± 0,01	21,6 ± 0,3	-7,12	4,30	4,1 ± 0,6
8	0,35	60,0	41-50	2,00	0,158 ± 0,002	14,5 ± 0,6	0,01	3,33	5,2 ± 0,6
9	0,35	32,5	41-55	3,00	0,17 ± 0,02	21,0 ± 0,4	-6,56	2,71	4 ± 1
10	0,35	32,5	41-55	2,00	0,18 ± 0,01	20,6 ± 0,1	-6,12	4,74	3,2 ± 0,8
11**	0,35	32,5	41-51	2,00	0,14 ± 0,01	26,2 ± 0,3	-11,66	5,91	4 ± 1
12	0,35	32,5	41-55	2,00	0,170 ± 0,003	20,6 ± 0,4	-6,13	10,63	3,3 ± 0,8

Trat: tratamiento. Conc: concentración. Cob: cobertura. ΔE^ : diferencia de color con respecto a los *chips* de papaya control. ** Valores reportados en base húmeda. ***El tratamiento 11 fue eliminado del diseño experimental, ya que fue rechazado al utilizar la prueba robusta con un 99% de confianza.

± Desviación estándar

El tratamiento 11 fue eliminado debido a su gran desviación en el contenido de lípidos presentado en los *chips* de papaya, en comparación con los demás puntos centrales del diseño experimental. Se realizó la prueba robusta con los valores obtenidos para el contenido de lípidos de los *chips*, pues es la variable respuesta principal de esta investigación, de los cuatro puntos centrales. El valor del contenido de lípidos de este tratamiento fue rechazado con un 99% de confianza y, por ende, se decidió omitir este punto del diseño experimental.

Cuadro XIII. Variables independientes y resultados obtenidos de las variables respuesta (adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color (ΔE^*) y dureza) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma xantán como cobertura.

Trat	Variables independientes		Grado de madurez (%)	Variables dependientes					
	Conc (%)	Tiempo escurrido (s)		Adhesión cob (%)	a_w	Contenido lípidos** (%)	Reducción lípidos** (%)	Color (ΔE^*)	Dureza (N)
1	0,14	13,0	41-55	4,00	0,171 ± 0,003	27,5 ± 0,2	-13,00	2,58	4,9 ± 0,9
2	0,14	52,0	41-55	2,00	0,16 ± 0,02	32,1 ± 0,5	-17,54	2,80	3,1 ± 0,6
3	0,36	13,0	41-51	14,00	0,19 ± 0,01	10,1 ± 0,4	4,38	7,16	6 ± 2
4	0,36	52,0	41-53	9,00	0,15 ± 0,01	16,2 ± 0,3	-1,68	11,14	5 ± 2
5	0,10	32,5	47-55	3,00	0,17 ± 0,01	24,8 ± 0,9	-10,25	6,29	3,8 ± 0,4
6	0,40	32,5	41-51	14,00	0,17 ± 0,01	13,4 ± 0,2	1,11	0,52	7 ± 1
7	0,25	5,0	47-55	6,00	0,16 ± 0,01	35,9 ± 0,9	-21,42	2,80	4 ± 1
8	0,25	60,0	47-55	9,00	0,15 ± 0,01	9,2 ± 0,4	5,28	7,63	5 ± 2
9	0,25	32,5	41-53	7,00	0,18 ± 0,01	15,5 ± 0,3	-0,95	3,50	4,1 ± 0,5
10	0,25	32,5	41-53	6,00	0,19 ± 0,03	17,6 ± 0,6	-3,10	2,22	5 ± 1
11	0,25	32,5	41-51	10,00	0,13 ± 0,01	12,6 ± 0,1	1,90	2,76	4 ± 1
12	0,25	32,5	47-55	9,00	0,13 ± 0,01	11,5 ± 0,2	3,03	1,86	5 ± 2

*Trat: tratamiento. Conc: concentración. Cob: cobertura. ΔE : diferencia de color con respecto a los *chips* de papaya control. ** Valores reportados en base húmeda.

± Desviación estándar

Adhesión de la cobertura

Goma guar

Para los diferentes tratamientos mostrados en el **Cuadro XII**, se esperaba obtener una mayor adhesión de la cobertura al aumentar la concentración de hidrocoloide y disminuir el tiempo de escurrido. Sin embargo, se puede observar que la adhesión de la cobertura

para los diferentes tratamientos varía de 2% a 6%, sin presentar una tendencia clara en los valores obtenidos, solamente para las mayores concentraciones (0,46% y 0,50%) se obtuvieron altos valores de adhesión de la cobertura.

Esta ausencia de una tendencia clara en la adhesión de la cobertura se puede deber a la variación en el tamaño y forma de las rebanadas de papaya en los diferentes tratamientos, pues a pesar de que la papaya se rebanó con el mismo equipo, las rebanadas no resultaron completamente iguales, lo cual genera que no se adhiera la misma cantidad de cobertura en cada rebanada de papaya. De igual forma, pudo haber influido la posición y el acomodo de las rebanadas de papaya durante la inmersión en las dispersiones y posteriormente al colocarlas en el escurridor, pues como menciona Villalobos *et al.* (2009), afecta la distribución de la cobertura en las rebanadas, pudiendo quedar espacios sin cubrir, lo cual afectó el porcentaje de adhesión de la cobertura obtenido para cada tratamiento.

Goma xantán

Como se observa en el **Cuadro XIII**, se obtuvo una mayor adhesión de la cobertura, conforme aumentó la concentración, debido a un aumento de viscosidad de las dispersiones. Además, en la mayoría de los tratamientos al disminuir el tiempo de escurrido, se obtuvieron mayores valores de adhesión de la cobertura como se esperaba, a excepción de los tratamientos del 8 al 12, pues al utilizar un mayor tiempo de escurrido en el tratamiento 8, no se obtuvo un menor porcentaje de adhesión. De igual forma, al emplear la misma concentración y el mismo tiempo de escurrido en los tratamientos del 9 al 12, no presentaron igual adhesión de la cobertura. Esto puede deberse a la distribución de la cobertura en los *chips* y a la pérdida de pequeños pedazos de papaya durante el proceso de inmersión y escurrido, como ocurrió para la goma guar.

Actividad de agua

La actividad de agua (a_w) de los *chips* cubiertos con las dos gomas no presentó una tendencia clara para los diferentes tratamientos. Se esperaba que a mayor adhesión de la cobertura se obtuviera una mayor actividad de agua, debido a la retención de agua en las coberturas, la cual corresponde a agua disponible.

No obstante, es probable que las variaciones se deban a las diferencias en la composición, según el grado de madurez de las frutas. Los valores obtenidos se encuentran entre 0,15 y 0,20 para la goma guar y entre 0,13 y 0,18 para la goma xantán, los cuales son bajos y se asemejan al a_w de *chips* que se encuentran en el mercado como las papas fritas clásicas marca *Lay's* y marca *Ruffles* que presentan un a_w de 0,1650 y 0,1820, respectivamente (Schmidt y Fontana 2007). Además, según lo reportado por Brenes (2017), los *chips* de papaya fritos al vacío en las condiciones óptimas de proceso presentaron un a_w de $0,18 \pm 0,05$ y el a_w de los *chips* obtenidos del tratamiento control, mostrado en el **Cuadro XI** fue similar a los *chips* cubiertos con goma guar y goma xantán.

La actividad de agua afecta la estabilidad de los productos deshidratados debido a que influye en la generación de reacciones químicas, y en la actividad microbiológica del alimento. El valor límite de a_w para el crecimiento de cualquier microorganismo es alrededor de 0,60. Por debajo de este valor, el deterioro de los alimentos se debe principalmente a reacciones enzimáticas y químicas, como la oxidación (Dueik *et al.* 2010).

Por lo tanto, por su bajo a_w los *chips* de papaya con las coberturas de goma guar y goma xantán pueden presentar una larga vida útil. Siempre y cuando se utilice un empaque adecuado que proteja al producto contra la humedad, oxígeno y la luz, para evitar la generación de reacciones enzimáticas y químicas que causen su deterioro, así como de la vibración, los golpes y el mal manejo durante su distribución y almacenamiento (Fan *et al.* 2009).

Contenido de lípidos

Goma guar

No se observa una tendencia clara del contenido de lípidos en los distintos tratamientos aplicados. Se esperaba que a mayor adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya se obtuviera un menor contenido de lípidos, sin embargo, los resultados no mostraron esta tendencia, pues aquellos tratamientos en donde se presentó la mayor adhesión de la cobertura (6%) no presentaron los menores contenidos de lípidos en los *chips* de papaya.

Esta variación en el contenido de lípidos de los *chips* se puede deber a las diferencias en el grado de madurez de las papayas utilizadas en cada tratamiento, pues a pesar de emplear papayas en el estado de madurez 4, este comprende un intervalo de madurez, determinado mediante el porcentaje de color amarillo en la cáscara de la fruta (41-55%), el cual está estrechamente relacionado con la madurez interna de la papaya (Salazar 2012). No obstante, las papayas pueden tener distinta maduración, a pesar de estar clasificadas dentro de una misma categoría, como en este caso. El intervalo del grado de madurez de las papayas empleadas en cada tratamiento se muestra en el **Cuadro XII**.

Esta diferencia de la madurez de las papayas, aunque sea leve produce cambios como la pérdida de firmeza, favorecida por la acción de enzimas como las hidrolasas, que degradan los hidratos de carbono poliméricos, principalmente los de las sustancias pécticas y las hemicelulosas, lo que debilita las paredes celulares y la fuerza en que se mantienen unidas las células (Umaña *et al.* 2011), así como su composición química, lo cual afecta la absorción de aceite durante la fritura. En el caso de la papaya híbrido Pococí, en estado de madurez 4, la firmeza de la pulpa puede variar de 29 a 59 N (Calvo y Salazar s.f.).

La variación en la maduración de las papayas pudo también haber afectado la porosidad en la superficie de los *chips*, y por ende afectar el contenido final de lípidos, ya que los cambios en la microestructura de la corteza del alimento, es uno de los aspectos más

importantes a considerar durante la fritura, pues se ha considerado el factor clave relacionado con la absorción de aceite (Dueik *et al.* 2012). Por lo tanto, se deben tomar en cuenta las diferencias en la porosidad del producto (Dueik *et al.* 2012), ya que determinan el área superficial expuesta para la absorción de aceite durante el proceso de fritura.

Por otra parte, la goma guar es poco estable en procesos que involucren altas temperaturas, pues el calor produce la despolimerización de su estructura provocando una considerable reducción en la viscosidad. Por ejemplo, en un tratamiento térmico a una temperatura de 120 °C por 10 minutos, se pierde un 10% de la viscosidad de las dispersiones de goma guar (Imeson 1999). En este caso, el proceso de fritura se realizó a una temperatura similar por un mayor tiempo, por lo que es posible que la viscosidad de la cobertura de goma guar disminuyera, afectando su adhesión a las rebanadas de papaya y produciendo pérdida de la misma, lo cual no permitió reducir la absorción de aceite en los *chips*.

Goma xantán

Con respecto al contenido de lípidos, se observa que los tratamientos con mayores porcentajes de adhesión de la cobertura presentaron los menores contenidos de lípidos, como se esperaba, ya que la cobertura evita la pérdida de agua de la papaya en forma en vapor, y por ende, la entrada de aceite en los poros vacíos (Varela y Fizman 2011). Además, se observa que los tratamientos cuyos porcentajes de adhesión de la cobertura fueron menores a 6%, obtuvieron contenidos de lípidos superiores a 17%, alcanzando hasta 35%, por lo que los porcentajes de adhesión de la cobertura bajos no logran una disminución en la absorción de aceite de los *chips* de papaya.

