



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES DE ENVASADO A VACÍO DE
MANGO CORTADO CON COBERTURA TIPO CHAMOY.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

GRECIA BERENICE AYALA GONZÁLEZ

ASESOR: DRA. MARÍA DE LA LUZ ZAMBRANO ZARAGOZA

ASESOR: I. A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. EN C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Establecimiento de condiciones de envasado a vacío de mango (Magnifira indica) cortado con cobertura tipo chamoy

Que presenta la pasante: Grecia Berenice Ayala González
Con número de cuenta: 407044687 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Junio de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. María Elena Vargas Ugalde	
VOCAL	Dra. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza	
SECRETARIO	IA. Zaira Berenice Guadarrama Álvarez	
1er. SUPLENTE	IA. Jonathan Coria Hernández	
2do. SUPLENTE	IA. Ricardo Moisés González Reza	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Gracias a Dios por todas sus bendiciones.

Para mi abuela Paulina y mi abuelita Ofelia, guerreras de vida y luchadoras incansables. A quién fue mi primera amiga, Brenda Laura Guzmán Manríquez, este logro es para ti.

A mis padres que me inculcaron amor a la vida, felicidad, optimismo y fe, por enseñarme las cosas realmente importantes en la vida, motivarme a ser mejor y permitirme tomar decisiones. También por darme el regalo más grande, mi hermana Varinka. A Varinka por ser mi compañera de vida: aventuras, batallas, sueños, insolencias y millones de risas, por recordarme el balance entre estudio y diversión. A Itzel por ser mi ejemplo de hermana mayor.

A Laura por ser guía a lo largo de mi vida, mi escucha, mi ejemplo y mi apoyo.

A las S.A.: Karla, Luz, Cristina y Alejandra por ser mi segunda familia, confidentes de secundaria, consejeras preparatorias y hombros firmes de por vida.

A la paciencia de David Aguirre porque sin él, esto no habría sido posible. Desde la primera quema de batas, la plática fuera de labo 3, las propuestas, los cafés y pláticas, la comprensión y el intercambio cultural.

A mi mejor amigo, Diego, quién me ayudo con Termo II, quién me alentó a realizar mis sueños, quién me ha enseñado a ser persistente y paciente, un gran soporte en los malos momentos y un compañero divertido en los buenos.

A Rebequita por ser la mejor amiga de la universidad y reír con ella todos los días. A Rodrigo Ramírez por enseñarme a ver más de lo que pueden los ojos. A Alberto Santiago por su edición, consejos y de quién fui aprendiz.

A la Dra. Luz Zambrano por enseñarme tanto, mi maestra, no sólo en el aspecto académico, sino quien me hizo visualizar objetivos en la vida e independencia, guía de sabiduría a quién agradezco por soportar mis inconsistencias.

Al Ing. Alfredo Álvarez, su rigor para los trabajos, su observación en detalles, la calidad de sus enseñanzas y quién ha impulsado la posición de los ingenieros en alimentos en la industria.

A la Dra. Elsa Juárez por el apoyo en la realización del proyecto, por las sugerencias y amistad.

A los profesores que aportaron a mi desarrollo en la carrera profesional: Zaira Guadarrama, María Eugenia Ramírez, Gilberto Atilano Amaya, Francisco Javier López, José Jaime Minutti, Manuel Alarcón, Javier Cruz, Ali Muñoz, Ignacio Trejo, Víctor Manuel Avalos.

A la U.N.A.M. por abrirme las puertas a un mundo vasto de conocimientos, por ser mi segunda casa, por la formación humanística y consciente, por ser oportunidad de saber quién soy, qué quiero y hacia dónde voy. Mi alma manifiesta pertenencia.

Agradecimiento especial al Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza: PE206664 para el fortalecimiento en el área de procesos y sistemas frigoríficos con atmósferas modificadas.

“Haz las cosas como si todo dependiera de ti y confía en el resultado como si todo dependiera de Dios”
-San Ignacio de Loyola.

ÍNDICE

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	ii
ANTECEDENTES	
Mango	1
Cambios anatómicos y estructurales presentados en el mango a lo largo de su maduración	2
Composición del mango	2
Variedades de mango	2
Alimentos mínimamente procesados	6
Recubrimientos en frutas	8
Atmósferas protectoras	9
Factores intrínsecos y extrínsecos que determinan la calidad del producto	10
Ventajas y desventajas de la utilización de atmósferas protectoras	11
Envasado a vacío	13
Frutas y vegetales conservados en atmósferas modificadas	14
Factores propios del alimento	14
Factores del procesamiento	16
Envases de poliestireno-polietileno	18

Deshidratación osmótica	19
Definición de presión osmótica	19
El fenómeno de ósmosis	20
Definición de deshidratación osmótica	21
Cinética de reacción	22
Factores que determinan la cinética de reacción	19
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
Objetivos	26
Objetivo general	26
Objetivos particulares	26
Hipótesis	27
Justificación de variables y planteamiento del diseño experimental	27
Metodología experimental	29
Materiales y reactivos	29
Material biológico	29
Procesamiento del mango	29
Preparación del líquido de cobertura	30
Caracterización de las cámaras de refrigeración	30

Cinética de difusión	31
Métodos, técnicas e instrumentos de control	32
Técnica de muestreo	32
Técnica para la determinación de propiedades fisicoquímicas	32
Técnicas para la determinación de propiedades físicas	34
Cálculo para la obtención de difusividad efectiva de sólidos y de humedad	35
a) Determinación de la difusividad efectiva de sólidos	35
b) Determinación de la difusividad efectiva de humedad	37
c) Determinación de la energía de activación de ganancia de sólidos	38
d) Determinación de la energía de activación de pérdida de humedad	39
ANÁLISIS DE RESULTADOS	
Influencia de las variables sobre la difusividad efectiva de sólidos, humedad y energía de activación.	40
Influencia de las variables sobre la difusividad efectiva de sólidos	44
Optimización con base a la difusividad	46
Influencia de las variables sobre la textura	49
Influencia de las variables sobre la concentración del líquido de cobertura	51

Influencia de las variables sobre la turbidez	52
Cambios en el potencial de hidrógeno durante el almacenamiento de mango envasado a vacío	55
Determinación de Energías de activación	58
CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición química y valor nutrimental del mango	3
Cuadro 2.	Factores del trabajo experimental	8
Cuadro 1.	Coeficientes de regresión, valores de probabilidad y prueba de ajuste para el modelo estadístico	41
Cuadro 4.	Difusividad efectiva de las corridas experimentales	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mango variedad Ataulfo	15
Figura 2. Envasado de frutos cortados minimamente procesados	10
Figura 3. Alimento envasado en atmosfera protectora	12
Figura 4. Esquema del ciclo de respiración	18
Figura 5. Esquematzacion de la deshidratación osmótica	24
Figura 6. Esquema de transferencia de masa en deshidratación osmótica	25
Figura 7. Muestra de procesamiento de mango	33
Figura 8. Diagrama de bloques para el procesamiento de mango	34
Figura 9. Evaluacion de pH en potenciómetro Hanna Instruments	35
Figura 10. Refractometro manual AO	36
Figura 11. Determinacion de la concentración de solidos disueltos en el liquido de cobertura	37
Figura 12. Determinacion de firmeza en cubos de mango	38
Figura 13. Comportamiento típico de ganancia de solidos durante el tiempo de almacenamiento	39
Figura 14. Comportamiento típico de la humedad durante el tiempo de almacenamiento	40
Figura 15. Efecto de las variables sobre la difusividad efectiva de humedad	46
Figura 16. Energía de activación de pérdida de humedad	53

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Rapidez de reacción	27
Ecuación 2. Ecuación de Arrhenius	28
Ecuación 3. Determinación de peso del mango	37
Ecuación 4. Cálculo de ganancia de solidos	38
Ecuación 5. Cálculo de difusión efectiva	39
Ecuación 6. Calculo de pérdida de humedad	40
Ecuación 7. Difusividad efectiva de humedad	41
Ecuación 8. Ecuación linealizada de Arrhenius	41
Ecuación 9. Ecuación linealizada de Arrhenius para procesos difusivos	42

i. RESUMEN

La deshidratación osmótica ha sido utilizada como un pretratamiento a la refrigeración de alimentos y resulta efectiva para reducir el porcentaje de humedad del producto. Las frutas y hortalizas continúan respirando una vez cosechados, utilizando el envasado a vacío y el empleo de bajas temperaturas de almacenamiento, se logra reducir la tasa de respiración y la velocidad de reacción al cambiar la energía de activación, y por lo tanto retarda el proceso de maduración y la proliferación microbiana, por lo que resulta una alternativa funcional para alimentos mínimamente procesados, sin embargo manifiestan cambios en la estructura y permeabilidad. El objetivo de este estudio es optimizar mediante el método de superficie de respuesta, las condiciones de preparación y envasado de mango cortado y con líquido de cobertura tipo chamoy considerando los efectos que pueden tener los factores del proceso sobre las cinéticas de difusividad y cambios de firmeza, y su inferencia en la vida útil del producto a diferentes temperaturas de almacenamiento. Las variables consideradas fueron: temperatura de almacenamiento (-7, -2, 5, 12 y 17 °C), concentración de goma guar (0.19, 0.33, 0.54, 0.75 y 0.89 %p/p) y vacío (332, 400, 500, 600 y 668 mbar). Las muestras se evaluaron una vez por semana durante cinco semanas, determinando cambios en firmeza, peso, volumen, grados Brix, pH y turbidimetría. Se obtuvieron valores de difusividad efectiva para pérdida de agua entre 1.21 y 9.73 y para ganancia de sólidos de 5.74 y 3.89. La energía de activación fue de 6.586KJ/mol para la ganancia de sólidos y 18.767KJ/mol para pérdida de humedad evaluados a temperaturas de -7, 5 y 17 °C en escala absoluta. Las condiciones con mejor atributos fueron: 12°C, 400mbar y 0.33%p/p. De acuerdo con los resultados obtenidos, es bastante viable la investigación de este proyecto ya que puede ahorrar costos de producción, tiempos de espera y energía del proceso.

ii. INTRODUCCIÓN

Los cambios en el estilo de vida en la sociedad han impulsado la aparición de nuevas tendencias en el consumo de alimentos. En la actualidad existe un gran interés por los productos frescos y “naturales”, es decir, con la menor cantidad posible de aditivos y que conservan sus propiedades nutritivas y sensoriales tras el procesado.

Asimismo, se ha incrementado de forma considerable la demanda de productos de consumo inmediato (Scully & Hursaham, 2007; McHugh & Senesi, 2000; Soliva-Fortuny *et al.*, 2001). En respuesta a los nuevos hábitos de consumo la industria agroalimentaria ha implementado paulatinamente tecnologías de producción y conservación que garantizan la calidad higiénica de los alimentos y prolongan su vida útil minimizando las alteraciones en los mismos. En este grupo se incluyen los sistemas de envasado bajo atmósferas protectoras (García & Gago, 2006).

Las tecnologías de envasado en atmósfera protectora (EAP) se aplican a multitud de productos de diversa naturaleza y cuentan con una larga trayectoria en la conservación de determinados alimentos como los derivados cárnicos, vegetales, lácteos, café y *snacks*, por lo que resultan adecuados para los alimentos frescos y mínimamente procesados (García & Gago, 2006). Dichas técnicas tienen como objetivo mantener la calidad sensorial de estos productos y prolongar su vida comercial, que llega a duplicarse e incluso triplicarse con respecto al envasado tradicional con aire (Mangaraj *et al.*, 2009).

La comercialización de fruta fresca cortada presenta dificultades en el mantenimiento de cualidades durante su manipulación y almacenamiento a bajas temperaturas (Soliva-Fortuny *et al.*, 2001), su vida de anaquel se reduce a causa de la pérdida de humedad, reacciones enzimáticas, el deterioro de textura y el posible crecimiento microbiano, que a su vez se ven aceleradas por las operaciones de mondado, pelado o cortado (Rojas-Graü *et al.*, 2008; Teruel *et*

al., 2003), estas son las razones por las cuales es importante el desarrollo de métodos que permitan la aplicación práctica y eficaz de conservación de alimentos.

El uso de vacío, como EAP, junto con la deshidratación osmótica involucra la aplicación de una presión menor a la atmosférica durante el envasado del producto de fases sólido-líquido, promueve efectos benéficos en las cinéticas del proceso y en la calidad de las frutas, evitando los cambios estructurales en la fruta (Floury *et al.*, 2008). La pérdida de agua y la ganancia de sólidos, cuyas condiciones se encuentran en un estado de no equilibrio, son mayores al inicio del proceso, cuando ocurren los mecanismos hidrodinámicos (HDM), mientras que en la deshidratación a presión atmosférica no sucede así. Los HDM son promovidos por gradientes de presión debido a la acción combinada de la presión capilar y los cambios de presión en los poros del tejido vegetal (Ferrari *et al.*, 2011).