Al igual que los ensayos desarrollados con goma guar, un mayor grado de madurez de las papayas pudo haber influido en la obtención de un mayor contenido de lípidos, por un aumento en la porosidad de la fruta. Esto se puede corroborar con los tratamientos 7 y 10, para los cuales se obtuvo la misma adhesión de la cobertura (6%), sin embargo, se

muestra un contenido de lípidos mucho mayor para el tratamiento 7, para el cual se utilizaron papayas con un grado de madurez mayor que el tratamiento 10.

Reducción del contenido de lípidos

Goma guar

Como se aprecia en el **Cuadro XII**, se produjo una reducción en el contenido de lípidos en los tratamientos 2 y 4 con respecto a las muestras control, los cuales presentaron la mayor adhesión de la cobertura (6%). Sin embargo, las muestras control en este experimento absorbieron una baja cantidad de lípidos en comparación con lo reportado por Brenes (2017), en cuya investigación se obtuvo un contenido de lípidos en los *chips* de papaya entre 27-33% para las mismas condiciones de procesamiento empleadas en este estudio, por lo que en comparación con estos *chips* se obtuvo hasta un 20% menos en el contenido de lípidos en los *chips* con la cobertura de goma guar.

Goma xantán

Como se aprecia, se produjo una reducción en el contenido de lípidos en los tratamientos 3, 6, 8, 11 y 12 donde la mayor reducción fue de 5,28%, con respecto a las muestras control. Sin embargo, en comparación con el contenido de lípidos de los *chips* de papaya obtenidos en la investigación de Brenes (2017) se obtuvo aproximadamente hasta un 70% menos en el contenido de lípidos de los *chips* con la cobertura de goma xantán.

Color (ΔE^*)

Con respecto a los valores asociados al ΔE^* , que se define como la cuantificación de un cambio en el color (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014), en este caso entre los *chips* cubiertos con goma guar y goma xantán y los *chips* control (sin cobertura). De modo que, si al calcular ΔE^* el valor es menor a 5, la diferencia de color entre las muestras es imperceptible para el ojo humano, es decir, se perciben las muestras del mismo color. Si por el contrario ΔE^* es mayor a 5, la diferencia de color sí es perceptible por el ojo humano y el consumidor notará la diferencia (Núñez 2013).

En este caso, se observa que los valores de ΔE^* para la goma guar varían entre 2 y 10 y para la goma xantán entre 0,5 y 11. Asimismo, no se muestra una tendencia clara de estos valores en relación con el porcentaje de adhesión de la cobertura. Sin embargo, para la goma guar en cinco tratamientos se obtuvo un resultado superior a 5 y para la goma xantán en cuatro tratamientos, lo cual indica que las diferencias entre los *chips* con cobertura y los *chips* sin cobertura sí serían percibidas por el consumidor en estos casos.

Lo anterior podría afectar de manera negativa la percepción del producto, ya que el color es el primer atributo que los consumidores juzgan en un alimento, y se ha demostrado en muchas investigaciones que, al cambiar el color de un alimento sin alterar su forma, aroma u otros atributos de textura, se presenta el rechazo del producto por parte de los consumidores (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014).

Esta ausencia de una tendencia clara en los resultados obtenidos para los distintos tratamientos puede deberse al oscurecimiento de los *chips* conforme se ejecutaron los ensayos, a pesar de utilizar la misma temperatura de fritura. Es probable que este oscurecimiento de los *chips* se deba a pequeñas partículas de papaya que se desprenden durante la fritura y de restos adheridos a la canasta del equipo, los cuales quedaron suspendidos en el aceite, produciendo el oscurecimiento de este y de los *chips*.

De igual manera, las variaciones en el grado de madurez de las papayas pueden haber generado un efecto, puesto que durante la maduración, la pulpa sufre un cambio de color de verde a naranja debido a la degradación de clorofilas y síntesis de carotenoides (pigmentos rojos, naranjas y amarillos) (Umaña *et al.* 2011). Esto afecta la medición del color en las coordenadas a^* y b^* , las cuales van de rojo a verde y de amarillo a azul, respectivamente y, por lo tanto, el valor de ΔE^* (Mathias-Rettig y Ah-Hen 2014).

Otro factor que pudo haber afectado las diferencias de color podría deberse a la incapacidad del equipo de mantener una temperatura constante. Estas variaciones en la

temperatura del aceite eran distintas para cada lote de fritura, por lo que pudo haber provocado más oscurecimiento en un lote de *chips* que en otro.

No obstante, en la mayoría de los tratamientos aplicados se presentó un ΔE^* menor a 5, lo cual es favorable y refleja que para varias combinaciones de concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido no se obtuvieron diferencias en el color de los *chips* cubiertos con respecto a los *chips* control.

Textura (dureza)

Goma guar

Con respecto a la textura de los *chips*, en el **Cuadro XII** se observan los valores de dureza obtenidos. La fuerza máxima de ruptura o dureza es un indicador de la crujencia de los *chips*, puesto que un aumento en la dureza se asocia con una menor crujencia (Sothornvit 2011), ya que es necesario aplicar más fuerza para generar la ruptura de la estructura de los *chips*. Para los diferentes tratamientos aplicados, se obtuvieron valores de dureza entre 3 y 5 N aproximadamente, y en comparación con las muestras control se obtuvo una dureza similar, como se muestra en el **Cuadro XI**.

Goma xantán

En el **Cuadro XIII** se muestra que en cuanto a la textura, se obtuvieron valores de dureza entre 3 y 6 N, y no se observa una tendencia clara de los resultados obtenidos. Sin embargo, para los tratamientos que presentaron el mayor porcentaje de adhesión de la cobertura (14%) se obtuvo un promedio de la dureza de 6 y 7 N, ligeramente superior a los demás tratamientos y a la dureza de los *chips* control, lo que se traduce en una menor crujencia. Esto podría deberse a que la cobertura forma una película rígida y resistente sobre la superficie del alimento, que evita la salida de agua y protege a la estructura de este contra el daño mecánico generado durante la fritura (Maity *et al.* 2015).

Por el contrario, para los *chips* con menor adhesión de la cobertura y para los *chips* sin cobertura no se produjo este efecto, debido a la ruptura de las células y a la degradación

de las sustancias pécticas producto de la fritura, resultando en el debilitamiento de las paredes celulares de la estructura del alimento (Sothornvit 2011), y en algunas ocasiones en la formación de burbujas de aire (Maity *et al.* 2015) y, por lo tanto, más fácil de romper.

La disminución en la crujencia debido a la aplicación de las coberturas se considera un aspecto negativo, debido a que la crujencia es una característica esencial de los *chips* (Ayustaningwarno *et al.* 2018). No obstante, las diferencias en la dureza de los *chips* para los diferentes tratamientos fueron bajas y al ser una medición instrumental no se logra determinar si estas serán percibidas y tendrán un efecto negativo en la percepción de los consumidores.

6.2.3.2. Resultados obtenidos de los parámetros de humedad

A continuación en los **Cuadros XIV** y **XV**, se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de humedad, para la optimización de la reducción de lípidos en el proceso de fritura al vacío de los *chips* de papaya, al aplicar la goma guar y la goma xantán como coberturas.

Cuadro XIV. Resultados obtenidos de parámetros relacionados con la humedad de la materia prima y del producto (humedad de la papaya, humedad de los *chips*, humedad de la papaya con cobertura, retención de humedad antes de la fritura (RHAF), retención de humedad después de la fritura (RHDF), pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* sin y con cobertura (PHDF_{sc} y PHDF_{cc})) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma guar como cobertura.

Trat	Variables independientes		Adhesión cob (%)	Parámetros de humedad						
	Conc (%)	Tiempo escurrido (s)		Hum papaya (%)	Hum papaya con cob (%)	Hum <i>chips</i> (%)	RHAF	RHDF	PHDF _{sc}	PHDF _{cc}
1	0,24	13,0	3,00	85,8 ± 0,2	87,8 ± 0,1	1,2 ± 0,1	0,022	0,43	0,99	0,99
2	0,24	52,0	6,00	85,8 ± 0,3	87,7 ± 0,4	1,5 ± 0,1	0,022	0,85		0,98
3	0,46	13,0	5,00	85,5 ± 0,7	89,3 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,044	0,69		0,98
4	0,46	52,0	6,00	84,7 ± 0,4	87,4 ± 0,3	1,9 ± 0,1	0,031	1,35		0,98
5	0,20	32,5	4,00	85,8 ± 0,2	88,4 ± 0,3	1,7 ± 0,1	0,030	1,15		0,98
6	0,50	32,5	6,00	85,8 ± 0,3	88,55 ± 0,04	1,5 ± 0,2	0,032	0,92		0,98
7	0,35	5,0	4,00	85,8 ± 0,2	87,8 ± 0,3	0,7 ± 0,1	0,023	-0,09		0,99
8	0,35	60,0	2,00	85,8 ± 0,3	88,7 ± 0,1	1,0 ± 0,2	0,033	0,20		0,99
9	0,35	32,5	3,00	85,5 ± 0,7	88,9 ± 0,3	1,0 ± 0,1	0,039	0,25		0,99
10	0,35	32,5	2,00	85,5 ± 0,7	86,3 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,009	0,17		0,99
12	0,35	32,5	2,00	87,6 ± 0,2	88,8 ± 0,4	1,7 ± 0,1	0,014	0,12		0,98

*Trat: tratamiento. Conc: concentración. Hum: humedad. Cob: cobertura. SC: sin cobertura. CC: con cobertura.

**El tratamiento 11 fue eliminado del diseño experimental, ya que fue rechazado al utilizar la prueba robusta con un 99% de confianza.

± Desviación estándar

Cuadro XV. Resultados obtenidos de los parámetros relacionados con la humedad de la materia prima y del producto (humedad de la papaya, humedad de la papaya con cobertura, retención de humedad antes de la fritura (RHAF), retención de humedad después de la fritura (RHDF), pérdida de humedad durante la fritura de los *chips* sin y con cobertura (PHDF_{sc} y PHDF_{cc}) para la optimización de la reducción de lípidos en los *chips* de papaya al emplear la goma xantán como cobertura.

Trat	Variables independientes		Adhesión cob (%)	Parámetros de humedad						
	Conc (%)	Tiempo escurrido (s)		Hum papaya (%)	Hum papaya con cob (%)	Hum chips (%)	RHAF	RHDF	PHDF _{sc}	PHDF _{cc}
1	0,14	13,0	4,00	87,6 ± 0,2	88,7 ± 0,3	1,0 ± 0,1	0,013	0,20	0,99	0,99
2	0,14	52,0	2,00	87,6 ± 0,2	87,9 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,003	-0,19		0,99
3	0,36	13,0	14,00	83,4 ± 0,3	86,9 ± 0,3	2,6 ± 0,1	0,042	2,20		0,97
4	0,36	52,0	9,00	84,8 ± 0,2	87,7 ± 0,6	2,3 ± 0,1	0,034	1,88		0,97
5	0,10	32,5	3,00	86,1 ± 0,2	88,21 ± 0,02	1,8 ± 0,1	0,025	1,28		0,98
6	0,40	32,5	14,00	83,4 ± 0,3	87,4 ± 0,7	2,05 ± 0,02	0,048	1,56		0,98
7	0,25	5,0	6,00	86,1 ± 0,2	89,4 ± 0,2	0,9 ± 0,1	0,038	0,15		0,99
8	0,25	60,0	9,00	84,3 ± 0,2	86 ± 1	1,2 ± 0,1	0,025	0,55		0,99
9	0,25	32,5	7,00	84,8 ± 0,2	87,1 ± 0,5	1,53 ± 0,01	0,028	0,91		0,98
10	0,25	32,5	6,00	84,8 ± 0,2	86,8 ± 0,4	1,1 ± 0,1	0,024	0,33		0,99
11	0,25	32,5	10,00	83,4 ± 0,3	86,7 ± 0,5	1,3 ± 0,1	0,041	0,58		0,99
12	0,25	32,5	9,00	84,3 ± 0,2	86 ± 1	1,4 ± 0,2	0,020	0,70		0,98

*Trat: tratamiento. Conc: concentración. Hum: humedad. Cob: cobertura. SC: sin cobertura. CC: con cobertura.