En la actualidad, numerosos alimentos son envasados al vacío como método de conservación ya que alarga la vida útil del producto y detienen el crecimiento de microorganismos; sin embargo, en muchos casos no se ha logrado obtener un balance óptimo entre las condiciones del proceso y la conservación de características físicas iniciales del alimento (Rodrigues *et al.*, 2006). En el mercado son comercializados productos frutícolas con salsa tipo chamoy, como son ciruelas y chabacanos cuyo sabor al ser consumidos resulta agradable, aunque sus propiedades físicas, texturales y sensoriales no lo son. La finalidad de este proyecto es establecer las condiciones óptimas mediante el método de superficies de respuesta, para envasar mango cortado mínimamente procesado y con líquido de recubrimiento tipo chamoy, considerando los efectos que pueden tener las variables del proceso sobre la cinética de difusión y de cambio de propiedades físicas que determinan la calidad del producto, para lo cual se aplicará un diseño estadístico: el método de superficies de respuesta (RSM). Este diseño permite estudiar los efectos interactivos entre las variables de un proceso, ofrece técnicas de diseño de experimentos, creación de modelos, evaluación y búsqueda de condiciones óptimas deseables y a su vez logra reducir el número de corridas experimentales, con resultados estadísticamente válidos (Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2003; Mundada *et al.*, 2010).

I. ANTECEDENTES

1.1 Mango

El mango (*Mangifera indica L.*) es una fruta perteneciente a la familia Anacardiaceae, que incluye alrededor de 600 miembros y cuyo origen se encuentra en la región Indoburma. Su temperatura óptima de crecimiento es aproximadamente de 24 a 27 °C, en suelos cuyo pH esté entre 5.5 y 7.5. Es una fruta climatérica que, en buen estado de maduración, dura pocos días (SAGARPA, 2009).

El mango es el tercer fruto tropical en términos de producción e importación a nivel mundial, situado después del plátano y la piña tropical y el quinto lugar en términos de producción de frutos en general según la FAO. Siendo México uno de los principales países productores de mango a nivel mundial, contando al 2006, con 195,000 hectáreas de cultivo y una producción de dos mil cincuenta toneladas por año (Galán, 2009).

La comercialización del mango, a pesar de su alta producción mundial y de ser el fruto tropical de mayor preferencia, se ha visto limitada por su alta susceptibilidad al ataque de patógenos y a las altas y/o bajas temperaturas, que reducen su vida de anaquel (Sivakumar *et al.*, 2010). En la búsqueda de nuevas alternativas y presentaciones, recientemente se ha propuesto como una opción viable el procesamiento a manera de fruto fresco cortado. La industria de los frutos frescos cortados está creciendo a pasos acelerados, promoviendo el desarrollo de nuevas tecnologías de conservación, que además de garantizar la calidad sensorial de los productos, aseguren su calidad nutricional, en respuesta al incremento en la demanda de alimentos saludables y listos para su consumo. El mango aporta componentes bioactivos con alto potencial antioxidante, entre ellos, las vitaminas C y E, carotenos y polifenoles (Robles-Sánchez *et al.*, 2007).

1.1.1 Cambios anatómicos y estructurales presentados en el mango a lo largo de su maduración.

Ablandamiento: Las sustancias pécticas actúan como si fuesen cemento entre las células del fruto en crecimiento una vez finalizada la división y elongación celular, es decir, una vez alcanzada la madurez fisiológica, las concentraciones de auxinas disminuyen y consecuentemente se produce la solubilización del pectato de calcio que se encuentra en la laminilla media de las paredes celulares, lo que se debe al incremento de la poligalacturonasa y celulasa, ocurriendo finalmente el ablandamiento del fruto. La hidrólisis de carbohidratos, también influye y el ablandamiento se inicia en tejidos más internos del mesocarpo (cerca de la semilla), existiendo una correlación positiva entre los niveles de poligalacturonasa, fosfoenilpiruvato y los tejidos blandos en vías de maduración.

En el mango, luego de alcanzado el climaterio respiratorio, se acelera el ablandamiento, recomendándose el almacenamiento en frío (12.5 °C) a fin de disminuir la velocidad de respiración. Mientras que iniciada la maduración en la mayoría de los frutos climatéricos ocurre una hidrólisis de los almidones y grasas, lo que origina un incremento en los azúcares reductores (Galán, 2009).

1.1.2 Composición del mango.

El mango es un alimento rico en vitaminas A, C y E, pequeñas cantidades de vitamina B y ácido fólico y en minerales como el magnesio, potasio y fósforo. Tiene acción antioxidante y de poco a moderado contenido calórico, carece de grasas y proteínas.

A continuación se muestra un cuadro comparativo de la composición química del mango (Litz, 2008). Referido a la composición química y el valor nutritivo del mango.

Cuadro 1. *Composición química y valor nutrimental del mango.*

Composición (por 100g de pulpa)	Cantidad por porción	Cantidad por porción	
		Mango verde	Mango maduro
Calorías	62.1 - 36.7	39	50 - 60
Humedad	78.9 - 82.8 g	90.9 g	86.1 g
Proteínas	0.36 - .040 g	0.7 g	0.6 g
Grasa	0.30 - 0.53 g	0.1 g	0.1 g
Hidratos de carbono	16.20 - 17.18 g	8.8 g	11.8 g
Fibra	0.85 - 1.06 g	-	1.1 g
Ceniza	0.34 - 0.52 g	-	-
Calcio	6.1 - 12.8 mg	0.01 g	0.01 g
Fósforo	5.5 - 17.9 mg	0.02g	0.02 g
Hierro	0.20 - 0.63 mg	450 mg	30 mg
Vitamina A	0.135 - 1.872 mg	150 U.I.	4800 U.I.
Tiamina	0.020 - 0.073 mg	-	0.04 mg
Riboflavina	0.025 - 0.068 mg	0.03 mg	0.05 mg
Niacina	0.025 - 0.707 mg	-	-
Ácido ascórbico	7.8 - 172 mg	3 mg	13 mg
Metionina	3 - 6 mg	-	-
Triptófano	32 - 37	-	-
Lisina	-	-	-
Ácino nicotínico	-	-	0.3 mg

(Litz, 2008).

1.1.3 Variedades de mango

Existen alrededor de 70 variedades de mango, en México las más comunes son: Tommy, Haden, Ataulfo, Manila, Irwin, Diplomático, Esmeralda, Keitt, Manzanillo, Naranja, Oro, Piña canario, Sensation y Kent, que se encuentran disponibles durante el verano (SAGARPA, 2010). A continuación se mencionan características de algunos de ellos:

a) Ataulfo

Originario de Tapachula, Chiapas; el peso varía entre 200 y 300 g, alargado, de buena calidad, dulce y poco ácido, amarillo, firme, resistente al transporte y la manipulación (Litz, 2008), atributos mostrados en la figura 1.



Figura 1. Mango variedad Ataulfo (Galán, 2009).

b) Irwin

Originario de Estados Unidos; el peso va de los 300 a 400 g, la piel es gruesa y adherible, es color amarillo y rojo brillante. La pulpa es suave y jugosa, sin fibra y de color verde-amarillo, es dulce, desprende aroma y es de buena calidad (Litz, 2008).

c) Keitt

Originario de Florida, Estados Unidos; el fruto es amarillo con verde, con toques rosas y rojos. Su peso se encuentra entre 500 y 2000 g, la piel es gruesa y fuerte y la pulpa es muy

firme y dulce, con un poco de fibra, es amarilla con verde, dulce y es de muy buena calidad. Resistente a la transportación (Litz, 2008).

d) Manila

Proveniente de México. Es amarillo brillante. Peso entre 180 y 260 g. Su piel es delgada y fácil de separar de la pulpa. Esta última es firme y jugosa, con contenido de fibra de poco a abundante, amarillo, rico en sabor y con aroma agradable, de buena a muy buena calidad (Litz, 2008).

e) Manzanillo

Proveniente de México. El color es naranja con amarillo con algunas zonas rojas. Su peso promedio es de 600 g. La pulpa es baja en fibra, ácida y de alta calidad (Litz, 2008).

f) Sensation

Proveniente de Florida, Estados Unidos. La fruta es de color amarillo oscuro a morado oscuro. El peso va de 280 y 340 g. La piel es poco gruesa y fácil de separar de la pulpa, que es jugosa, sin fibra, amarilla, dulce con un leve aroma y de buena calidad (Litz, 2008).

g) Tommy

Proveniente de Florida, Estados Unidos. Predominan los colores naranja y amarillo, con partes rojas. Su peso está entre 450 y 700 g. La piel es fuerte y adherente a la pulpa, está

última es firme y levemente jugosa, con una cantidad pequeña de fibra, es dulce y con un fuerte aroma agradable y de buena calidad (Litz, 2008).

1.2 Alimentos mínimamente procesados

El concepto “mínimamente procesado” o adecuado se refiere al producto que se comercializa en una presentación que ofrezca conveniencia al consumidor por evitarle un trabajo que se ha realizado con anterioridad; se catalogan en este grupo los productos que se adquieren pelados, segmentados en rodajas, en gajos, en cubos, rallados, etcétera, tal se puede ver en la figura 2. La preparación de estos productos implica operaciones de limpieza, lavado y cortado. El propósito de estos alimentos es proporcionar al consumidor un producto frutícola u hortícola muy parecido al fresco, con una vida útil prolongada y al mismo tiempo, garantizar la seguridad de los mismos, manteniendo una buena calidad nutritiva y sensorial. Si bien son más costosos que los frescos, resultan más económicos debido al menor consumo de energía y a la mejor utilización de la materia prima (Jongen, 2002).

Los vegetales mínimamente procesados presentan por lo general mayores tasas de respiración que los frutos enteros, lo que indica un metabolismo más activo y, por lo general, una tasa de deterioro más acelerada. El incremento de la demanda de oxígeno debido a las mayores tasas de respiración, implica la necesidad de películas de empaque con suficiente permeabilidad al oxígeno para prevenir la fermentación y los malos olores (Sáenz *et al.*, 2006).

El daño físico y las lesiones causadas por la manipulación incrementan la respiración y la producción de etileno en pocos minutos, con incrementos asociados de otras reacciones bioquímicas responsables de cambios en color (incluyendo oscurecimiento), de sabor, de textura y de calidad nutrimental (Brody, *et al.*, 2010).



Figura 2. Envasado de frutos cortados mínimamente procesados (García *et al.*, 2006).

Para minimizar las elevadas tasas de respiración y de actividad metabólica de los productos mínimamente procesados, se requiere la conservación en frío con un estricto control de temperatura, en general se deben mantener en un intervalo de 0 a 5 °C para mantener su calidad, seguridad y vida de anaquel. Por otra parte, los microorganismos difieren en su sensibilidad a las atmósferas modificadas. Las atmósferas con bajo contenido de oxígeno generalmente tienen poco efecto en el crecimiento de hongos y bacterias. Los materiales de los envases influyen sobre la humedad y la composición atmosférica que rodea a los productos mínimamente procesados y pueden afectar el contenido microbiano (Barreiro y Sandoval, 2006).

1.3 Recubrimientos en frutas

Como resultado de la maduración, corte y exposición al oxígeno, los frutos desarrollan reacciones diversas entre las que se incluyen las enzimáticas dentro de las cuales, las reacciones producidas por la polifenoloxidasas son las de mayor importancia en frutos como el mango ya que provocan rápido oscurecimiento del mismo. Aunque la optimización de tecnologías de procesos no puede evitar completamente el oscurecimiento enzimático durante el tratamiento de alimentos, se han logrado disminuir con los cuidados necesarios para evitar el daño, limitando la disponibilidad. Durante las reacciones de oscurecimiento enzimático, la polifenoloxidasas cataliza la oxidación de fenoles a *o*-quinona, que son compuestos altamente reactivos.