± Desviación estándar

Humedad de la papaya fresca sin y con cobertura y RHAF

Se puede observar que, para todos los tratamientos, la humedad de la papaya fresca aumentó al aplicarle las coberturas de goma guar y goma xantán, esto se evidencia también con los valores obtenidos para la retención de humedad antes de la fritura (RHAF) los cuales fueron mayores a cero en todos los casos, puesto que los hidrocoloides ligan el agua al formar las dispersiones (Varela y Fiszman 2011). Para la goma xantán, en los tratamientos con mayor adhesión de la cobertura (14%), se obtuvieron los mayores valores de RHAF debido a una mayor retención del agua en la cobertura.

Humedad de los *chips* y RHDF

También, se observa que en la mayoría de los tratamientos, tanto para la goma guar como la goma xantán, se obtuvieron valores de retención de humedad después de la fritura

(RHDF) mayores a cero, esto se debe a que las coberturas funcionan como una barrera que minimiza la pérdida de agua que sale de los poros del alimento durante la fritura (Varela y Fiszman 2011), resultando en una mayor retención de agua en comparación con los *chips* control.

Goma guar

Únicamente en el tratamiento 7 se obtuvo un valor de RHDF menor a 0, lo cual se considera un valor atípico, ya que la cobertura funciona como una barrera que retiene el agua que sale del producto (Varela y Fiszman 2011), como se observa en los demás tratamientos. Asimismo, los tratamientos del 2 al 6 presentaron mayores valores de RHDF debido a mayores porcentajes de adhesión de la cobertura en estos.

En relación con la RHDF, se evidencia la retención de agua debida a las coberturas en el proceso de fritura, pues en comparación con los *chips* control, se obtuvieron *chips* más húmedos. De igual manera, los *chips* de los tratamientos del 2 al 6 presentaron un mayor contenido de humedad, puesto que la adhesión de la cobertura en los mismos fue mayor que en los demás tratamientos.

Goma xantán

Únicamente en el tratamiento 2 se obtuvo un valor de RHDF menor a 0, ya que al presentar un porcentaje de adhesión de la cobertura tan bajo, probablemente la cobertura que se forma no es suficiente para que funcione como barrera que disminuya la salida de agua.

En relación con la RHDF, en el contenido de humedad de los *chips* se evidencia esta retención de agua debida a las coberturas en el proceso de fritura, pues en comparación con los *chips* control, para la mayoría de los tratamientos se obtuvieron *chips* más húmedos, a excepción del tratamiento 2, pues en este caso la cobertura no retuvo el agua produciendo una mayor deshidratación de los *chips*. De igual manera, los *chips* de los tratamientos 3, 4 y 6 presentaron los mayores contenidos de humedad, puesto que la adhesión de la cobertura en los mismos fue mayor que en los demás tratamientos.

PHDF_{SC} y PHDF_{CC}

Por otra parte, la razón de la pérdida de humedad durante la fritura en los *chips* sin cobertura (PHDF_{SC}) fue cercano a 1, ya que durante la fritura se produce la pérdida de agua presente en los poros del alimento en forma de vapor, logrando una deshidratación casi completa del producto (Bordin *et al.* 2013). También, el parámetro de la pérdida de humedad durante la fritura en los *chips* con cobertura (PHDF_{CC}) fue similar a la PHDF_{SC}, a excepción de los tratamientos del 2 al 6 para la goma guar y a excepción de los tratamientos 3, 4, 6, 9 y 12 para la goma xantán, en donde fue ligeramente menor, pues como se mencionó anteriormente, presentaron una mayor adhesión de la cobertura, logrando una mayor retención del agua. La similitud entre la PHDF_{SC} y PHDF_{CC} refleja que las coberturas de goma guar y de goma xantán no afectaron considerablemente la deshidratación de las rebanadas de papaya.

También, se observa que en la mayoría de los tratamientos se obtuvieron valores de retención de humedad después de la fritura (RHDF) mayores a cero, esto se debe a que las coberturas funcionan como una barrera que minimiza la pérdida de agua que sale de los poros del alimento durante la fritura (Varela y Fiszman 2011), resultando en una mayor retención de agua en comparación con los *chips* control.

6.2.3.3. Significancia de los modelos generados con la metodología de superficie de respuesta

Para el análisis de los datos obtenidos de las variables respuesta, al utilizar la goma guar y la goma xantán como coberturas en los *chips* de papaya, se aplicó la metodología de superficie de respuesta (MSR) empleando el diseño central compuesto rotatable. Los factores del diseño fueron la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido, cuyas condiciones fueron optimizadas en función de las variables respuesta (adhesión de la cobertura, humedad de los *chips*, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color (ΔE^*) y dureza).

La probabilidad del modelo (p), la probabilidad de la falta de ajuste (p_{fa}), el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y la distribución del diagrama de residuos del diseño experimental, al utilizar la goma guar y la goma xantán como coberturas en los *chips* de papaya fritos al vacío se muestra a continuación en los **Cuadros XVI y XVII** respectivamente.

Cuadro XVI. Diagnósticos de los modelos generados para las variables respuesta analizadas aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotatable, al utilizar la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Variable respuesta	p del modelo	p de falta de ajuste	R^2	R^2_{adj}	Distribución del gráfico de residuos
Adhesión de la cobertura (%)	0,02	0,2	0,46	0,40	Aleatorio
a_w	0,03	0,06	0,81	0,68	Aleatorio
Contenido de lípidos (%)	0,09	0,007	0,58	0,40	Aleatorio
Reducción del contenido de lípidos (%)	0,09	0,007	0,58	0,40	Aleatorio
Dureza (N)	0,07	0,2	0,61	0,45	Aleatorio

Cuadro XVII. Diagnósticos de los modelos generados para las variables respuesta analizadas aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotatable, al utilizar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Variable respuesta	p del modelo	p de falta de ajuste	R ²	R ² _{adj}	Distribución del gráfico de residuos
Adhesión de la cobertura (%)	< 0,0001	0,6	0,81	0,79	Aleatorio
Humedad de <i>chips</i> (%)	0,01	0,09	0,64	0,56	Aleatorio
Contenido de lípidos (%)	0,08	0,05	0,56	0,39	Aleatorio
Reducción del contenido de lípidos (%)	0,08	0,05	0,56	0,39	Aleatorio
Color (ΔE^*)	0,3	0,01	0,34	0,09	Aleatorio
Dureza (N)	0,003	0,2	0,59	0,55	Aleatorio

Probabilidad del modelo

Se puede observar que, los modelos significativos ($p < 0,05$) corresponden a las variables de adhesión de la cobertura y a_w para la goma guar y la adhesión de la cobertura, humedad de los *chips* y dureza para la goma xantán. Para la goma guar, no se incluyeron las variables de humedad de los *chips* y ΔE^* y para la goma xantán la variable de a_w , ya que el programa Statistica 7 (Statsoft®, USA) no generó un modelo para describir el comportamiento de estas variables respuesta, es decir, que estas variables no son afectadas por los factores evaluados.

Probabilidad de falta de ajuste

La probabilidad de falta de ajuste permite determinar si el modelo se ajusta a los datos con exactitud. Si el valor de p es menor o igual a 0,05 se concluye que el modelo no se ajusta a los datos con exactitud y es necesario obtener un mejor modelo que se ajuste a los datos en estudio y, por el contrario, si el valor de p es mayor a 0,05 el modelo no

presenta falta de ajuste, esto para análisis realizados al 95% de confianza (Minitab Statistical Software 2019). Para la goma guar, se observa que las variables respuesta que presentaron un valor de p mayor a 0,05 fueron la adhesión de la cobertura, a_w y dureza y para la goma xantán la adhesión de la cobertura, humedad de los *chips* y dureza, lo que significa que el modelo generado para estas variables no presenta falta de ajuste para los datos obtenidos.

Coefficiente de determinación

Por otro lado, el coeficiente de determinación (R^2) indica el porcentaje de la variación total en la variable Y (datos experimentales) que el modelo generado es capaz de explicar. Si el modelo tiene un ajuste suficientemente bueno, es debido a que este explica buena parte de la variación que Y experimenta a lo largo de la muestra, los residuos serán generalmente pequeños, la variación explicada en Y será un porcentaje elevado de su variación muestral total, y el coeficiente de variación será próximo a la unidad, de lo contrario, será próximo a cero (Novales 2010). Para los modelos generados en estas pruebas, se decide aceptar un coeficiente de determinación mayor a 80%, ya que se considera que es un R^2 adecuado como lo menciona Rumsey (2007). Por lo tanto, en este caso únicamente para la actividad de agua (a_w) se generó un modelo significativo y con buen ajuste para la goma guar y la adhesión de la cobertura para la goma xantán, ya que pueden explicar el 81% de las variaciones de los resultados obtenidos.

Distribución del gráfico de residuos

Por lo que respecta al supuesto de aleatoriedad de los residuos, se espera que el gráfico de dispersión entre los valores observados y los valores predichos no muestre ningún tipo de patrón, pues, en caso contrario indicaría la existencia de otra variable independiente que no se ha considerado en la especificación del modelo de regresión, que ayuda a describir el comportamiento de la variable dependiente (Salafranca *et al.* 2005). El gráfico de residuos obtenido para cada una de las variables presentó una distribución al azar de los puntos alrededor de la recta, sin ningún patrón específico, por lo que se definió como una distribución aleatoria para ambos hidrocoloides.

Modelos generados

Un polinomio de segundo orden de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * Cn + \beta_{11} * Cn^2 + \beta_2 * t + \beta_{22} * t^2 + \beta_{12} * Cn * t$$

fue ajustado a los datos de las diferentes variables respuesta evaluadas, donde Y representa el valor de cada variable respuesta, β_k los coeficientes de regresión del modelo y Cn y t la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido, respectivamente.

Goma guar

El modelo generado para la actividad de agua (a_w) al utilizar la goma guar como cobertura se muestra a continuación:

$$a_w = 0,172467 + 0,016962Cn^2 + 0,011093t - 0,015321t^2 + 0,027867Cn * t \quad (12)$$

Se observa que para el a_w los efectos significativos ($p < 0,05$) fueron la concentración en términos cuadráticos, el tiempo de escurrido en términos lineales y cuadráticos y la interacción entre ambos, con valores positivos a excepción del tiempo en términos cuadráticos. La interacción entre la concentración y el tiempo de escurrido presentó el efecto más importante, e indica que el efecto de la concentración de hidrocoloide cambia dependiendo del nivel del tiempo de escurrido y viceversa (León y Montero 2001).

A continuación, en la **Figura 18** se muestra de manera gráfica el efecto de la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido sobre el a_w de los *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma guar.

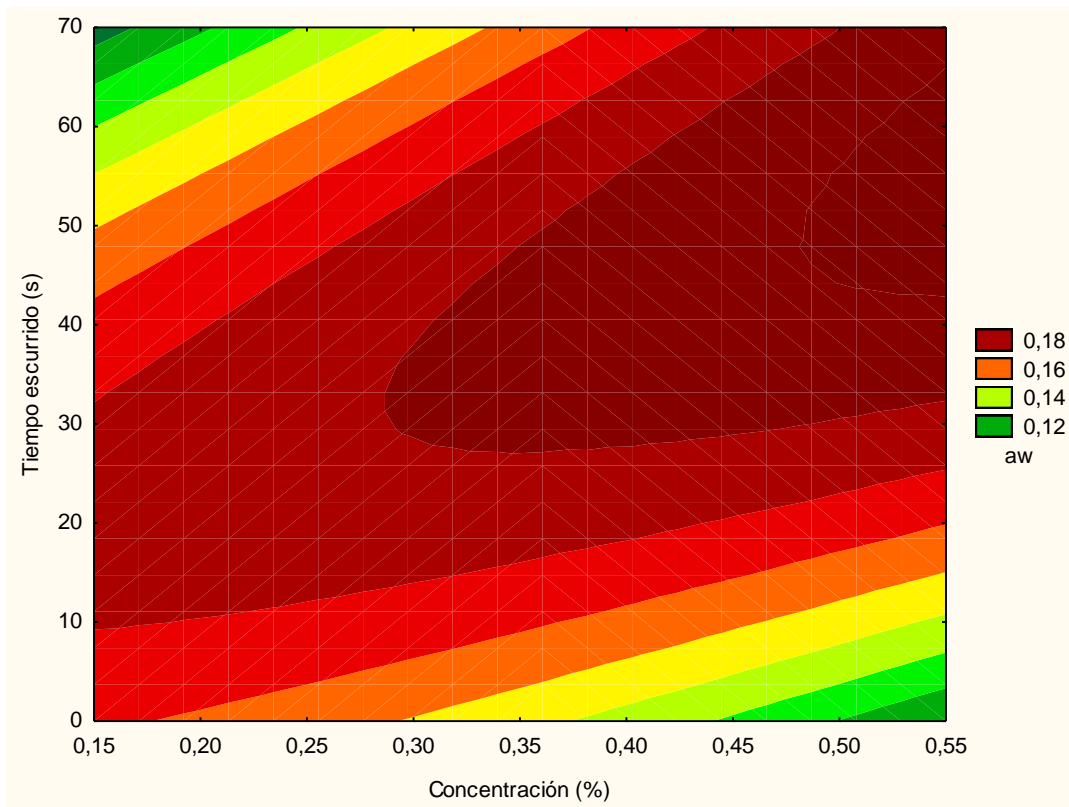


Figura 18. Efecto de la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido sobre el a_w de los *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma guar.

En la **Figura 18** no se muestra una tendencia clara del a_w de los chips, sin embargo, los mayores valores de a_w se presentaron al emplear las mayores concentraciones de hidrocoloide, con tiempos de escurrido entre 40 y 60 s y los menores valores de a_w al emplear las condiciones extremas (áreas de color verde).

Goma xantán

El modelo generado para la adhesión de la cobertura al utilizar la goma xantán como cobertura se muestra a continuación:

$$\text{Adhesión cobertura (\%)} = 7,750000 + 8,139087Cn \quad (13)$$

Se observa que la concentración de hidrocoloide en las dispersiones afectó significativamente la adhesión de la cobertura en términos lineales con un valor positivo, es decir, se presenta un aumento en la adhesión de la cobertura al aumentar la

concentración. Además, no se observó efecto significativo de la concentración en términos cuadráticos, tampoco del tiempo de escurrido ni de la interacción entre ambos.

Se esperaba que con una mayor concentración de hidrocoloide y un menor tiempo de escurrido se obtuviera una mayor adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya; sin embargo, no se observó una tendencia en la interacción de ambos factores, probablemente debido a las diferencias en la distribución de la cobertura en las rebanadas lo cual afectó la adhesión de la cobertura obtenida para cada tratamiento (Villalobos *et al.* 2009).

Por lo tanto, es posible que los valores del tiempo de escurrido empleados en el diseño experimental, no fueron lo suficientemente grandes para lograr un efecto en la adhesión de la cobertura de la goma xantán. Asimismo, se esperaba esta dependencia de la adhesión de la cobertura a la concentración, ya que al aumentar la concentración de hidrocoloide, aumenta la viscosidad de la dispersión y por ende, se obtiene una mayor adhesión, por el contrario a bajas concentraciones se forma una cobertura delgada, débil y porosa (Varela y Fiszman 2011).

A continuación en la **Figura 19** se muestra de manera gráfica el efecto de la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido sobre la adhesión de la cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma xantán.

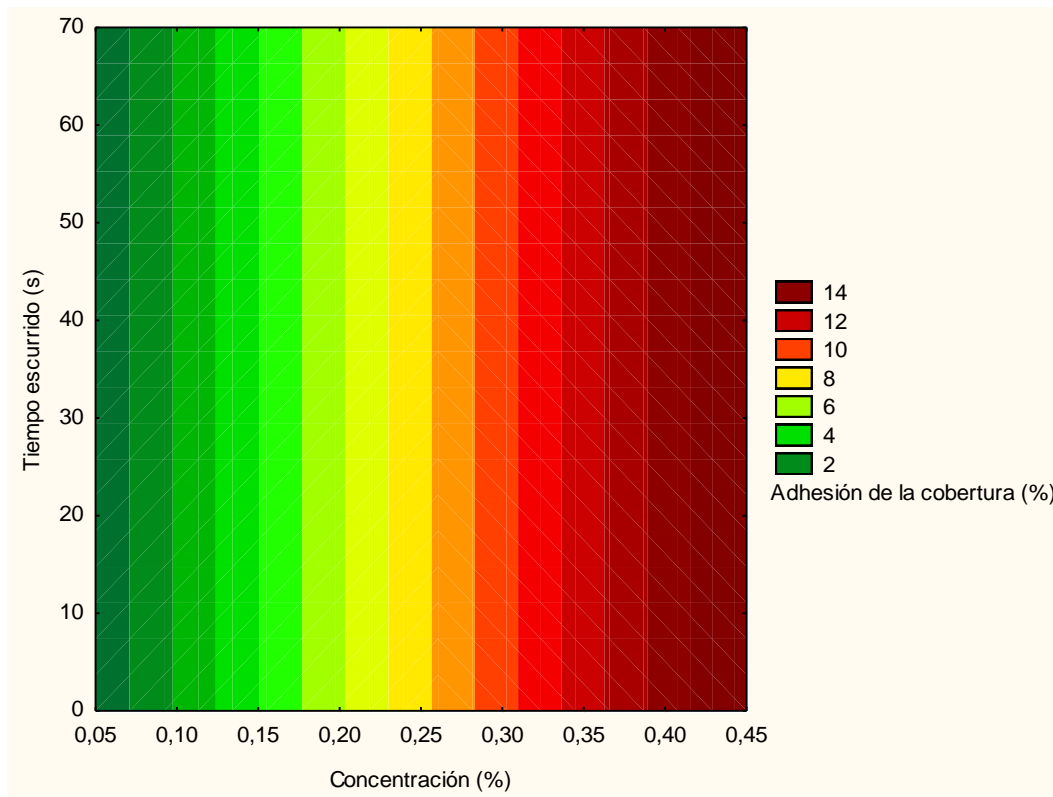


Figura 19. Efecto de la concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido sobre la adhesión de la cobertura de goma xantán en los *chips* de papaya fritos al vacío.

En la **Figura 19** se muestra que el tiempo de escurrido no presentó ningún efecto sobre la adhesión de la cobertura, mientras que esta mostró una tendencia creciente al aumentar la concentración de hidrocoloide, como lo describe la ecuación.

6.2.3.4. Condiciones óptimas

A partir de los resultados presentados anteriormente en los gráficos de contorno de las **Figuras 18** y **19**, se definieron los valores de los factores analizados (concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido) dentro de los cuales se obtienen los *chips* de papaya fritos al vacío con cobertura con a_w y adhesión de la cobertura deseados para la goma guar y la goma xantán, respectivamente.

Goma guar

A continuación, en el **Cuadro XVIII** se observan los valores de la optimización al utilizar la goma guar como cobertura.

Cuadro XVIII. Valores de los factores de concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido para la obtención de las condiciones óptimas para el a_w en los *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma guar.

Variable respuesta	Factores	
	Concentración de hidrocoloide (%)	Tiempo de escurrido (s)
a_w	0,20	60

En este caso, se minimizó el a_w con el fin de obtener un producto poco susceptible al crecimiento de los microorganismos patógenos y de deterioro. Los valores más bajos de a_w se presentaron para distintas condiciones que se concentran en dos áreas como se observa en la **Figura 18**, un área es para las concentraciones de 0,20% o menos y tiempos de escurrido de 60 s o más, y la segunda área para las concentraciones de 0,45% o más y tiempos de escurrido menores a 5 s.

En este caso se eligieron las condiciones óptimas de 0,20% y 60 s debido a que los tiempos de escurrido menores a 5 s no fueron evaluados en el diseño experimental y no es posible realizar una extrapolación, ya que el modelo no está diseñado para realizar esta función.

Goma xantán

A continuación, en el **Cuadro XIX** se observan los valores de la optimización al utilizar la goma xantán como cobertura.

Cuadro XIX. Valores de los factores de concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido, para la obtención de las condiciones deseadas de la adhesión de la cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma xantán.

Variable respuesta	Factores	
	Concentración de hidrocoloide (%)	Tiempo de escurrido (s)
Adhesión de la cobertura	0,40	5

En este caso, se maximizó la adhesión de la cobertura, con el fin de tener una cobertura que logre una mayor retención de agua dentro de las rebanadas de papaya, y por lo tanto una menor absorción de aceite durante la fritura, lo cual se observó en los resultados obtenidos para los distintos tratamientos aplicados.

Esto se logró al emplear la mayor concentración de hidrocoloide y, como se observa en la **Figura 19**, el tiempo de escurrido no influyó en la optimización del proceso; por esta razón, se recomienda utilizar el valor mínimo del tiempo de escurrido (5 s), para obtener una mayor eficiencia en el proceso.

6.2.3.5. Validación del modelo

Goma guar

No se realizó la validación del modelo, ya que anteriormente se observó que la variable respuesta de a_w no presentó grandes diferencias entre los tratamientos aplicados y además, el máximo valor obtenido fue de 0,20 por lo que se considera un producto muy estable.

Por otra parte, no existe relación entre la actividad de agua y el contenido de lípidos de los *chips* de papaya, por lo que la validación de esta variable respuesta no representa gran relevancia para los fines de esta investigación.

Goma xantán

Con el fin de validar los resultados de adhesión de la cobertura, se utilizaron las condiciones de concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido que permiten obtener las condiciones deseadas. Por lo tanto, se utilizó una concentración de hidrocoloide de 0,40% y un tiempo de escurrido de 5 s. Para ello se realizó la medición de la adhesión de la cobertura por triplicado.

A continuación, en el **Cuadro XX** se muestran los resultados obtenidos al utilizar las condiciones establecidas como óptimas, en el proceso de elaboración de los *chips* de papaya cubiertos con goma xantán.

Cuadro XX. Valor experimental y valor estimado de adhesión de la cobertura a partir del modelo generado con la metodología de superficie de respuesta, empleando las condiciones óptimas.