Las *o*-quinonas someten a una polimerización que produce componentes de alto peso molecular o pigmentaciones oscuras (melaninas). Estas melaninas a su vez reaccionan con aminoácidos y proteínas que producen un oscurecimiento. Existen numerosos estudios enfocados en inhibir o prevenir la actividad del polifenol oxidasa en alimentos, Barbosa en 2006, clasifica los principios en:

- ↪ Inhibición o inactivación de la enzima
- ↪ Eliminación o transformación del sustrato

Existen diversos métodos con mecanismos específicos para el control de oscurecimiento enzimático. Estos actúan sobre uno o más componentes (oxígeno, enzimas, cobre o sustratos). Puesto que las enzimas polifenoloxidasas son reductoras, la reacción puede ser retardada con la eliminación total o parcial de oxígeno de la superficie de la fruta fresca cortada (Mc Hugh y Senesi, 2000). La exclusión del oxígeno es posible con la inmersión en jarabes, agua desoxigenada, o recubrimientos de frutas con película permeable a los gases. Los recubrimientos comestibles además contribuyen a evitar la pérdida de masa por dilución (Barbosa *et al*, 2006).

1.4 Atmósferas protectoras

Las atmósferas protectoras son técnicas de envasado ampliamente utilizadas para la conservación de productos mínimamente procesados con el objetivo de mantener su calidad sensorial y prolongar su vida comercial. Estas atmósferas implican la eliminación del aire contenido en el paquete seguida o no de la inyección de un gas o mezcla de gases seleccionado de acuerdo a las propiedades del alimento (García *et al.*, 2006). Estos sistemas de envasado generan un ambiente gaseoso óptimo para la conservación del producto donde el envase es una barrera a los gases y vapor de agua, que además aísla el producto de la atmósfera ambiental contribuyendo con ello a la conservación del producto (Mangaraj y Goswami, 2009), conforme se muestra en la figura 3.

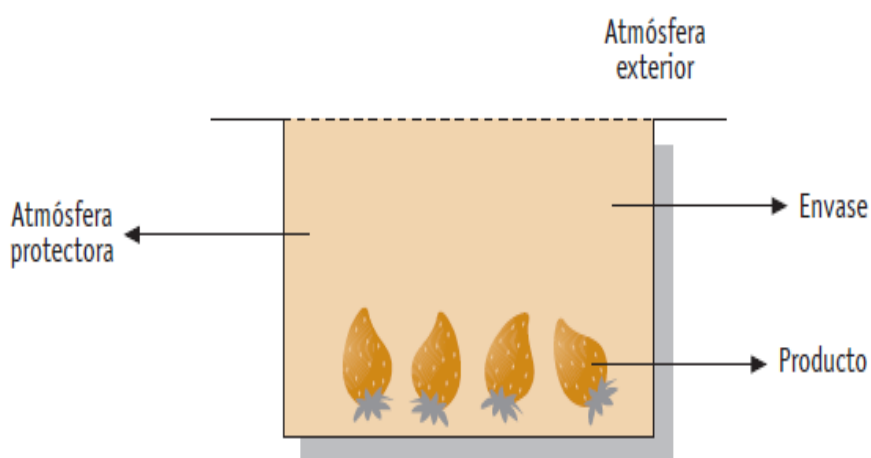


Figura 3. Alimento envasado en atmósfera protectora (García *et al.*, 2006).

Dependiendo de las modificaciones realizadas en el entorno del producto envasado se distinguen tres tipos de atmósferas protectoras (Iglesias, 2006):

- a) *Vacío, cuando se elimina el aire del interior del recipiente.*
- b) *Atmósfera controlada, si se inyecta un gas o mezcla de gases tras la eliminación del aire y se somete a un control constante durante el periodo de almacenamiento.*

c) *Atmósfera modificada, cuando se extrae el aire del envase y se introduce, a continuación, una atmósfera creada artificialmente cuya composición no puede controlarse a lo largo del tiempo.*

Las estructuras multicapa formadas por polímeros distintos cuentan con una permeabilidad muy baja y preservan mejor la atmósfera interna del envase. Por último, hay una amplia variedad de equipos de envasado en atmósfera protectora en el mercado que responde a las diversas necesidades derivadas del tipo de alimento a envasar, los formatos de envase deseados y los niveles de producción de cada fabricante (López-Rubio *et al*, 2006).

Las tecnologías de envasado en atmósfera protectora permiten un cierto control sobre las reacciones químicas, enzimáticas y microbianas responsables del deterioro de los alimentos durante su almacenamiento y comercialización. Para mantener un nivel de calidad óptimo durante estas etapas deben considerarse ciertos factores intrínsecos y extrínsecos al producto, que se describen a continuación. (Jongen, 2002).

1.4.1 Factores intrínsecos y extrínsecos que determinan la calidad del producto

a) *Intrínsecos*

- ↪ Características físico-químicas del alimento conforme a su actividad de agua, pH, potencial óxido-reducción, etc.
- ↪ La composición del producto (nutrimentos disponibles para el crecimiento de microorganismos, presencia de componentes antimicrobianos naturales, existencia de enzimas activas).
- ↪ Características organolépticas iniciales puesto que los sistemas de EAP no enmascaran los atributos negativos de los productos de calidades inferiores.
- ↪ Condiciones higiénico-sanitarias de la materia prima y del producto final antes de su envasado.

b) *Extrínsecos*

- ↪ El diseño de la atmósfera protectora en función de las propiedades del producto con la incorporación del tipo de gas más adecuado a las concentraciones de mayor eficacia.
- ↪ La relación entre el volumen del gas inyectado y el volumen del alimento que se desea envasar. Esta relación debe ser igual o superior a dos, excepto en los productos de la pesca donde se recomienda que este valor aumente hasta tres. En caso contrario, los efectos protectores de la atmósfera son poco apreciables.
- ↪ La elección de un material de envasado capaz de salvaguardar las condiciones creadas dentro del paquete, prestando especial atención a su permeabilidad frente a los gases y la humedad.
- ↪ Las condiciones higiénico-sanitarias de los equipos utilizados en la elaboración del alimento, las instalaciones y el material de envasado junto con una correcta manipulación del producto a envasar.
- ↪ El empleo de otras técnicas complementarias de conservación que contribuyan a prolongar la vida útil del alimento envasado en atmósfera protectora por ejemplo, el uso de aditivos, el almacenamiento a temperaturas de refrigeración, etc. (López-Rubio *et al.*, 2006).

1.4.2 **Ventajas y desventajas de la utilización de atmósferas protectoras**

a) *Ventajas*

- ↪ El incremento del tiempo de vida de los alimentos, debido a que este sistema retrasa y/o evita el desarrollo microbiano y el deterioro químico y enzimático. Este aumento en la vida comercial es muy importante para los productos frescos y mínimamente procesados que presentan una duración muy limitada sin un envasado en atmósfera protectora.
- ↪ La reducción de la intensidad de otros tratamientos complementarios de

conservación para alcanzar un mismo tiempo de vida. Por ejemplo, es posible disminuir la cantidad de aditivos o aumentar la temperatura de almacenamiento sin acortar la duración del producto.

- ↪ La optimización de la gestión de almacenes. Al tratarse de envases cerrados herméticamente pueden almacenarse distintos alimentos en el mismo recinto sin riesgo de transmisión de olores entre ellos o con el ambiente.
- ↪ La simplificación de la logística de distribución. Con una vida útil más larga puede reducirse la frecuencia de reparto (lo que supone un coste menor de transporte) y ampliarse la zona geográfica de distribución.
- ↪ La reducción de los costos de producción y almacenamiento, en general, debido a que pueden gestionarse con más facilidad las puntas de trabajo, los espacios y los equipos.
- ↪ Una mejora en la presentación del alimento porque el EAP contribuye a proporcionar una imagen de fresca y de producto natural. Además, suelen emplearse materiales de envasado brillantes y transparentes que permiten una visualización óptima del alimento (Scully y Horsham., 2007).

b) Desventajas

- ↪ La necesidad de diseñar una atmósfera adecuada a las características específicas del alimento, seleccionando el gas o gases más apropiados a la concentración de mayor eficacia.
- ↪ La elevada inversión inicial en la maquinaria de envasado y en los sistemas de control para detectar perforaciones en los envases, la cantidad de oxígeno residual y las variaciones en la composición gaseosa de la atmósfera creada.
- ↪ El costo de los materiales de envasado y de los gases utilizados (excepto en el envasado al vacío).
- ↪ El incremento en el volumen de los paquetes (excepto en el envasado al vacío) que supone un aumento en el espacio requerido para su almacenamiento, transporte y exposición.

- ↪ La necesidad de personal calificado, en algunos casos, para el manejo de la maquinaria de envasado, las plantas de obtención de gases *in situ*, los equipos para su mezcla y los sistemas de control correspondientes.
- ↪ El riesgo de desarrollo de microorganismos en el alimento si se producen abusos en la temperatura de conservación, por ejemplo, por parte de los distribuidores y del propio consumidor.
- ↪ Problemas de colapso del envase, la formación de exudado sobre el alimento en atmósferas ricas en dióxido de carbono, la aparición de patologías vegetales derivadas del almacenamiento en atmósfera controlada, etcétera (Keay, 2012).

1.4.3 Envasado a vacío

El primer método de envasado en atmósfera protectora que se utilizó comercialmente fue el envasado al vacío (EV). Se trata de un sistema que únicamente conlleva la eliminación del aire contenido en el paquete. El proceso involucra en envasado del producto en una película plástica cuyo contenido de oxígeno es bajo. Si el proceso se realiza de forma adecuada la cantidad de oxígeno residual es inferior al 1%. En este caso, el material de envasado se pliega en torno al alimento como resultado del descenso de la presión interna frente a la atmosférica. Dicho material debe presentar una permeabilidad muy baja a los gases, incluido el vapor de agua. Inicialmente, el vacío se limitaba al envasado de carnes rojas, carnes curadas, quesos duros y café molido. En cambio, en la actualidad se aplica a una extensa variedad de productos alimenticios (Mathoouth, 1994; Parry, 1993).

Las frutas y hortalizas continúan respirando una vez cosechados, consumiendo oxígeno y produciendo dióxido de carbono y vapor de agua, utilizando el método EV y el empleo de bajas temperaturas de almacenamiento, se logra reducir la tasa de respiración y por lo tanto se retarda el proceso de maduración, la proliferación microbiana y oscurecimiento enzimático, por lo que resulta una alternativa funcional para el tratamiento de alimentos mínimamente procesados (Zhao y Xie, 2004).

1.4.4 Frutas y vegetales conservados en atmósferas modificadas

La respiración de frutas es un complejo fenómeno bioquímico en donde los carbohidratos, ácidos orgánicos y otras fuentes de energía son metabolizados en moléculas simples con la producción de calor. Los productos de la respiración aeróbica son el dióxido de carbono y el vapor de agua, mientras que los productos de fermentación; el etanol, el acetaldehído y los ácidos orgánicos son producidos en condiciones anaerobias. Si se modifica la atmósfera con respecto al contenido de oxígeno resulta un descenso en la tasa de respiración del fruto. A continuación se describen las propiedades que afectan a la respiración (Parry, 1994).

1.4.4.1 Factores propios del alimento

a) Tasa de respiración

Es un indicador de la rapidez con la que se dan los cambios en los componentes de un producto frutihortícola y por tanto, refleja la vida útil potencial de éstos. La actividad respiratoria medida como la tasa de producción de dióxido de carbono, es un fenómeno en el que pueden influir factores como la variedad del alimento, el tamaño, la madurez, el tipo de tejido y la preparación del producto. Por las razones antes mencionadas, un producto que ha sufrido daños por corte, tiene una mayor área superficial en contacto con el oxígeno y por lo tanto se produce una mayor tasa de respiración que el fruto entero, como se esquematiza en figura 4. En el caso de mango se ha observado que la respiración es diferente en la piel, en la pulpa y la semilla. La actividad respiratoria está afectada directamente por la temperatura y la atmósfera modificada según Barreiro en 2006. Siendo la atmosfera modificada empobrecida en O₂ y vapor de agua, respecto del aire (78.08 N₂, 20.95 O₂, 0.03 CO₂, 0.94 Gases nobles). Diseñada generalmente por membranas de polímeros plásticos sintéticos de características altamente selectivas al paso de los gases

(O₂, CO₂, N₂, C₂H₂, H₂O, etc.) confiriéndole la propiedad de barrera semipermeable y las cuales describiremos en el tema 1.4.3.

b) Acidez y potencial hidrógeno

El pH de las frutas y hortalizas influye en los tipos de deterioro causados por microorganismos que pueden desarrollarse y reproducirse durante la vida útil de un producto. La mayoría de las frutas tienen un pH por debajo de 4.5 (Holdsworth, 2008). Bajo condiciones ácidas, se reducen altamente las posibilidades del *Clostridium botulinum* para crecer y producir su mortal toxina. Consecuentemente, estos frutos ácidos pueden ser seguros si se les somete a condiciones de vacío o se les envasa y sella herméticamente.

a) Estructura biológica

La resistencia de los tejidos frutihortícolas a la difusión de oxígeno y dióxido de carbono, etileno y vapor de agua depende de la estructura biológica del mismo.