Valor estimado (%)	Valor experimental*
11 ± 3	11 ± 1

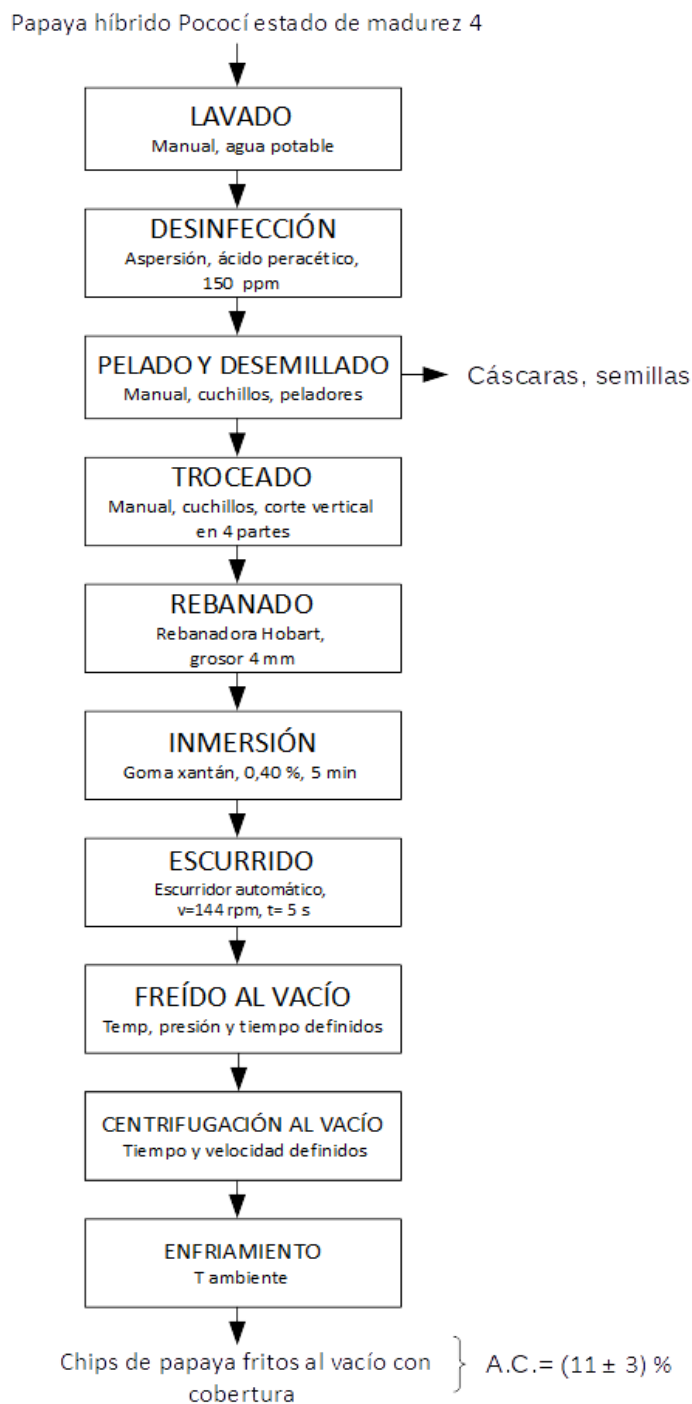
*Valor expresado como promedio ± intervalo de confianza (n=3), con un nivel de confianza de 95%.

De acuerdo con lo mostrado en el **Cuadro XX**, es posible evidenciar el traslape de los valores y sus intervalos de confianza, para el resultado experimental de adhesión de cobertura, bajo las condiciones de validación, y el valor calculado a partir del modelo generado. Por lo tanto, el modelo generado es capaz de predecir de forma adecuada la variable respuesta de la adhesión de la cobertura.

Además, se observó en los diferentes tratamientos aplicados que en aquellos en donde se presentaron las mayores adhesiones de la cobertura también se obtuvieron las mayores reducciones del contenido de lípidos en los *chips* de papaya. Por lo tanto, las variables de la adhesión de la cobertura y el contenido de lípidos están relacionadas.

A continuación, en la **Figura 20** se presenta el flujo del proceso que resume las condiciones que permiten optimizar la adhesión de la cobertura y, con ello reducir la

absorción de aceite durante la fritura, al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.



*A.C.: Adhesión de la cobertura

Figura 20. Flujo del proceso de elaboración de *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma xantán bajo las condiciones de proceso que optimizan la adhesión de la cobertura.

6.2.4. Comparación entre la goma guar y la goma xantán

En la mayoría de los tratamientos, la adhesión de la cobertura fue mayor para la goma xantán que para la goma guar. No obstante, se esperaba que la adhesión de la cobertura en ambos casos fuera similar, ya que se realizó el ajuste de la viscosidad de los dos hidrocoloides, para que las condiciones de aplicación fueran comparables.

Lo anterior podría deberse a dos causas, primero la tensión superficial de la goma xantán es mayor a la de la goma guar. Por ejemplo la tensión superficial para la goma xantán para una concentración de 0,2% y a 25°C es de 76 mN/m (Muthamizhi *et al.* 2014), mientras que para la goma guar bajo las mismas condiciones es de 59 mN/m (Moreira *et al.* 2012), y se ha visto que la tensión superficial puede afectar el espesor y la estructura de la cobertura, y por ende, su adhesión a la superficie del alimento (Villalobos *et al.* 2009). Esto debido a que una mayor tensión superficial produce una mayor cohesividad en las moléculas presentes en la superficie de la cobertura (Muthamizhi *et al.* 2014), por lo que esta se mantiene más adherida a las rebanadas de papaya.

Además, el método para la medición de viscosidad utilizado podría no ser el más adecuado para fluidos no newtonianos, como podrían comportarse los hidrocoloides a las concentraciones empleadas. En principio en esta investigación se iba a utilizar el viscosímetro de Brookfield, sin embargo, no fue posible realizar la medición de dispersiones con baja viscosidad, como las empleadas en esta investigación.

Por esta razón, se utilizó otro método considerando que el esfuerzo cortante ejercido en la pipeta no afectaría considerablemente la viscosidad de las dispersiones al emplear concentraciones tan bajas de los hidrocoloides. No obstante, este esfuerzo cortante ejercido durante el movimiento del fluido en la pipeta pudo haber afectado la medición de la viscosidad, en especial de la goma xantán, puesto que la viscosidad de sus dispersiones se ve mayormente afectada por el esfuerzo cortante en comparación con la goma guar aun al utilizar bajas concentraciones, como lo menciona Imeson (1999).

Por lo tanto, el método de medición pudo haber perjudicado el ajuste realizado de las viscosidades de ambas gomas. De modo que, es posible que las viscosidades medidas hayan sido menores a las reales, ya que al ser fluidos pseudoplásticos disminuye su viscosidad al aumentar el esfuerzo cortante (Imeson 1999), especialmente en las dispersiones de la goma xantán. Y de esta forma, en realidad obtener dispersiones más viscosas que la goma guar y, por lo tanto, una mayor adhesión en las rebanadas de papaya y una mayor reducción del contenido de lípidos en los *chips* de papaya.

Por otra parte, la goma guar es inestable a altas temperaturas, por lo que es posible que se perdiera parte de la cobertura durante el proceso de fritura, como se mencionó anteriormente; mientras que la estabilidad de la goma xantán no se ve afectada con la temperatura como lo explica Imeson (1999).

A continuación en el **Cuadro XXI** se presentan las condiciones de aplicación de las coberturas de goma guar y goma xantán para las cuales se obtuvieron las mayores reducciones del contenido de lípidos en los *chips* de papaya.

Cuadro XXI. Condiciones de aplicación (concentración de hidrocoloide y tiempo de escurrido) de las coberturas de goma guar y goma xantán para las cuales se obtuvieron las mayores reducciones del contenido de lípidos en los *chips* de papaya.

Hidrocoloide	Concentración (%)	Tiempo escurrido (s)	Adhesión de la cobertura (%)	Reducción del contenido de lípidos (%)
Goma guar	0,24	52,0	6,00	1,78
Goma xantán	0,25	60,0	9,00	5,28

Como se observa en el **Cuadro XXI** las condiciones de aplicación para las cuales se presentaron las mayores reducciones del contenido de lípidos fueron similares para ambos hidrocoloides. Asimismo, en estos tratamientos se presentaron altas adhesiones de la cobertura, lo que produjo un menor contenido de lípidos en los *chips* de papaya cubiertos comparados con los *chips* control (sin cobertura).

De igual forma, se muestra que al utilizar la goma xantán como cobertura se obtuvo una mayor reducción en el contenido de lípidos que al emplear la goma guar.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- En general, en los tratamientos con adhesiones de cobertura de 6%, la goma guar permitió una reducción del contenido de lípidos en los *chips* de papaya de 0,15 y 1,78%.
- En términos globales, en los tratamientos con adhesiones de cobertura iguales o superiores a 9%, la goma xantán permitió una reducción del contenido de lípidos en los *chips* de papaya entre 1,11 y 5,28%.
- La concentración de hidrocoloide y el tiempo de escurrido para los cuales se obtuvieron las mayores reducciones del contenido de lípidos en los *chips* de papaya al utilizar las coberturas de goma guar y goma xantán fueron 0,24% y 52 s y 0,25% y 60 s, respectivamente.
- Para las condiciones de mayor adhesión de la cobertura, la goma xantán presentó una mayor reducción del contenido de lípidos al aplicarla como cobertura en las rebanadas de papaya que la goma guar.
- Según el modelo validado, bajo las condiciones evaluadas para la goma xantán, es posible predecir la adhesión de la cobertura en los *chips* de papaya.
- A partir del modelo generado se establece que para la obtención de *chips* de papaya fritos al vacío cubiertos con goma xantán, con valores de adhesión de la cobertura deseables, las condiciones óptimas de la concentración de hidrocoloide y del tiempo de escurrido son de 0,40% y 5 s.
- Al utilizar la metodología de superficie de respuesta con el DCCR, no fue posible identificar las condiciones óptimas de la aplicación de las coberturas para la

reducción del contenido de lípidos en los *chips* de papaya para los hidrocoloides evaluados.

- Según los resultados obtenidos, se considera que el grado de madurez de la papaya es un factor que afecta considerablemente la absorción de aceite durante la fritura y por lo tanto, el contenido de lípidos de los *chips*.

7.2. Recomendaciones

- Realizar la medición de la viscosidad de las dispersiones de los hidrocoloides con un método e instrumento específicos para fluidos no newtonianos como el viscosímetro Brookfield o un reómetro, con el fin de obtener resultados más exactos de la viscosidad.
- Utilizar mayores concentraciones de los hidrocoloides, con el fin de obtener una mayor adhesión de la cobertura en las rebanadas de papaya y lograr una mayor reducción en el contenido de lípidos de los *chips* de papaya fritos al vacío.
- Emplear un mayor rango del tiempo de escurrido para determinar si produce un mayor efecto en el contenido de lípidos de los *chips* de papaya con cobertura.
- Con el fin de disminuir la variabilidad de los resultados producida por el grado de madurez, se recomienda utilizar papayas con un grado de madurez entre 41 y 45% (Salazar 2012) para que estas presenten una estructura y composición similar. También, otra alternativa es definir el grado de madurez de las papayas como un factor para evaluar su efecto sobre las variables respuesta.
- Emplear otro indicador del grado de madurez, tal como la firmeza de la pulpa.
- Utilizar un método de inmersión en el cual se sumerjan las rebanadas de papaya en un recipiente hondo con agitación constante y un escurridor vibratorio en donde se puedan colocar las rebanadas de papaya una al lado de la otra, con el fin de minimizar las diferencias en la distribución de la cobertura en las rebanadas.
- Probar diferentes relaciones de masa de las rebanadas y volumen de dispersión para observar su efecto en la adhesión de la cobertura.