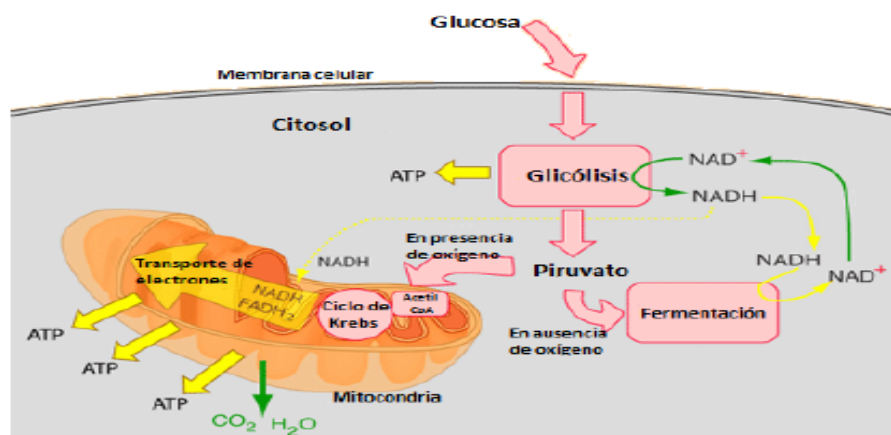


Figura 4. Esquema del ciclo de respiración (Nave, 2013).

1.4.4.2 Factores del procesamiento

a) Cosecha

La cosecha de frutas y vegetales en condiciones óptimas de maduración es uno de los factores básicos que afectan la calidad y subsecuentemente la vida útil del producto. La determinación de la madurez depende de varios factores, incluyendo el propósito del producto, generalmente, los frutos y vegetales para procesamiento y envasado son normalmente cosechados antes de su maduración; en esta etapa la textura es más firme, y por consiguiente el daño por manipulación puede ser minimizado.

b) Manipulación

El manejo cuidadoso del producto resulta en una reducción en la formación de magulladuras y puede incrementar la vida útil del producto, así como minimizar la merma del producto. El daño mecánico afecta la calidad del producto incrementando la pérdida de humedad, la actividad enzimática, la susceptibilidad al ataque microbiano, la decoloración y la respiración.

c) Higiene

Un riguroso y sistemático control de las buenas prácticas agrícolas es esencial durante la cosecha, la manipulación, la preparación, el proceso, el almacenamiento, la distribución y el consumo final de frutas envasadas bajo atmósferas protectoras.

d) Temperatura

Mantener un control apropiado de temperatura después de la cosecha, es uno de los más importantes factores extrínsecos que afectan la calidad del producto con atmósfera

modificada. Temperaturas entre 0 y 5 °C son recomendables para el almacenamiento de productos envasados de esta manera. La importancia de una correcta temperatura de almacén retarda el deterioro o cambios en el producto.

e) Pérdida de agua y humedad relativa

La pérdida de humedad trae como consecuencia marchitez y arrugamiento, por lo que se pierde la frescura del fruto. Sabiendo que las frutas y vegetales tienen un contenido de 80-95 % de agua, estas pierden agua estando a humedades relativas menores a dicho intervalo, causando deterioro antes mencionado y mermas de producto. La condensación en la película plástica afecta las propiedades de permeabilidad de ciertos polímeros, promoviendo una atmósfera no favorable. Manteniendo las temperaturas de enfriamiento ayudar a prevenir las pérdidas por transpiración de humedad.

Otros factores que es necesario tomar en cuenta son el tipo de fruto y el grado de preparación. Por ejemplo, las frutas con mayor superficie de contacto por unidad de peso tienen una tasa de pérdida de agua mayor. Los frutos cortados o procesados generalmente pierden agua más rápido que los frutos enteros debido a la barrera protectora que contiene el fruto entero, además del área de contacto directa en contacto con el ambiente.

1.4.3 Envases de poliestireno-polietileno

Un envase es un producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza y que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde materias primas. La elección del polímero depende de los requerimientos convenientes de permeabilidad a los gases y al vapor de agua.

En seguida se describen los polímeros utilizados en el envasado de alimentos bajo

atmósferas protectoras (Montero-Calderón, 2007).

a) Polietileno de baja densidad

Al ser un polímero muy versátil, es el componente de mayor proporción en los envases plásticos. Entre sus propiedades es inerte a químicos, su permeabilidad es moderada para el vapor de agua y alta para el oxígeno. En general, su permeabilidad a gases es alta y es pobre como barrera de olores. Cuando se utiliza en otras películas para tapas, redes de base, bandejas preformadas, bolsas de embalaje de gas a granel o extrusión horizontal / vertical para sellar pueden ser laminados, recubiertos, o en algunos casos, coextruidos.

b) Polietileno de alta densidad

Tiene propiedades de barrera superiores al polietileno de baja densidad y es una película más fuerte. No es adecuada para el sellado por lo que no es común utilizarla de red base, por lo que puede ser empleada en coextruidos, componiendo la tapa del envase.

c) Poliestireno

Es un termoplástico con alta resistencia, sin embargo su barrera es baja contra la humedad y el vapor de gases. El poliestireno primario intrínsecamente frágil, pero al mezclarlo con butadieno o polibutadieno se puede hacer termoformable, aunque pierde la claridad del envase (Parry, 1993).

Los envases coextruidos de poliestireno-polietileno son polímeros de grado alimentario en donde el polietileno es el polímero que está en contacto con el alimento y realiza la función de sellado, es transparente y de grado alimenticio, mientras que el poliestireno es el material externo que puede ser traslúcido, blanco o de color. Dicho coextruido tiene

propiedades específicas, tales como alta resistencia a sustancias químicas, ácidos, bases, aceites y grasas, crea un excelente termosellado que puede ser pelable, gran resistencia al impacto y a bajas temperaturas, y es reciclable, sin embargo, posee baja permeabilidad al vapor de agua. Entre sus diferentes aplicaciones se encuentran el envasado de yogurt, postres, helados, congelados, masas frescas, etcétera (Robertson *et al.*, 2006).

1.5 Deshidratación osmótica

1.5.1 Definición de presión osmótica

La presión osmótica es una propiedad coligativa y es una de las principales características que deben tener en cuenta en las relaciones de los líquidos intersticiales e intravasculares que constituyen el medio interno. Un comportamiento que contiene soluciones de distinta concentración al medio extracelular que la rodea, creando una barrera de control de solutos. Cuando una solución se pone en contacto con el disolvente a través de una membrana semipermeable que deja pasar a las moléculas de disolvente pero no las de soluto, las moléculas de disolvente, que están en mayor concentración en el disolvente puro, difunden hacia la solución, donde su concentración es más pequeña. Se puede llegar a una situación de equilibrio contrarrestando esa tendencia mediante la aplicación de una cierta fuerza sobre la disolución, aumentando la presión (aplicación de fuerza en una determinada área, lo que se conoce como presión osmótica de la solución y representada con la letra griega Π (Treybal, 1992).

1.5.2 El fenómeno de ósmosis

Si una membrana como la descrita, separa un líquido en dos particiones, una de agua pura y otra de agua con sal, suceden varias cosas, explicadas a fines del siglo XIX por Van 't Hoff y Gibbs empleando conceptos de potencial electroquímico y difusión simple,

entendiendo que este último fenómeno implica no sólo el movimiento al azar de las partículas hasta lograr la homogénea distribución de las mismas (y esto ocurre cuando las partículas que aleatoriamente vienen se equiparan con las que aleatoriamente van), sino el equilibrio de los potenciales químicos de ambas particiones. Los potenciales químicos de los componentes de una solución son menores que la suma del potencial de dichos componentes cuando no están ligados en la solución. Este desequilibrio genera un flujo de partículas disolventes hacia la zona de menor potencial que se expresa en una presión osmótica mensurable en términos de presión atmosférica, que está en relación directa con la osmolaridad de la solución.

El disolvente fluirá hacia el soluto hasta equilibrar dicho potencial o hasta que la presión hidrostática equilibre la presión osmótica. El resultado final es que, aunque el agua pasa de la zona de baja concentración (solución hipotónica) a la de alta concentración (solución hipertónica) y viceversa, hay un flujo neto mayor de moléculas de agua que pasan desde la zona de baja concentración a la de alta (Treybal, 1992). En la figura 5, la fase 1 representa una solución concentrada (C') y la fase 3 una solución diluida (C''). La discontinuidad que observa la interfase frente a la membrana se debe a que esta capa es unos cuantos diámetros moleculares, por lo que macroscópicamente se observará una caída brusca en los valores de la concentración de la fase 1 al acercarse a la membrana (fase 2): la interfase conlleva también una disminución en el valor de la presión. Este cambio se debe particularmente a una alteración local de la cantidad de movimiento, debido a la presencia de una asimetría por la exclusión del soluto.

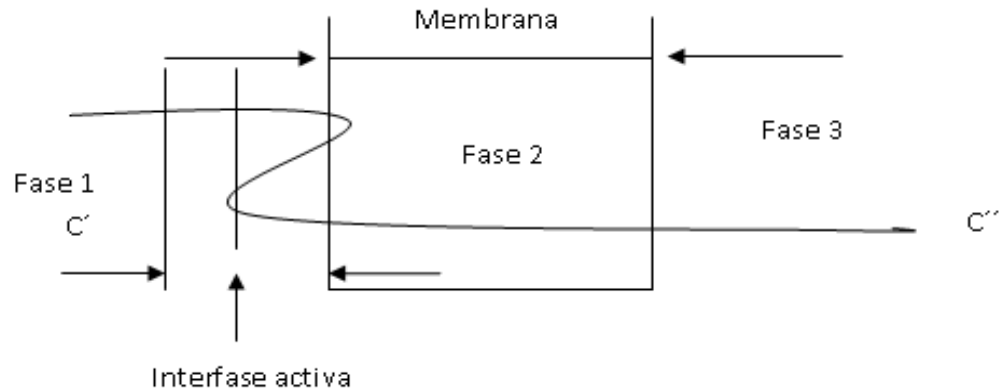


Figura 5. Esquematación de la deshidratación osmótica.

1.5.3 Definición de deshidratación osmótica

Es un proceso de eliminación de agua basado en el gradiente de agua y su actividad de solubilidad a través de la membrana semipermeable de una célula, según se describe en la figura 6. La velocidad de pérdida de agua en la deshidratación osmótica depende de la concentración de la solución osmótica, el tiempo de contacto, la temperatura del proceso, la relación de solución osmótica a materiales alimenticios, así como el área superficial expuesta, mismamente de la humedad relativa, la presión de vapor, siendo estas últimas dos variables no controlables. La deshidratación osmótica es un proceso intermedio que consiste en la inmersión de un alimento en una solución hipertónica. La osmosis se basa en el movimiento molecular de ciertos componentes de una solución a través de una membrana semipermeable hacia una solución menos concentrada (Treybal, 1992).

En este proceso ocurren dos fenómenos de transferencia de masa; agua desde el alimento hacia la solución, mientras los sólidos se difunden a través del tejido y hacia el seno del alimento. (Ferrari *et al.*, 2011; Rodrigues, 2006). La osmodeshidratación es un pretratamiento a procesos como el secado, freído y congelación de alimentos. Considerado uno de los métodos más utilizados para producir alimentos mínimamente procesados.

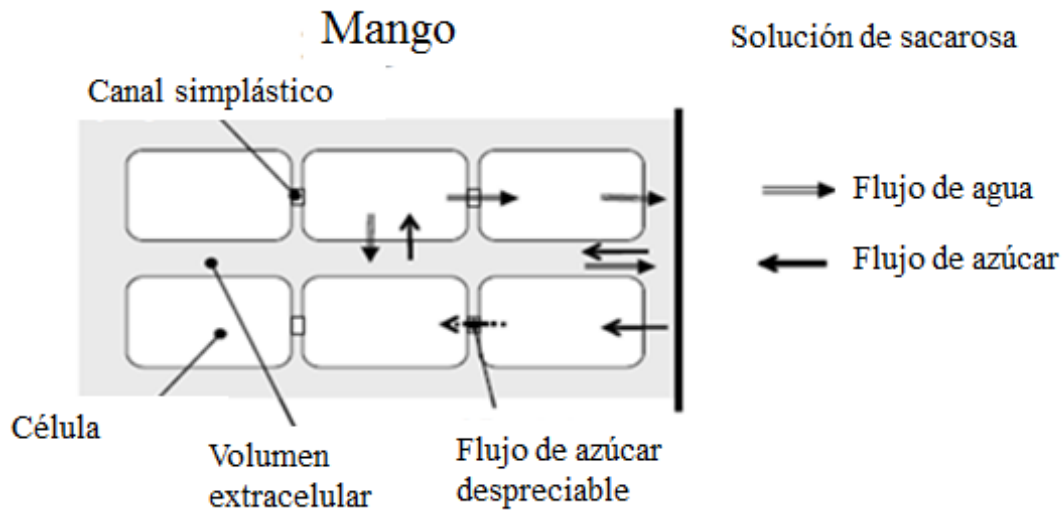


Figura 6. Esquema de transferencia de masa en deshidratación osmótica (Floury *et al.*, 2008).