- Considerar la sensibilidad térmica de los hidrocoloides a las temperaturas de fritura.
- Probar estas coberturas en matrices alimentarias cuyo estado de madurez no afecte considerablemente su estructura y composición, y con una textura más firme.
- Utilizar mezclas de hidrocoloides, ya que se ha observado que al aplicar coberturas con estas mezclas se presenta un efecto sinérgico entre los hidrocoloides que puede mejorar la eficacia de la cobertura en la disminución de la absorción de aceite durante la fritura, como lo menciona Daraei *et al.* (2011).
- Determinar mediante un panel de agrado con consumidores si el aumento en la dureza de los *chips* que presentaron la máxima adhesión de la cobertura de la goma xantán, produce un efecto negativo en la percepción del producto.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 2005. Official methods of analysis: Method 978.18. aw. 18a ed. Maryland, Estados Unidos, Association of Official Analytical Chemists.
- Ayustaningwarno, F; Dekker, M; Fogliano, V; Verkerk, R. 2018. Effect of Vacuum Frying on Quality Attributes of Fruits. *Food Engineering Reviews*. 10: 154-164.
- Barea, M. 2015. Caracterización, capacidad antioxidante y perfil fenólico de frutas subtropicales producidas y comercializadas en la costa de Granada-Málaga. Doctorado en Nutrición y Tecnología de Alimentos. Granada, España, Universidad de Granada. p. 44-46.
- Berenson, ML; Levine, DM; Krehbiel, TC. 2006. Estadística para Administración. 4 ed. Ciudad de México, México. Pearson Educación. p. 85-86.
- Bogantes, A; Mora, E; Umaña, G; Loría, CL. 2011. Guía para la producción de la papaya en Costa Rica. San José, Costa Rica, MAG/UCR/INTA. p. 9-12.
- Bordin, K; Tomihe, M; Kazue, K; Favaro, CS. 2013. Changes in food caused by deep fat frying: A review. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 63(1): 5-13.
- Brenes Cordero, M. 2017. Evaluación del efecto del grado de madurez y las condiciones de proceso para la obtención de un snack de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí mediante fritura al vacío. Tesis Lic. San José, Costa Rica, UCR. 74, 39 p.
- Carpenter, DE; Ngeh-Ngwainbl, J; Lee, S. 1993. Lipid Analysis. In Carpenter, DE; Sullivan, DM (eds.). *Methods of analysis for nutrition labeling*. Estados Unidos. AOAC International.
- Daraei, A; Aghajani, N; Kashiri, M. 2011. Use of hydrocolloids as edible covers to produce low fat french fries. *Latin American Applied Research*. 41: 211-216.
- Diamante, LM; Shi, S; Hellmann, A; Busch, J. 2015. Vacuum frying foods: products, process and optimization. *International Food Research Journal*. 22(1): 15-22.
- Díaz, LS. 2010. Principios Básicos de la Química y Bioquímica de Alimentos. La Serena, Chile, Editorial de la Universidad de la Serena. p. 48, 55.

- Dueik, V; Moreno MC; Bouchon, P. 2012. Microstructural approach to understand oil absorption during vacuum and atmospheric frying. *Journal of Food Engineering* 111: 528-536.
- Dueik, V; Robert, P; Bouchon, P. 2010. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*. 119(3): 1143-1149.
- Fan, LP; Zang, M; Mujumdar, AS. 2009. Vacuum frying technology. *In Innovation in Food Engineering: New Techniques and Products*. Florida, Estados Unidos, CRC Press. p. 411-432.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2017. Food and Agriculture Data (en línea). Roma, Italia. Consultado 17 mayo 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Gonçalves, J; Pierre, A. 2010. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International*. 44 (2011): 1310-1311.
- Guerrero, A; Buitrago, MV; Curieses, M. 2007. Estadística Básica. Medellín, Colombia, Instituto Tecnológico Metropolitano. p. 53.
- Hoefler, AC. 2004. Hydrocolloids: Practical Guides for the Food Industry. Estados Unidos, Eagen Press Handbook Series. p. 40.
- Imeson, A. 1999. Thickening and Gelling Agents for Food. 2da ed. Maryland, Estados Unidos, Aspen Publishers, Inc. p. 1-311.
- John, D; Singh, B. 2014. Effect of Hydrocolloids coating on the quality attributes of taro chips. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 3(6): 149-154.
- Kurek, M; Scetar, M; Galic, K. 2017. Edible coatings minimize fat uptake in deep fat fried products: A review. *Food Hydrocolloids* 71(2017): 225-235.
- LEGISCOMEX. 2015. Inteligencia de Mercados: Estudio de frutas frescas en Costa Rica (en línea). Costa Rica. 1-2 p. Consultado 22 set. 2017. Disponible en: <https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio-sector-frutas-frescas-costa-rica-2015-consumo-rci298.pdf>

- León, OG; Montero, I. 2001. Cómo explicar el concepto de interacción sin estadística: Análisis gráfico de todos los casos posibles en un diseño 2 x 2. *Psicothema* 13(1): 159-165.
- Loría, D. 2012. Estudio de prefactibilidad para la exportación de papaya híbrida Pococí al mercado canadiense, producida en tanque de San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Licenciatura en Economía Agrícola con énfasis en Agroambiente. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. p. 47-48.
- Mahajan, I; Sonkar, C; Surendar, J. 2014. Study on the effective reduction of oil up-take by the application of edible hydrocolloid coatings on french fries. *International Journal of Research in Engineering & Advanced Technology*. 2(3): 1-9.
- Maity, T; Bawa, AS; Raju, PS. 2014. Effect of Vacuum Frying on Changes in Quality Attributes of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Bulb Slices. *International Journal of Food Science*. 2014: (8 p.).
- Maity, T; Bawa, AS; Raju, PS. 2015. Use of hydrocolloids to improve the quality of vacuum fried jackfruit chips. *International Food Research Journal*. 22(4): 1571-1577.
- Martínez, D; Castellanos, F; Bravo, JE. 2015. Application of edible coatings in green plantain slices subjected to deep-fat frying. *Ingeniería y Competitiva*. 17(2): 91-99.
- Martínez, E. 2005. Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*. 38: 315-332.
- Mathias-Rettig, K; Ah-Hen, K. 2014. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur* 42(2): 39-48.
- Milani, J; Maleki, G. 2012. Hydrocolloids in Food Industry. In Valdez, B (eds.). *Food Industrial Processes – Methods and Equipments*. Rijeka, Croacia, InTech. p. 17-38.
- Minitab Statistical Software. 2019. Soporte de Minitab® 18 (en línea). Pennsylvania, Estados Unidos. Consultado 2 jul. Disponible en <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/regression-models/lack-of-fit-and-lack-of-fit-tests/>
- Mohammad, AS; Adil, Y. 2009. Properties of the Standard Deviation that are Rarely Mentioned in Classrooms. *Austrian Journal of Statistics* 38(3): 193-202.

- Moreira, R. 2012. Vacuum Frying of Fruits Applications in Fruit Processing. *In Advances in Food Processing Technologies*. Florida, USA, CRC Press. p. 331-343.
- Moreira, R; Chenlo, F; Silva, C; Torres, MD; Díaz, D; Hilliou, L; Argence, H. 2012. Surface tension and refractive index of guar and tragacanth gums aqueous dispersions at different polymer concentrations, polymer ratios and temperatures. *Food Hydrocolloids*. 28(2): 284-290.
- Moreira, RG. 2014. Vacuum frying versus conventional frying – An overview. *Eur. J. Lipid Sci. Technol*. 116: 723-734.
- Movahhed, S; Chenarbon, HA. 2018. Moisture Content and Oil Uptake in Potatoes (Cultivar Satina) During Deep-Fat Frying. *Potato Research* 61: 261-272.
- Muthamizhi, K; Kalaichelvi, P; Shubhangi Tukaram Powar; Jaishreea, R. 2014. Investigation and modelling of surface tension of power-law fluids. *RSC Adv*. 4(19): 9771-9776.
- Novalés, A. 2010. *Análisis de Regresión*. Madrid, España, Universidad Complutense. p. 38-39.
- Núñez, S. 2013. *Gestión del color en el proceso fotográfico*. Málaga, España, IC Editorial. s.p.
- Pahade, PK; Sakhale, BK. 2012. Effect of blanching and coating with hydrocolloids on reduction of oil uptake in french fries. *International Food Research Journal*. 19(2): 697-699.
- Phule, A; Annapure, U. 2013. Effect of coating of hydrocolloids on chickpea (*Cicer arietinum L.*) and green gram (*Vigna radiata*) splits during deep fat frying. *International Food Research Journal*. 20(2): 565-573.
- PIMA. 2016. *Análisis del consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en los hogares costarricenses*. San José, Costa Rica. p. 29.
- Raissi, S. 2009. Developing New Processes and Optimizing Performance Using Response Surface Methodology. *International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*. 13(1): 144-147.
- Ramírez, JS. 2006. Introducción a la reología de los alimentos. *ReCiTeIA* 6(1): 19-20.

- Rumsey, D. 2007. Intermediate Statistics for Dummies. Indiana, Estados Unidos, Wiley Publishing, Inc. p. 139.
- Safari, A; Salamat, R; Baik, OD. 2018. A review on heat and mass transfer coefficients during deep-fat frying: Determination methods and influencing factors. Journal of Food Engineering. 230: 114-123.
- Salafranca, L; Sierra, V; Núñez, MI; Solanas, A; Leiva, D. 2005. Análisis estadístico mediante aplicaciones informáticas. SPSS, Statgraphics, Minitab y Excel. Barcelona, España, Universidad de Barcelona. p. 232.
- Salazar, D. 2012. Establecimiento de la escala de madurez y potencial de vida útil durante el almacenamiento de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido 'Pococí'. Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. p. 1-4.
- Schmidt, SJ; Fontana AJ. 2007. Water Activity Values of Select Food Ingredients and Products. In Barbosa, GV; Fontana, AJ; Schmidt, S; Labuza, TP. (eds.). Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications. Iowa, Estados Unidos, Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists. p. 407-420.
- Skurtys, O; Acevedo, C; Pedreschi, F; Enrione, J; Osorio, F; Aguilera, JM. 2011. Food Hydrocolloid Edible Films and Coatings. Santiago, Chile, Nova Science Publishers, Inc. p. 2, 23-24.
- Tagalpallewar, G; Shrigod, N; Sardar, N. s.f. Vacuum Frying Technology-New Technique for Healthy Fried Foods. College of Food Processing Technology and Bioenergy. AAU.
- Ulloa, E. 2018. Mercado de frutas exóticas en Canadá. San José, Costa Rica, PROCOMER. p. 3.
- Umaña, G; Loría, CL; Gómez, JC. 2011. Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido Pococí. Agronomía Costarricense 35(2): 61-73.
- Varela, P; Fiszman, S. 2011. Hydrocolloids in Fried Foods. Food Hydrocolloids 25(8): 1801-1812.
- Vargas, T. 2013. Ultraestructura y calidad asociadas a época de cosecha y manejo poscosecha en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí. Licenciatura en

Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. p. 1-4.

Villalobos Carvajal, R., Hernández Muñoz, P., Albors, A., Chiralt, A. 2009. Barrier and optical properties of edible hydropropyl methylcellulose coatings containing surfactants applied to fresh cut carrot slices. Food Hydrocolloids 23: 526-535.

Ziaifar, A. 2009. Oil absorption during deep-fat frying: mechanisms and important factors. Tesis Ph.D. París, Francia, Agro Paris Tech. 27-34 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de la ecuación de deseabilidad para los cinco hidrocoloides preseleccionados para la concentración mínima y la concentración máxima de cada uno.

Cuadro XXII. Aplicación de la ecuación de deseabilidad para los cinco hidrocoloides preseleccionados para la concentración mínima y la concentración máxima de cada uno, según las puntuaciones obtenidas para la adhesión de la cobertura, el nivel de complejidad y el costo de aplicación.