1.6 Cinética de reacción

La cinética describe el comportamiento, empírico y experimental, de eventos moleculares durante la reacción de dos o más componentes y la influencia de las variables inmersas en este sistema. La cinética de reacción está conformada por la rapidez de formación y la rapidez de descomposición. Esta rapidez no es constante y depende de varios factores, como la concentración de los reactivos, la presencia de un catalizador, la temperatura de reacción y el estado físico de los reactivos (Mundada *et al.*, 2013); Van Boekel, 2008) que posteriormente se mencionan. Uno de los factores más importantes es la concentración de los reactivos. Cuanto más partículas existan en un volumen, más colisiones hay entre las partículas por unidad de tiempo.

Al principio, cuando la concentración de reactivos es mayor, también es mayor la probabilidad de que se den colisiones entre las moléculas, y la rapidez es mayor. A medida que la reacción avanza, al ir disminuyendo la concentración de los reactivos, disminuye la probabilidad de colisión y con ella la rapidez de la reacción. La medida de la rapidez de reacción implica la medida de la concentración de uno de los reactivos o productos a lo largo del tiempo, esto es, para medir la rapidez de una reacción necesitamos medir la

cantidad de reactivo que desaparece por unidad de tiempo, o bien la cantidad de producto que aparece por unidad de tiempo (Van Boekel, 2008; Atkins, 2006). La rapidez de reacción se mide en unidades de concentración/tiempo.

1.6.1 Factores que determinan la cinética de reacción

a) Temperatura

Generalmente, la cinética de reacción aumenta con la temperatura, ya que las moléculas sufren un incremento en su energía, por lo tanto se mueven más rápido y chocan con más frecuencia y fuerza (Atkins, 2006).

b) Estado físico de los reactivos

Si en una reacción interactúan reactivos en distintas fases cuyos componentes se difundirán a diferentes velocidades. En este caso una mayor área de contacto reduce la resistencia al transporte, sin embargo, también son muy importantes la difusividad del reactivo en el medio y su solubilidad, dado que esta es el límite de la concentración del reactivo, y viene determinada por el equilibrio entre las fases (Atkins, 2006).

c) Presencia de un catalizador

Los catalizadores pueden aumentar o disminuir la rapidez, así como modificar el mecanismo de reacción, requiriendo una mayor o menor energía de activación para funcionar (Atkins, 2006).

d) Concentración

La mayoría de las reacciones son más rápidas entre más concentrados se encuentren los

reactivos ya que se promueve una mayor frecuencia de colisión entre las moléculas del sistema. La obtención de una ecuación que pueda emplearse para predecir la dependencia de la rapidez de reacción con las concentraciones de reactivos es uno de los objetivos básicos de la cinética química. Esa ecuación, que es determinada de forma empírica, recibe el nombre de ecuación de rapidez. De este modo si consideramos de nuevo la reacción hipotética la rapidez de reacción "r" puede expresarse como:

$$r = k[A]^m[B]^n$$

Ecuación 1. Rapidez de reacción

Los términos entre corchetes son las molaridades de los reactivos y los exponentes m y n son coeficientes que, salvo en el caso de una etapa elemental, no tienen por qué estar relacionados con el coeficiente estequiométrico de cada uno de los reactivos. Los valores de estos exponentes se conocen como orden de reacción. Existen casos en que la rapidez de reacción no es función de la concentración, en estos casos la cinética de la reacción está condicionada por otros factores del sistema como por ejemplo la radiación solar, o la superficie específica disponible en una reacción gas-sólido catalítica (Atkins, 2006).

e) Presión

En una reacción química, si existe una mayor presión en el sistema, ésta va a variar la energía cinética de las moléculas. Entonces, si existe una mayor presión, la energía cinética de las partículas va a aumentar y la reacción se va a llevar a cabo rápidamente (Atkins, 2006).

f) Luz

La luz es una forma de energía. Algunas reacciones, al ser iluminadas, se producen más rápidamente, como ocurre en el caso de la reacción entre el cloro y el hidrógeno. En

general, la luz arranca electrones de algunos átomos formando iones, con lo que aumenta considerablemente la velocidad de reacción (Atkins, 2006).

Los factores antes mencionados aportan cierta energía para que se lleve a cabo una reacción. En 1888, el químico sueco Svante Arrhenius sugirió que las moléculas deben poseer una cantidad mínima de energía para reaccionar. Esa energía proviene de la energía cinética de las moléculas que colisionan. La energía cinética sirve para originar las reacciones, pero si las moléculas se mueven muy lento, las moléculas solo rebotarán al chocar con otras moléculas y la reacción no sucede. Para que reaccionen las moléculas, éstas deben tener una energía cinética total que sea igual o mayor que cierto valor mínimo de energía llamado energía de activación (E_a). Una colisión con energía E_a o mayor, consigue que los átomos de las moléculas alcancen el estado de transición pero para que se lleve a cabo la reacción es necesario también que las moléculas estén orientadas correctamente. La constante de la rapidez de una reacción (k) y la temperatura está dada por la ecuación de Arrhenius, en donde A es el factor de frecuencia de la materia prima con la presión, R la constante de los gases ideales y T la temperatura del sistema (Van Boekel, 2008; Atkins, 2006).

$$k = Ae^{(-E_a/RT)}$$

Ecuación 2. Ecuación de Arrhenius

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Optimizar las condiciones de preparación y envasado de mango (*Mangifera indica* variedad Ataulfo), cortado y con líquido de cobertura tipo chamoy relacionando las cinéticas de difusividad y cambios de firmeza, estimando la energía de activación y su inferencia en la vida útil del producto a diferentes temperaturas de almacenamiento.

2.1.2 Objetivo Particulares

Analizar los cambios en velocidades de difusión de sólidos solubles en mango cortado a diferentes condiciones de envasado y composición del líquido de cobertura, para la determinación de la influencia de las variables sobre la estabilidad del producto.

Evaluar los cambios de firmeza en mango cortado en función a la composición del líquido de cobertura, mediante el monitoreo a diferentes temperaturas y correlacionándolo con los cambios cinéticos para la optimización de variables por metodología de superficie de respuesta.

Establecer las mejores condiciones de envasado de mango cortado con líquido de cobertura tipo chamoy, con base en la difusividad másica y textura empleando la metodología de superficie de respuesta.

2.2 Hipótesis

Si el empleo de soluciones de bajo peso molecular permite la difusión de agua desde el alimento y la sustitución por el soluto, el empleo de un polisacárido modificará entonces la velocidad de difusión, que con el empleo de vacío durante el envasado y la utilización de bajas temperaturas, permitirán obtener un producto con mejores características texturales y un mejor control de los procesos de difusión, menor enturbiamiento de la solución y por lo tanto un producto más atractivo al consumidor.

2.3 Justificación de variables y planteamiento del diseño experimental

Los alimentos mínimamente procesados, como la deshidratación osmótica, provocan un menor impacto fisiológico que tecnologías de conservación tradicionales, tales son el secado y la congelación de frutas; estas pueden tener un impacto negativo sobre las propiedades sensoriales del mismo. Las temperaturas recomendadas para frutos mínimamente procesados son de 4 °C a 15 °C (González-Aguilar *et al.*, 2005). Estudios anteriores revelan la influencia de la aplicación de vacío para promover la conservación de propiedades físicas (Derossi *et al.*, 2012), la envasadora a vacío Multivac modelo A 300/16, trabaja entre 690 y 300 mbar para productos con contenido de líquidos. El empleo de goma guar para mantener la textura en los alimentos no debiera ser mayor a una concentración de 1 % p/p (Meza-Godoy, 2006).

Los catalizadores pueden aumentar o disminuir la rapidez de reacción. Mientras que el modificar las condiciones de proceso, nos permitió emplear un diseño experimental de superficie de respuesta para la obtención de las mejores condiciones de proceso. En este estudio se empleó un diseño central rotatable 3^2 con 24 puntos en el cubo, 18 puntos centrales y 18 puntos axiales y con un valor de $\alpha = 1.681$, similar al publicado por Zambrano-Zaragoza *et al.*, 2003). Las variables de respuesta consideradas para el análisis fueron: ° Brix, firmeza, peso, volumen de líquido de cobertura, pH y turbidez, de las cuales se

realizaron las mediciones una vez por semana durante cinco semanas. En el cuadro 2, se muestran los niveles de variación y variables de respuesta utilizados en este trabajo.

Cuadro 2. Factores del trabajo experimental.

Factor de variación	Niveles de Variación	No. de Réplicas y Repeticiones	Variable Dependiente	Variable de Respuesta	Técnicas de Medición/Análisis
Temperatura de almacenamiento	-7 °C -2 °C 5 °C 12 °C 17 °C	3/3	°Brix pH Peso acidez	Estabilidad del producto	Índice de refracción Refractómetro AO Potenciómetro
Goma Guar	0.19 %(p/p) 0.33 %(p/p) 0.54 %(p/p) 0.75 %(p/p) 0.89 %(p/p)	3/3	Esfuerzo de compresión	Firmeza de mango	Texturómetro Instron Análisis de superficie
Vacío	332 mbar 400 mbar 500 mbar 600 mbar 668 mbar	3/3	Difusión de sólidos solubles	Constante cinética y Energía de activación	Turbidimetría Análisis canónico

2.4 Metodología Experimental

2.4.1 Materiales y reactivos

La goma guar y los ingredientes de preparación fueron adquiridos en Drogería

Cosmopolita S. A. de C.V.; se utilizó esencia de chamoy, sabor chamoy, ácido cítrico, goma guar, sorbato de potasio y agua destilada, Cloruro de Calcio (BASF, México). Jarabe de glucosa (La Madrileña, México), Cloruro de benzalconio e hipoclorito de sodio, los últimos dos empleados como sanitizantes.

2.4.2 Material Biológico.

El mango (*Mangifera indica*) variedad Ataulfo fue adquirido en un lote de 23 kg en la central de abastos de Tultitlán, Estado de México y seleccionado de acuerdo a su estado de madurez, considerando el color de la piel, firmeza y sólidos solubles presentes.

2.4.3 Procesamiento del mango

El mango objeto de este estudio se seleccionó con base a su estado de madurez, cuidando de que el color fuera amarillo homogéneo y con un contenido de azúcares solubles de 15 a 22 °Brix. La figura 7 representa una muestra de envasado y la figura 8 muestra el diagrama de procesado del mango. El mango como materia prima fue lavado con jabón líquido, posteriormente se desinfectó sumergiéndolo en una solución de cloro con concentración de 1.5 mL por cada litro durante 3 minutos, después de este tratamiento se escurrió el mango y se procedió al pelado, seleccionando cachetes uniformes. Luego del pelado se rebano en cubos de 1.5 x 1.2 x 1.2 cm.



Figura 7. Muestra de procesamiento de mango.

2.4.4 Preparación del líquido de cobertura

El líquido de cobertura se elaboró con 70% de jarabe de azúcar con 50 °Brix, y 30% de solución de ácido cítrico al 3%, esencia de chamoy, sabor chamoy y sorbato de potasio como conservador. Se utilizó goma guar, polisacárido en concentraciones diferentes (Ver Cuadro 2). La dispersión de los ingredientes se realizó en el agitador de propela Heidolph, a 1,500 rpm, con dos ciclos de 5 minutos y a una temperatura de 50 ± 2 °C con la ayuda de una parrilla de agitación y calentamiento de la marca modelo RH-KTC, de la marca IKA.

2.4.5 Caracterización de las cámaras de refrigeración

Las cámaras de refrigeración del laboratorio dieciséis de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de campo 4, fueron acondicionadas para trabajar a las temperaturas citadas en el cuadro 2. El registro de las temperaturas se llevó a cabo utilizando un termopar tipo K con sistema de adquisición de datos digital EL-USB-TC, a partir de este se obtuvieron los historiales térmicos correspondientes que sirvieron como base para el ajuste de temperaturas a través del termostato del sistema, se consideró para fines de la experimentación una distribución homogénea de temperatura.

2.5 Cinética de difusión

La deshidratación osmótica se realizó colocando el mango en cubos y el líquido de cobertura en bolsas de poliestireno-polietileno (PS-PE) de dimensiones 11.1 por 17.5 cm, las muestras envasadas como se menciona anteriormente, se conservaron de 1 a 5 semanas a diferentes condiciones de almacenamiento a baja temperatura en tres refrigeradores de marcas “Glacial”, “Nieto” y “White Westinghouse”, acondicionados previamente para conservar temperaturas de 5 °C, de 2 a 7 °C y de 12 a 17 °C, respectivamente. Se midió la rapidez en que los cubos de mango ganan sólidos solubles y pierden agua por medio del Refractómetro manual marca AO, modelo 10431, con escala de medición de 0 a 50 °Bx y

con precisión de ± 0.3 °Bx.

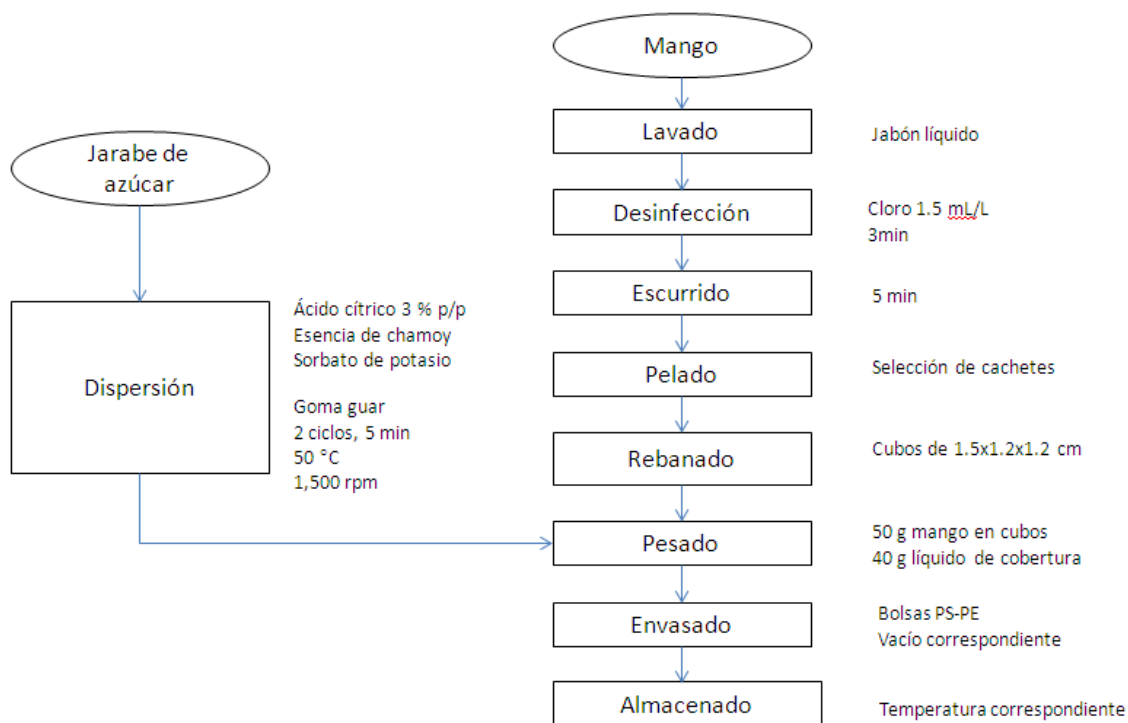


Figura 8. Diagrama de bloques para el procesamiento de mango.

2.6 Métodos, técnicas e instrumentos de control

2.6.1 Técnica de muestreo

El mango cortado, con líquido de cobertura, envasado y almacenado a bajas temperaturas, fue evaluado cada semana por triplicado durante cinco semanas.

2.6.2 Técnica para la determinación de propiedades fisicoquímicas

a) *Determinación de pH*

Se utilizó el Microprocesador Potenciómetro de la marca Hanna Instruments, modelo pH213, ver en la figura 9, el cual se calibró introduciéndolo en una solución buffer de pH 7 y posteriormente en un pH 4. Después se midió el pH de los cubos de mango en solución de agua destilada, registrando su valor. En el caso del líquido de cobertura, el potencial de hidrógeno se midió directamente.



Figura 9. Evaluación de pH en potenciómetro Hanna Instruments.

b) *Determinación de ° Brix*

Se determinaron los grados Brix en el líquido de cobertura y en los cubos de mango colocando una muestra sobre el refractómetro manual AO (figura 10), tomando una lectura directa a través del lente.

a) *Determinación de la concentración de sólidos disueltos en el líquido de cobertura*

Se realizó una curva patrón que describa el comportamiento de las unidades nefelométricas en función de la concentración de sólidos disueltos en el líquido de cobertura. Se realizaron diluciones del líquido de cobertura de la muestra y se midieron las unidades nefelométricas en el Turbidímetro LP 2000, con longitud de onda de 890 nm y ángulo de lectura de 90° según se indica la figura 11 (a-b).



Figura 10. Refractómetro manual AO.

b) *Determinación del peso del mango*

La determinación del peso se llevó a cabo en la balanza analítica Sartorius, pesando los cubos antes del envasado y después del tiempo de almacenamiento establecido.

La pérdida de peso se calculó cada semana, durante 5 semanas mediante la siguiente ecuación:

$$\%PP = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Ecuación 3. Determinación de peso del mango

Dónde:

%PP = Porcentaje de pérdida de peso

P_i = peso inicial

P_f = peso final

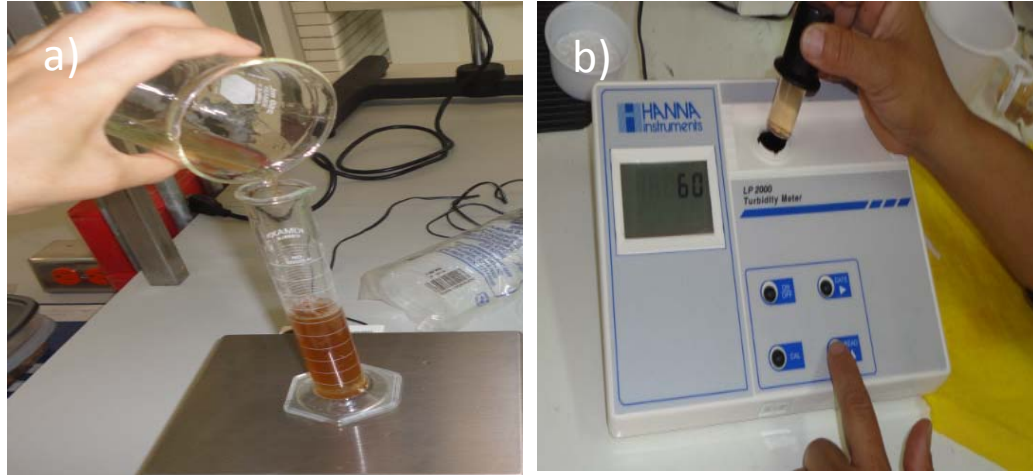


Figura 11. Determinación de la concentración de sólidos disueltos en el líquido de cobertura.(a-b).

2.6.3 Técnicas para la determinación de propiedades físicas

c) Determinación de volumen del líquido de cobertura

El volumen del líquido de cobertura drenado de la muestra se midió en una probeta graduada de la marca KYMAX cuya precisión es de ± 1 mL.

d) Determinación de firmeza del mango

La firmeza se determinó mediante el análisis de textura en el equipo Instron, según se muestra en la figura 12, en donde se utilizó un método compresivo, placa plana y cuyo nivel mínimo de carga fue de 0.00015 N.



Figura 12. Determinación de firmeza de cubos de mango.

2.6.4 Cálculo para la obtención de difusividad efectiva de sólidos y de humedad.

a) Determinación de la difusividad efectiva de sólidos

La difusividad efectiva de sólidos se obtuvo mediante la siguiente base de cálculo:

$$SG = \frac{^{\circ}Bx_t - ^{\circ}Bx_{\infty}}{^{\circ}Bx_i - ^{\circ}Bx_{\infty}}$$

Ecuación 4. Cálculo de ganancia de sólidos

En dónde:

SG = Ganancia de sólidos

$^{\circ}Bx_t$ = grados Brix al tiempo t

$^{\circ}Bx_{\infty}$ = grados Brix al infinito

$^{\circ}Bx_i$ = grados Brix iniciales

(Ferrari *et al.*, 2011).

(1) Graficar SG en función del tiempo, según la figura 13:

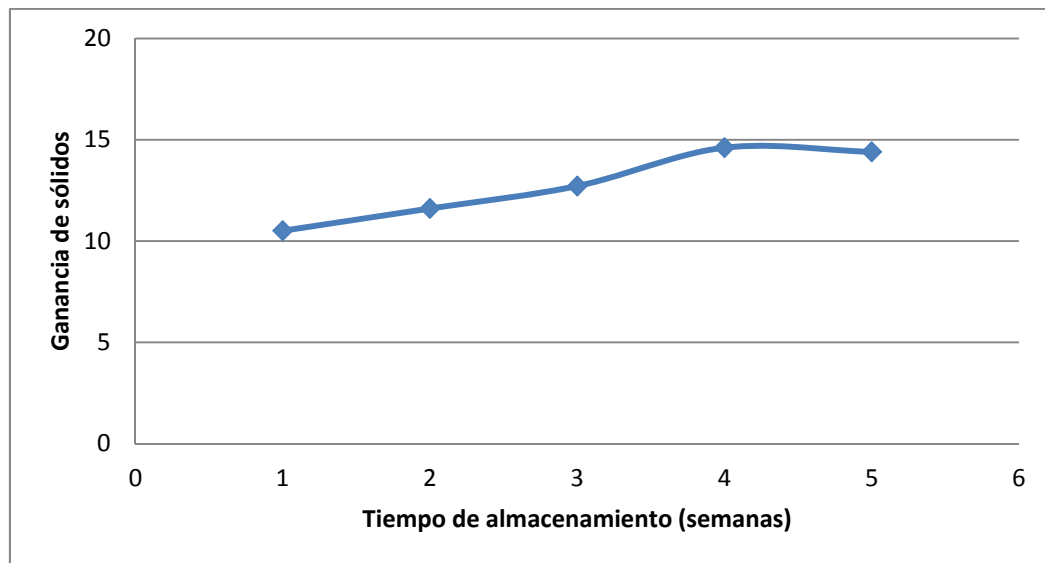


Figura 13. Comportamiento típico de ganancia de sólidos durante el tiempo de almacenamiento

(2) De la pendiente obtenida de se despeja la difusividad efectiva con la siguiente ecuación:

$$SG = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 \times De \times t}{4L^2}\right)$$

Ecuación 5. Cálculo de difusividad efectiva.

En dónde:

SG = ganancia de sólidos

De = difusividad efectiva de sólidos

t = tiempo de almacenamiento (semanas)

L = longitud característica (metros)

(Alakali, *et al.*, 2006).

b) *Determinación de la difusividad efectiva de humedad*

La difusividad efectiva de humedad se obtuvo mediante la siguiente base de cálculo, para esta prueba se utilizó la termobalanza de la marca OHAUS, modelo MB200, con capacidad para 200 g y con una precisión de $\pm 0.01\text{g}$.

$$WL = \frac{X_t - X_\infty}{X_i - X_\infty}$$

Ecuación 6. Obtención de pérdida de humedad.

En dónde:

WL = pérdida de humedad

X_t = humedad al tiempo t

X_∞ = humedad al infinito

X_i = humedad inicial

(Ferrari *et al.*, 2011).