Hidrocoloide	Concentración (%)	Ecuación de deseabilidad	Resultado
CMC	0,3	$D = 0,5 * 2,0 + 0,3 * 3,7 + 0,2 * 4,0$	2,9
CMC	0,5	$D = 0,5 * 1,0 + 0,3 * 3,3 + 0,2 * 4,0$	2,3
Goma xantán	0,05	$D = 0,5 * 3,0 + 0,3 * 5,0 + 0,2 * 5,0$	4,0
Goma xantán	0,5	$D = 0,5 * 3,0 + 0,3 * 4,0 + 0,2 * 4,0$	3,5
Goma guar	0,3	$D = 0,5 * 3,0 + 0,3 * 3,7 + 0,2 * 4,0$	3,4
Goma guar	0,5	$D = 0,5 * 5,0 + 0,3 * 3,0 + 0,2 * 4,0$	4,2
Pectina de alto metoxilo	0,3	$D = 0,5 * 2,0 + 0,3 * 2,3 + 0,2 * 2,0$	2,1
Pectina de alto metoxilo	0,5	$D = 0,5 * 3,0 + 0,3 * 1,7 + 0,2 * 2,0$	2,4
Pectina de bajo metoxilo	0,6	$D = 0,5 * 2,0 + 0,3 * 2,3 + 0,2 * 2,0$	2,1
Pectina de bajo metoxilo	1,2	$D = 0,5 * 2,0 + 0,3 * 2,3 + 0,2 * 1,0$	1,9

*D: Deseabilidad

Anexo 2. Análisis de varianza para los modelos generados con la metodología de superficie de respuesta.

Cuadro XXIII. Análisis de varianza de las variables de adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos y dureza para los modelos generados empleando la metodología de superficie de respuesta al utilizar la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Variable		SS	df	MS	F	P
Adhesión de la cobertura	Regresión	12,32086	1	12,32086	7,601173	0,02222
	Residual	14,58824	9	1,620915		
	Falta de ajuste	13,92157	7	1,98880	5,966387	0,151017
	Error puro	0,66667	2	0,33333		
	Total SS	26,90909	10			
	R2	0,458				
a_w	Regresión	0,0021	4	0,000517	6,196948	0,025279
	Residual	0,00050	6	8,34E-05		
	Falta de ajuste	0,000484	4	0,000121	14,89303	0,063909
	Error puro	0,000016	2	0,000008		
	Total SS	0,002567	10			
	R2	0,805				
Contenido de lípidos y reducción	Regresión	64,79353	3	21,59784	3,261634	0,089512
	Residual	46,35251	7	6,621787		
	Falta de ajuste	46,2266	5	9,24532	146,8718	0,006776
	Error puro	0,1259	2	0,06295		
	Total SS	111,1460	10			
	R2	0,582959				

Continuación Cuadro XXIII. Análisis de varianza de las variables de adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos y dureza para los modelos generados empleando la metodología de superficie de respuesta al utilizar la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Variable		SS	df	MS	F	P
Dureza	Regresión	4,293018	3	1,431006	3,695379	0,070126
	Residual	2,710694	7	0,387242		
	Falta de ajuste	2,501982	5	0,500396	4,795091	0,181518
	Error puro	0,208712	2	0,104356		
	Total SS	7,003713	10			
	R2	0,613				

Cuadro XXIV. Análisis de varianza de las variables de adhesión de la cobertura, humedad de los *chips*, contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color y dureza para los modelos generados empleando la metodología de superficie de respuesta al utilizar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Variable		SS	df	MS	F	P
Adhesión de la cobertura	Regresión	132,4895	1	132,4895	41,7151548	7,26663E-05
	Residual	31,76052	10	3,176052		
	Falta de ajuste	21,7605	7	3,1086	0,93259354	0,579712671
	Error puro	10,0000	3	3,3333		
	Total SS	164,2500	11			
	R2	0,807				
Humedad de los <i>chips</i>	Regresión	2,4650	2	1,23248	7,967972	0,010194716
	Residual	1,39211	9	0,154679		
	Falta de ajuste	1,280283	6	0,213381	5,72420942	0,090284097
	Error puro	0,111831	3	0,037277		
	Total SS	3,857074	11			
	R2	0,639				

Continuación Cuadro XXIV. Análisis de varianza de las variables de adhesión de la cobertura, humedad de los *chips*, contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color y dureza para los modelos generados empleando la metodología de superficie de respuesta al utilizar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Variable		SS	df	MS	F	P
Contenido de lípidos y reducción	Regresión	492,1550	3	164,0517	3,31961019	0,077625557
	Residual	395,35166	8	49,41896		
	Falta de ajuste	372,2592	5	74,4518	9,67224711	0,045436871
	Error puro	23,0924	3	7,6975		
	Total SS	887,5067	11			
	R2	0,555				
Color (ΔE^*)	Regresión	35,5745	3	11,85816	1,36275924	0,321850257
	Residual	69,61266	8	8,701583		
	Falta de ajuste	68,0784	5	13,61569	26,6239734	0,010889605
	Error puro	1,5342	3	0,51141		
	Total SS	105,1871	11			
	R2	0,338				
Dureza	Regresión	7,2782	1	7,278199	14,4321835	0,003491684
	Residual	5,04303	10	0,504303		
	Falta de ajuste	4,40555	7	0,629365	2,96180585	0,200941324
	Error puro	0,63748	3	0,212494		
	Total SS	12,32123	11			
	R2	0,591				

Anexo 3. Coeficientes de regresión con sus respectivos valores y probabilidades, para la ecuación del modelo generado para la actividad de agua al aplicar la goma guar como cobertura y para la adhesión de la cobertura al aplicar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Cuadro XXV. Valores y probabilidades asociadas a los coeficientes de regresión del modelo significativo generado para la actividad de agua (a_w), aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotatable, al utilizar la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Coeficiente de regresión	a_w	
	Valor	p
β_0	0,172467	0,000091
$\beta_1 (Cn)$	0,003235	0,249633
$\beta_{11} (Cn^2)$	0,016962	0,019418
$\beta_2 (t)$	0,011093	0,031457
$\beta_{22} (t^2)$	-0,015321	0,023648
$\beta_{12} (Cn * t)$	0,027867	0,010299

Cuadro XXVI. Valores y probabilidades de los coeficientes de regresión del modelo generado para la adhesión de la cobertura, aplicando la metodología de superficie de respuesta con el diseño compuesto central rotatable, al utilizar la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Coeficiente de regresión	Adhesión de la cobertura (%)	
	Valor	p
β_0	8,00000	0,003129
$\beta_1 (Cn)$	8,13909	0,008063
$\beta_{11} (Cn^2)$	0,12500	0,936444
$\beta_2 (t)$	-0,68934	0,630401
$\beta_{22} (t^2)$	-0,87500	0,587166
$\beta_{12} (Cn * t)$	-1,50000	0,471524

Anexo 4. Gráficos de aleatoriedad para los valores de adhesión de la cobertura, a_w , contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos y dureza al emplear la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

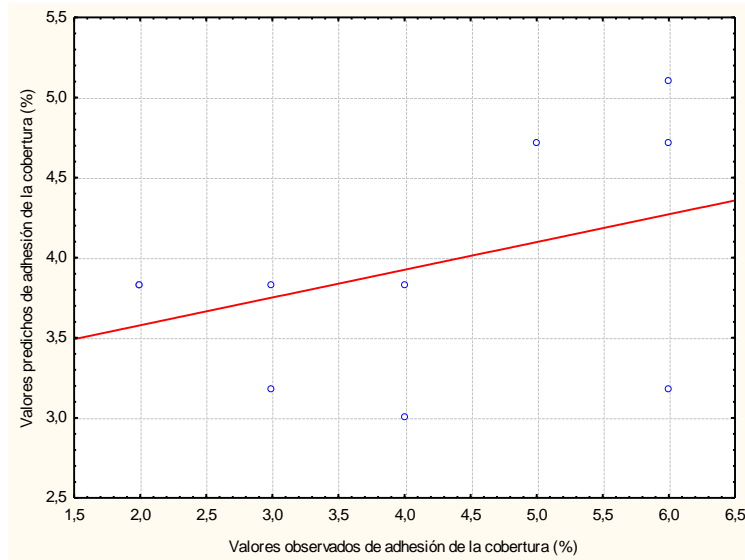


Figura 21. Gráfico de aleatoriedad de los valores de adhesión de la cobertura al emplear la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

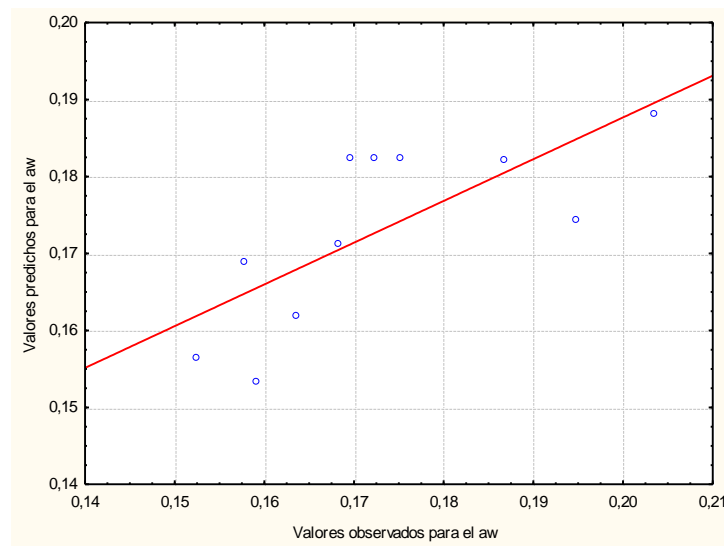


Figura 22. Gráfico de aleatoriedad de los valores de a_w al emplear la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

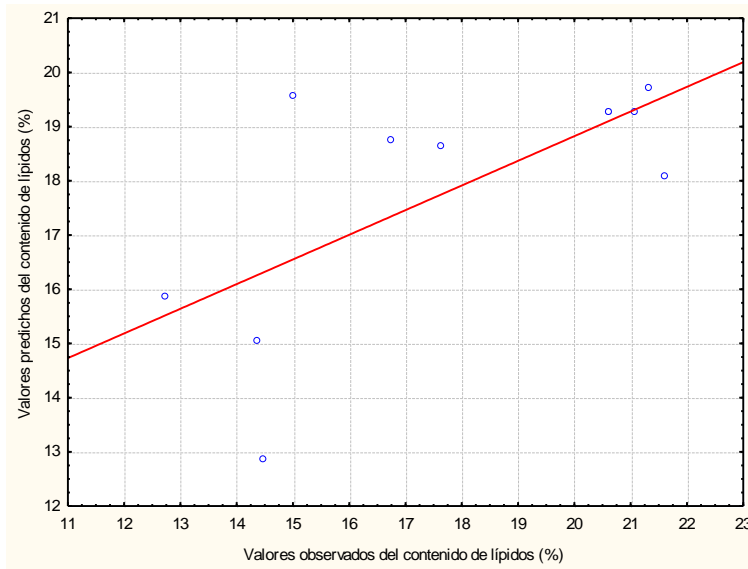


Figura 23. Gráfico de aleatoriedad de los valores del contenido de lípidos al emplear la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