(1) Trazar tendencia de WL, en función del tiempo, según la figura 14:

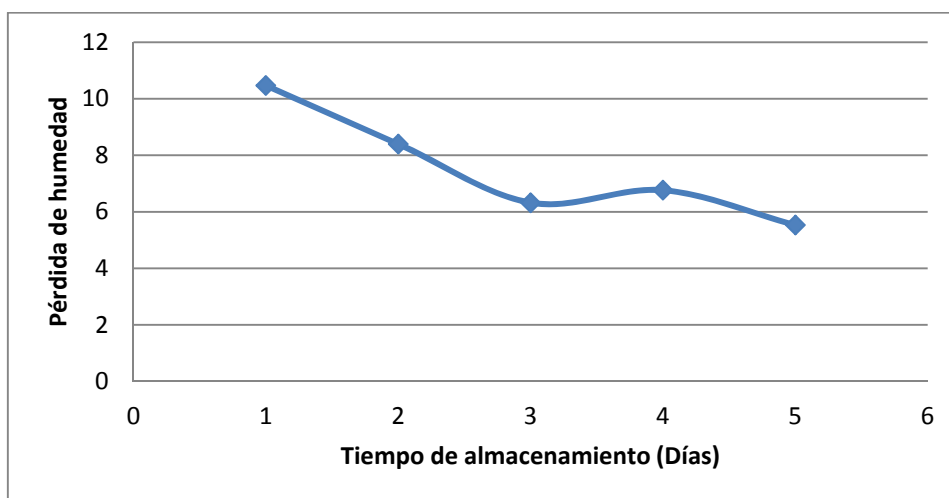


Figura 14. Comportamiento típico de la pérdida de humedad durante el tiempo de almacenamiento.

(2) De la pendiente obtenida de los primeros tres puntos del gráfico anterior se despeja la difusividad efectiva con la siguiente ecuación:

$$WL = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(\frac{-\pi^2 \times De \times t}{4L^2}\right)$$

Ecuación 7. Difusividad efectiva de humedad.

En dónde:

WL = pérdida de humedad

De = difusividad efectiva de sólidos

t = tiempo de almacenamiento (semanas)

L = longitud característica (metros)

(Alakali, *et al.*, 2006).

c) Determinación de la energía de activación de ganancia de sólidos.

La energía de activación se calculó para las mismas condiciones de concentración de goma guar (0.54 %p/p) y de vacío (500 mbar) a 3 temperaturas diferentes, que fueron: -7, 5 y 17 °C. Una vez obtenida la difusividad efectiva correspondiente a cada temperatura, se traza la gráfica del logaritmo natural de ésta, en función del inverso del tiempo y se obtiene la línea de tendencia central en donde la pendiente representa la energía de activación de acuerdo con la ecuación linealizada de Arrhenius aplicada a procesos difusivos (Panades *et al.*, 2008):

$$\ln De_s = \ln Do - \left(\frac{Ea}{R T}\right)$$

Ecuación 8. Ecuación linealizada de Arrhenius.

En dónde:

De_s = difusividad efectiva de sólidos

Do = factor difusivo de frecuencia

Establecimiento de condiciones de envasado a vacío de mango (*Mangifera Indica*) cortado con cobertura tipo chamoy.

Ea = energía de activación (kJ/mol)

R = 0.00831 = constante de los gases ideales ($kJ \cdot K \cdot mol^{-1}$)

T = temperatura absoluta (K)

d) Determinación de la energía de activación de pérdida de humedad

La energía de activación se calculó para las mismas condiciones de concentración de goma guar (0.54 %p/p) y de vacío (500 mbar) a 3 temperaturas diferentes, (-7, 5 y 17 °C). Una vez obtenida la difusividad efectiva correspondiente a cada temperatura, se traza el gráfico del logaritmo natural de ésta en función del inverso del tiempo y se obtiene la línea de tendencia central en donde la pendiente representa la energía de activación de acuerdo con la ecuación linealizada de Arrhenius aplicada a procesos difusivos:

$$\ln De_h = \ln Do - \left(\frac{Ea}{R} \frac{1}{T} \right)$$

Ecuación 9. Ecuación linealizada de Arrhenius aplicada a procesos difusivos.

En dónde:

De = difusividad efectiva de humedad

Do = factor difusivo de frecuencia

Ea = energía de activación (kJ/mol)

R = 0.00831 = constante de los gases ideales ($kJ \cdot K \cdot mol^{-1}$)

T = temperatura absoluta (K)

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Influencia de las variables sobre la difusividad efectiva de sólidos, humedad y energía de activación.

En la Cuadro 3, se muestran los coeficientes de regresión y los valores de probabilidad, indicativos del nivel de significancia de los factores estudiados sobre la difusividad efectiva para ganancia de sólidos y pérdida de humedad. Las variables lineales que tuvieron mayor influencia sobre la difusión efectiva de humedad, fueron el término lineal y cuadrático del vacío ejercido durante el envasado de las muestras, ($\alpha = 0.05$) durante el almacenamiento de mango deshidratado osmóticamente. En cuanto a las interacciones, la existente entre la temperatura y vacío, así también entre vacío y goma guar tuvieron un efecto significativo sobre el comportamiento de los coeficientes de difusión en concordancia con el artículo publicado por Shafiq *et al.* en 2010, en donde menciona la interacción de dichas variables para la optimización de la fruta aonla.

En cuanto a la difusión de sólidos solubles se mostró que, al igual que la humedad, el término lineal del factor vacío fue la variable con mayor influencia sobre las propiedades estudiadas, así como los términos cuadráticos de la temperatura y goma guar, atribuido esto a las modificaciones en la pared celular que promueven en conjunto con la temperatura el incremento en la difusión de sólidos. En cuanto a los procesos de deshidratación osmótica, Alakali *et al.*, (2006) e Ito *et al.*, (2007) reportaron poco efecto del vacío sobre el proceso de deshidratación osmótica, sin embargo en estos estudios se utilizaron temperaturas de entre 40 y 80 °C por lo que este factor fue el de mayor influencia sobre la cinética de difusión.

Para los gráficos de superficie de respuesta, se evaluó la interacción de dos variables y su efecto sobre las propiedades, mientras que la tercera variable se mantuvo constante. Las constantes fueron guar a 0.54% p/p, temperatura a 5 °C y vacío en 500 mbar. Lo que

buscamos en este apartado es la interacción de las variables a las cuales se logró conservar lo mayormente posible la propiedad de textura. En la figura 20, los contornos azules demuestran una menor conservación de textura por lo contrario a los verdes en tonalidades oscuras.

En la Figura 15(a-c), se muestra el efecto de los factores estudiados, tomando en consideración los puntos centrales del diseño. En la Fig. 15(a) se muestra el efecto del vacío y la temperatura sobre la difusividad efectiva de humedad, en donde a condiciones de vacío de entre 350 y 425 mbar, al incrementarse la temperatura, hay un efecto significativo sobre la difusividad efectiva de humedad, mientras que desde 600 mbar y hasta 450 mbar se obtiene la mayor difusividad teniendo una ligera influencia de la temperatura.

Cuadro 3. Coeficientes de regresión, valores de probabilidad y prueba de ajuste para el modelo estadístico.

Coeficientes de Regresión	Def Humedad	Significancia ANOVA	Def Sólidos	Significancia ANOVA
β_0	-37.73	0.000	-17.65	0.000
β_1	-1.41	0.895	-0.61	0.884
β_2	0.11	0.008	6.89 E -02	0.056
β_3	11.72	0.412	-3.54	0.345
β_{11}	1.81 E-03	0.993	-2.72 E-04	0.001
β_{22}	-9.63 E-05	0.000	-6.97 E-05	0.934
β_{33}	-5.65	0.993	-0.33	0.000
β_{12}	1.28 E-03	0.001	5.16 E-04	0.101
β_{13}	1.30	0.138	0.65	0.000
β_{23}	-1.74 E-02	0.000	2.73 E-03	0.790
R^2	0.76		0.65	
Ajuste (F-value)	2.41		2.45	
Ajuste (p-value)	0.058 ^b	0.000	0.056	

En dónde:

β_1 es el factor temperatura

β_2 es el factor vacío

β_3 es el factor concentración de goma guar

β_{11} es el factor cuadrático de la temperatura

β_{22} es el factor cuadrático de vacío

β_{33} es el factor cuadrático de goma guar

β_{12} es la interacción entre temperatura y vacío

β_{13} es la interacción de la temperatura y la concentración de goma guar

β_{11} es el factor cuadrático de la temperatura

^a Significativo ($p < 0.05$)

^b no significativo ($p > 0.05$)

En la Figura 15 (b) se muestra el proceso con un comportamiento de punto de silla entre las variables de temperatura y contenido de goma guar, es posible también establecer que la máxima difusión de humedad se lleva a cabo entre los 5 y 15 °C y a concentraciones de goma guar por debajo de 0.4 %, los polisacáridos como la goma guar tienen la capacidad de absorber agua en la superficie y promover el control de la difusión de esta desde el interior al exterior del fruto, razón por la que los mayores coeficientes de difusión se obtienen a bajas concentraciones de goma guar y bajas temperaturas (0, -0.5 °C). Kargozari *et al.* en 2010, plantean que a mayor concentración de goma en el medio de dispersión, la dispersión tendrá una mayor densidad, lo que impide el paso de los sólidos de mango hacia el líquido de cobertura.

La Figura 15 (c) muestra una superficie donde el mínimo, mostrado con el color verde más oscuro y que corresponde a $-2 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ se encuentra en concentraciones de 0.8 %p/p de goma guar y 600 mbar de vacío durante el envasado del producto, por lo que es posible inferir que a menores concentraciones de goma guar (0.2 a 0.4 % p/p) se tienen los mayores coeficientes de difusión de humedad ($-12 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$), lo que se correlaciona con lo descrito en el párrafo anterior y que se presenta en la cuadro 4, resaltándose que la variable más importante es el nivel de presión ejercido, mismamente la interacción con el contenido de goma guar, mostrando además una influencia de la temperatura que es dependiente del comportamiento de las otras dos variables estudiadas (vacío y concentración), ya que a pesar de que al incrementar la temperatura se promueve el aumento en la difusión, en este trabajo se observó que, los intervalos de temperatura manejados (-2 a 15 °C) no tuvieron influencia sobre la difusión de humedad desde la fruta al medio. Según Meza-Godoy en el 2006, no es

recomendable utilizar una concentración de goma guar superior al 1% p/p ya que presenta dificultades de dispersión y la viscosidad resulta muy alta para un líquido de cobertura. (Ito *et al.*, 2007).

Es importante destacar que a pesar de que no se logran las máximas velocidades de difusión de humedad de agente osmótico a bajas temperaturas, es posible optimizar la respuesta a velocidades de difusión de mayores a $4 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, contribuyendo con ello a su vez a lograr incrementar el tiempo de vida útil del producto ya que a bajas temperaturas se disminuyen otras cinéticas de deterioro, como el cambio de color y textura.

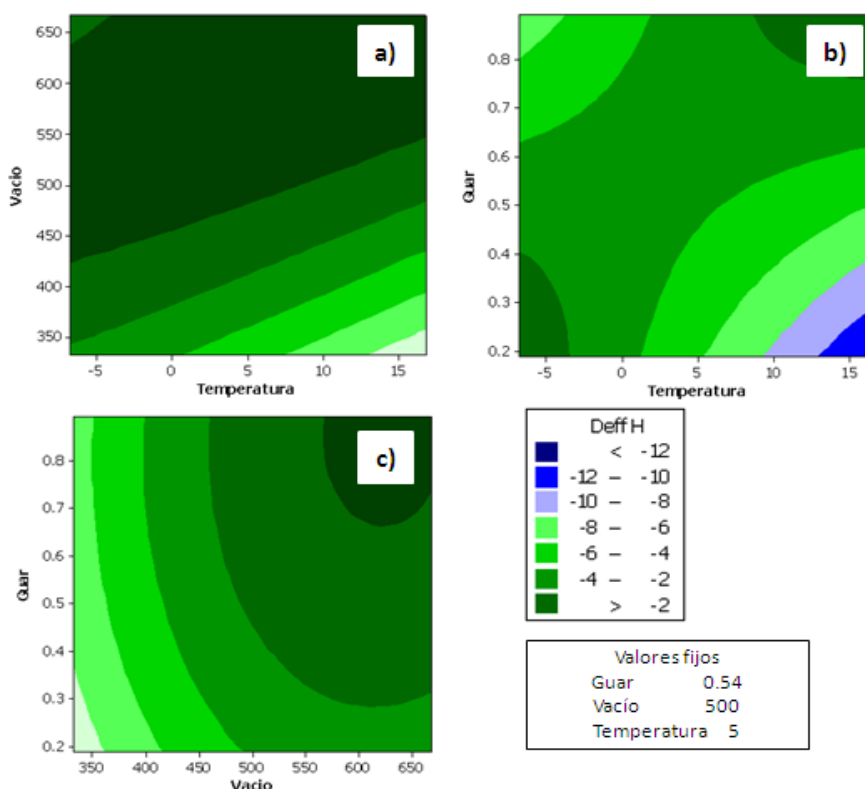


Figura 15. Efecto de las variables sobre la difusividad efectiva de humedad. Nota: todos los valores están expresados en unidades y elevados $\times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

3.2 Influencia de las variables sobre la difusividad efectiva de sólidos.

En la figura 16 (a-c) se muestran los gráficos de contornos correspondientes a los coeficientes de difusión de sólidos desde la solución osmótica hacia el mango, aquí vemos la influencia de la temperatura y el vacío sobre el coeficiente de difusión de solutos, observándose que al incrementarse la temperatura y tener un mayor vacío, por debajo de los 400 mbar, se incrementan los coeficientes de difusión de sólidos hasta aproximadamente $6 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, estos resultados se deben a que la temperatura provoca que haya un aumento en la energía cinética del líquido de cobertura y que por tanto las partículas se muevan con mayor rapidez promoviendo la transferencia de masa, mientras que la goma guar sustituye los poros de aire presentes en el paralelepípedo de mango, disminuyendo la tasa de intercambio másico (Ferrari *et al.*, 2011). Un punto de respuesta intermedio puede optimizar el proceso ya que la variable de respuesta (en este caso, difusividad efectiva) resulta aceptable y cercana a los valores que muestran Lazarides e Ito *et al.* y Alakali *et al.* y las condiciones de procesamiento no resultan costosas.