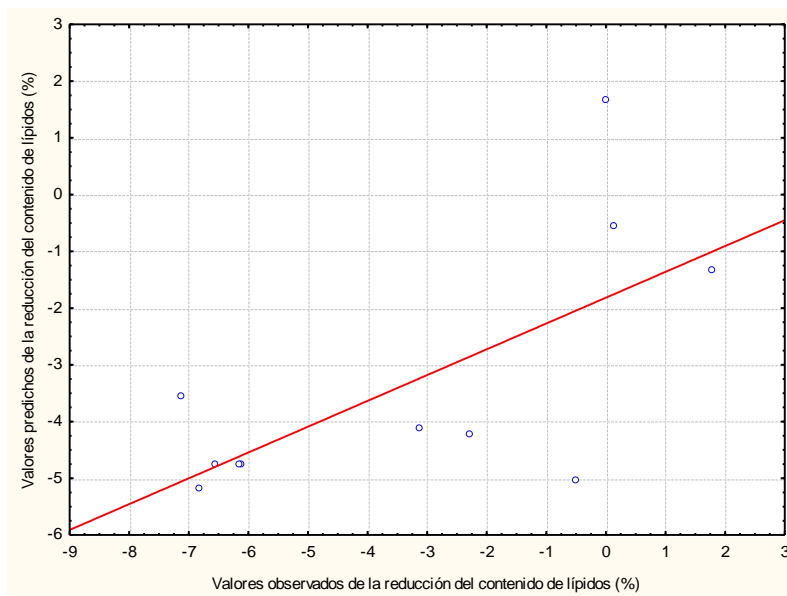


Figura 24. Gráfico de aleatoriedad de los valores de la reducción del contenido de lípidos al emplear la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

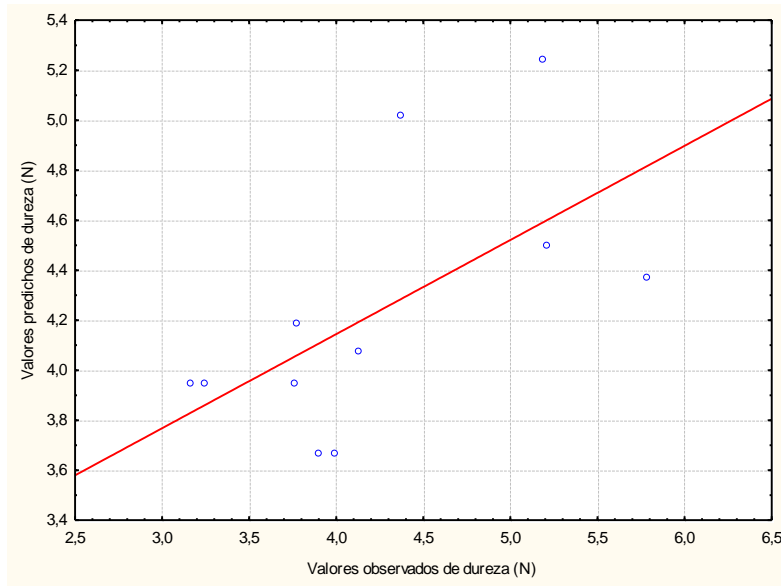


Figura 25. Gráfico de aleatoriedad de los valores de dureza emplear la goma guar como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

Anexo 5. Gráficos de aleatoriedad de los residuos para los valores de adhesión de la cobertura, humedad de los *chips*, contenido de lípidos, reducción del contenido de lípidos, color y dureza al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

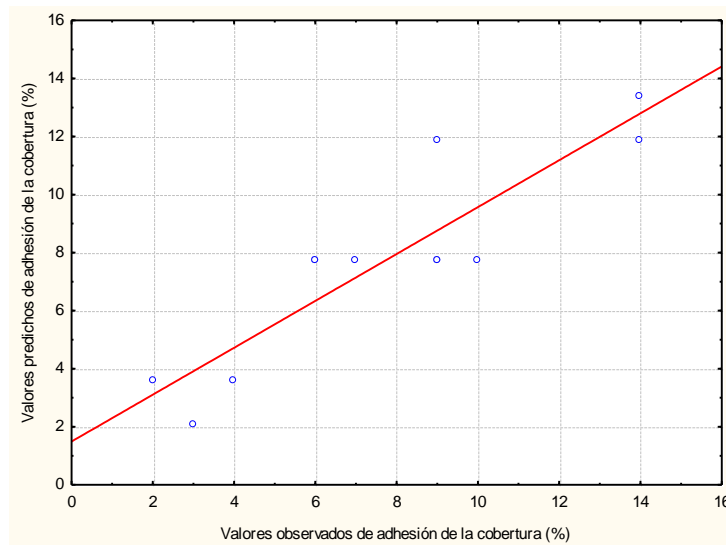


Figura 26. Gráfico de aleatoriedad de los valores de adhesión de la cobertura al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

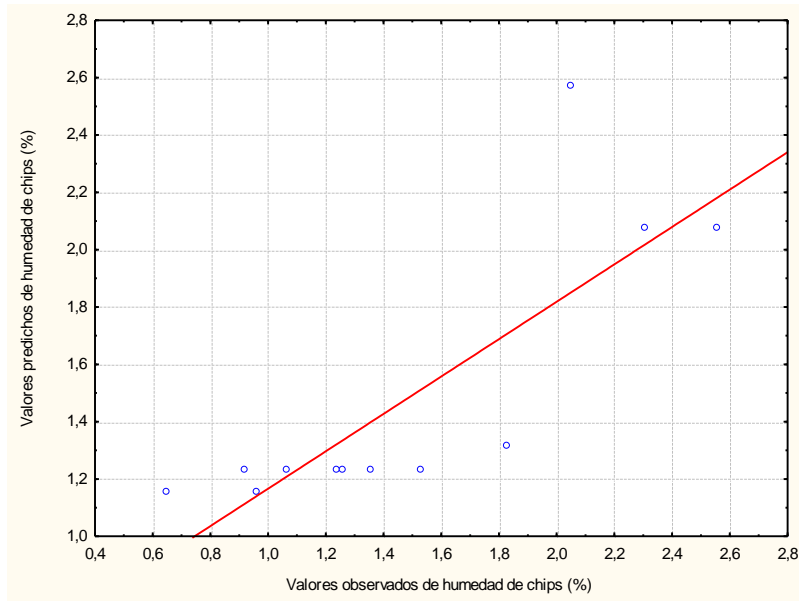


Figura 27. Gráfico de aleatoriedad de los valores de humedad al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

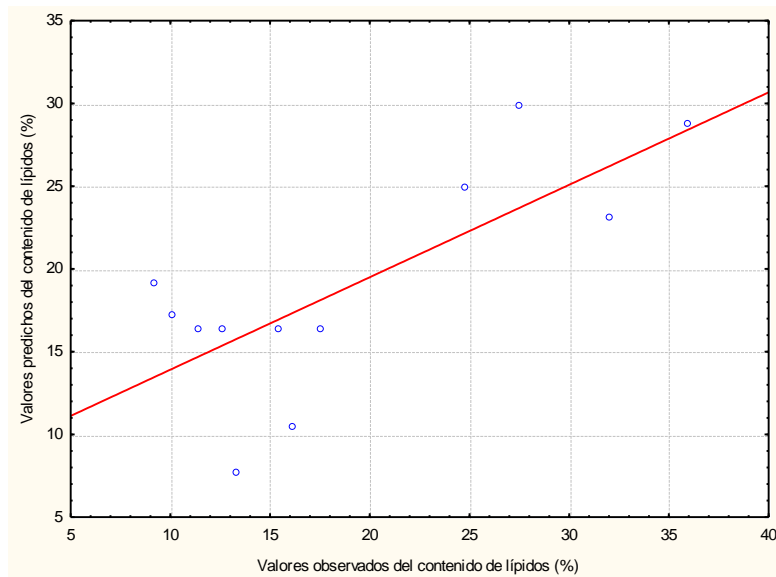


Figura 28. Gráfico de aleatoriedad de los valores del contenido de lípidos al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

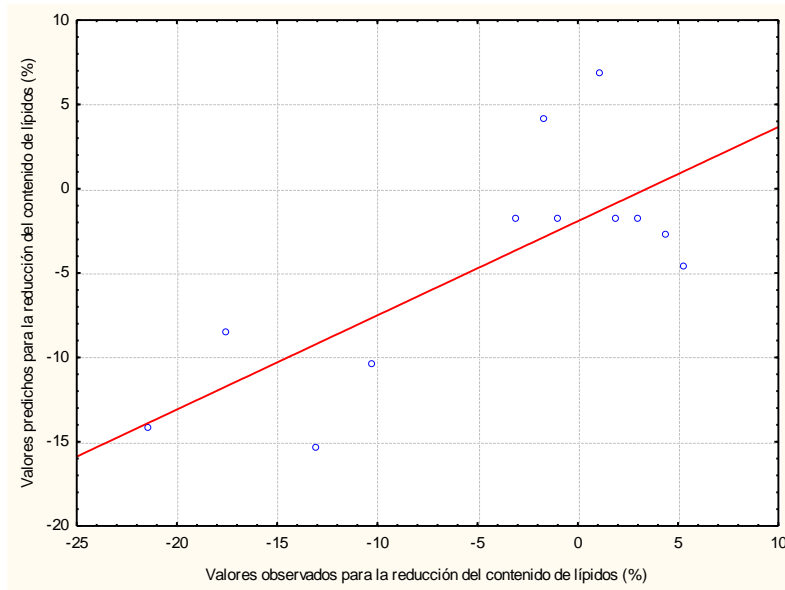


Figura 29. Gráfico de aleatoriedad de los valores de la reducción del contenido de lípidos al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

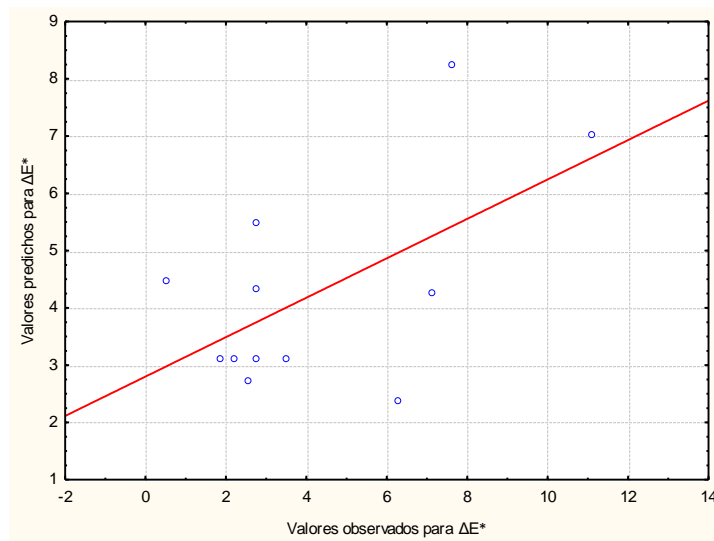


Figura 30. Gráfico de aleatoriedad de los valores del color (ΔE^*) al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.

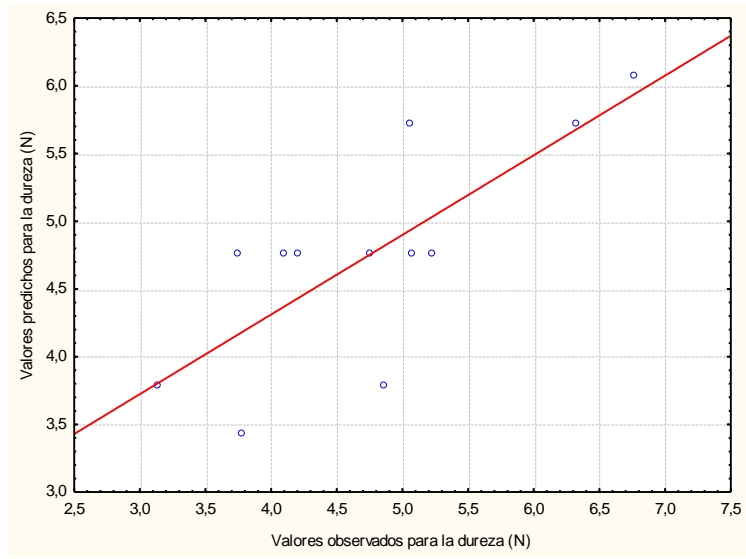


Figura 31. Gráfico de aleatoriedad de los valores de dureza al emplear la goma xantán como cobertura en los *chips* de papaya fritos al vacío.