De acuerdo con Ito *et al.*, en (2007), la difusividad efectiva de sólidos es proporcional a la concentración de goma guar cuando se trabajan temperaturas superiores, sin embargo en este caso y de acuerdo con las condiciones de refrigeración en las que se trabajó al disminuir la temperatura las concentraciones de goma guar deben oscilar por encima del 0.4 %p/p y por debajo de 0.6 %p/p de tal manera que exista un coeficiente de difusión aceptable para llevar a cabo el proceso de difusión. En este caso, la interacción de las variables (concentración de goma guar y vacío) dan de este resultado una optimización elipsoidal independiente del vacío hasta una concentración aproximada de 0.5 %p/p, es decir que la difusividad de sólidos depende únicamente de la concentración goma guar a partir de 0.5% p/p de acuerdo con Dabrowska y Lenart en 2001, ya que al utilizar una mayor concentración de goma guar se saturan mayormente de glucosa los poros del mango. Del mismo modo se puede observar en la figura 16 (a) que a valores medios de vacío se logra la mayor difusividad efectiva de sólidos.

Tapia y colaboradores, en el año 2008, hace mención sobre el recubrimiento de alginatos como barrera que impide el deterioro de textura, semejante con lo que se presenta en la figura 16 (b), por lo que podemos inferir que la relación de concentración de goma y temperaturas medias tiene injerencia sobre la difusividad de sólidos ya que el polisacárido está actuando a manera de muro de migración de estos mismos, provocando una conservación de la textura del mango cortado.

En la Figura 16 (c) se muestra la relación que existe entre el vacío y concentración de goma guar, mostrándose claramente que el proceso de difusión de sólidos se ve afectado considerablemente por el vacío ejercido al momento del envasado; Andrés *et al.*, en 2001, mencionan esta situación debido a que las frutas contienen gran parte de gas en su estructura interna, cuando se aplica vacío, esos poros se expanden permitiendo la entrada de solutos en la composición estructural del fruto cortado. En la Figura se resalta, además que a concentraciones mayores de 0.6 % p/p y vacío de entre 450 y 600 mbar los coeficientes de difusión alcanzados son mayores, tal como es mencionado por Lazarides en 2001.

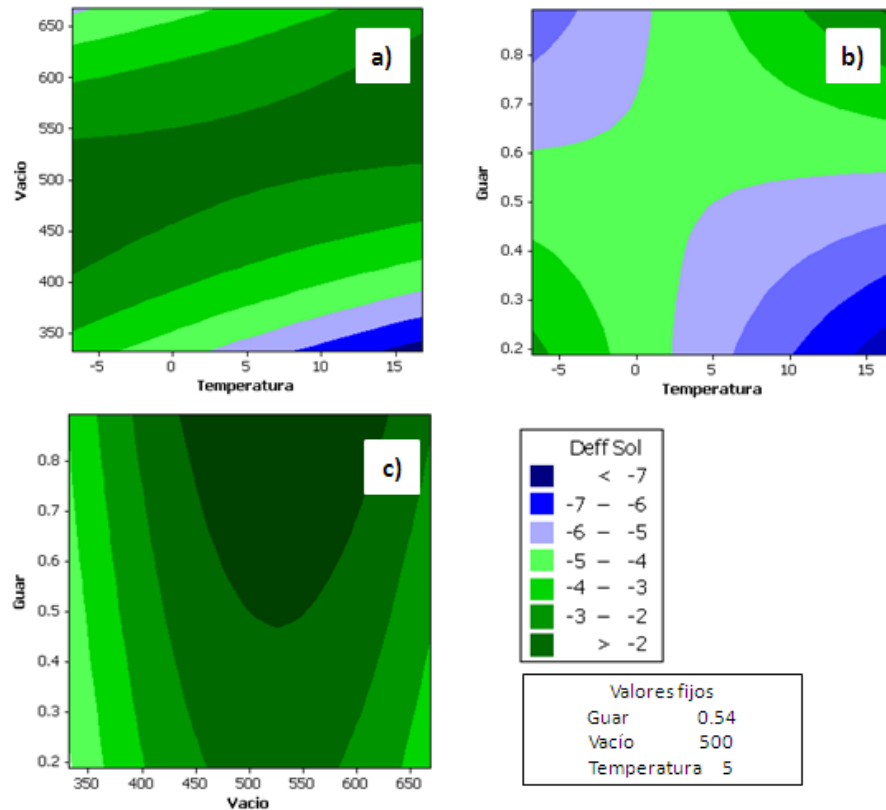


Figura 16. Efecto de las variables sobre la difusividad efectiva de sólidos
 Nota: todos los valores están expresados en unidades y elevados $\times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

3.3 Optimización con base a la difusividad

Una vez obtenidos y analizados los resultados en Minitab 15, se procedió a realizar los gráficos de contornos superpuestos ya que a pesar de que es importante considerar el efecto de los factores individuales, la exploración del comportamiento correlacionado ayuda a establecer las mejores condiciones que promuevan el proceso de difusión de humedad y equilibrio del sistema durante el almacenamiento refrigerado, contribuyendo con ello a incrementar la vida útil de producto. En la figura 17, se muestra el área donde se tiene la mayor difusión de humedad, considerando que en el espacio resaltado en blanco es en el que se tienen los mayores coeficientes de difusión de agua, reflejándose que esta es dependiente del vacío y temperatura. En esta figura se observa que a valores superiores de 550 mbar y temperaturas por debajo de 2 °C los coeficientes de difusión son menores, mientras que los efectos deseables en el producto se encuentran a temperatura de 5 °C, 482

mm y 0.18% p/p de concentración de goma guar. Lazarides en 2001, indica que la concentración de polímeros, en este caso la goma guar, provoca una menor difusividad de sólidos y una mayor difusión de humedad, como se observa en la figura 17.

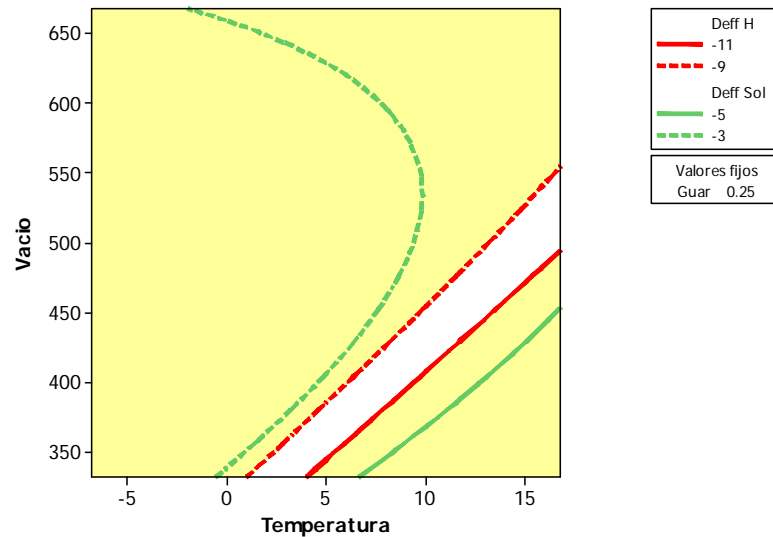


Figura 17. Contornos superpuestos para temperatura y vacío.

En la Figura 18 se muestran las condiciones óptimas, esto quiere decir, las condiciones a las que es posible obtener la mejor respuesta de acuerdo con el diseño de superficie. La gráfica denota que a condiciones de temperatura entre 5 y 10 °C y vacío entre 450 y 500 mbar se logra maximizar la transferencia másica de humedad y de sólidos, cabe recalcar que los resultados no son máximos, sino óptimos. Lo cual significa que a las condiciones denotadas como optimas, lograremos maximizar la transferencia másica de humedad y de sólidos.

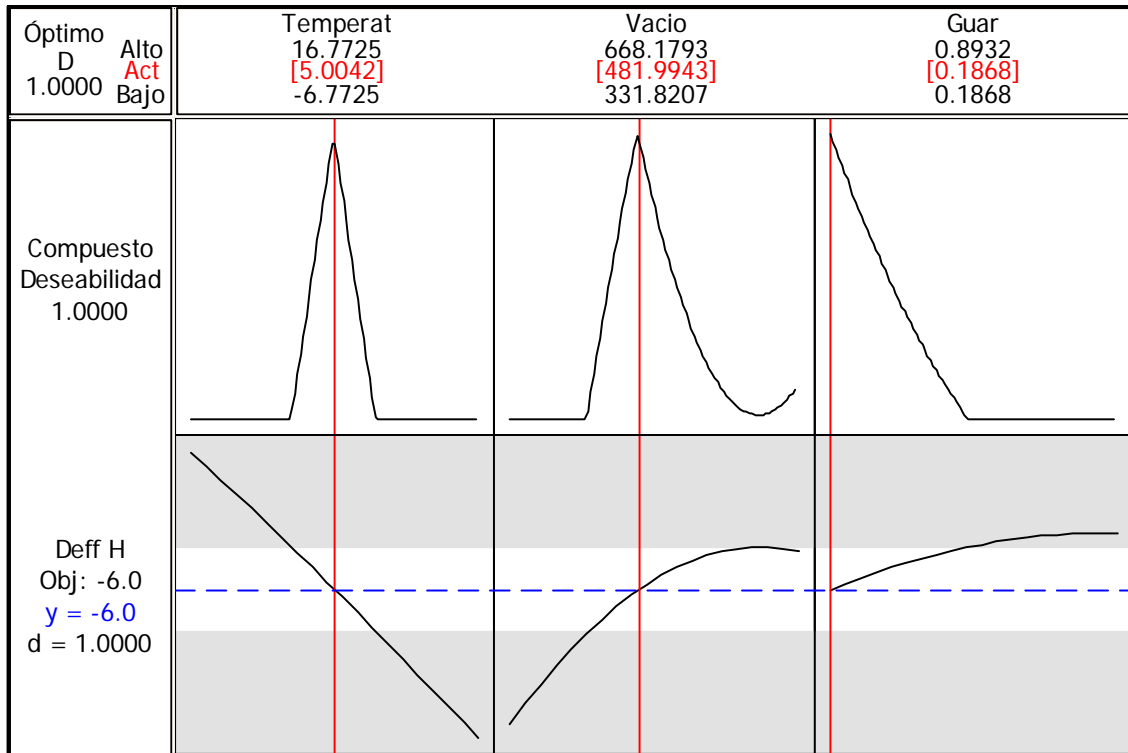


Figura 18. Valores deseables de difusividad efectiva de humedad

La deseabilidad de difusividad efectiva de humedad a valores de $7.6976 \times 10^{-8} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ y de difusividad efectiva de sólidos a valores de $3.03 \times 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, se lograron con la combinación de alta temperatura, según Ferrari *et al.*, (2011), Kargozari *et al.*, (2010), y Alakali *et al.*, (2006), altas temperaturas, 16.7 °C, como valor máximo en este estudio, permiten un mayor movimiento y desplazamiento de las partículas de humedad hacia el exterior, respecto al valor de vacío, se encontraron valores promedio de 406 mbar y correspondiendo a la concentración media de goma guar, a 0.6 %p/p, permite el flujo de solutos al interior de la estructura celular del mango, estos resultados se pueden corroborar en la figura 19, acorde con Maldonado *et al.*, (2008) quién confirma que la pérdida de humedad es mayor en comparación con la ganancia de sólidos, como lo es en este caso, debido a que el peso molecular y densidad de las partículas de humedad son menores que las partículas sólidas, siendo necesaria más fuerza para migrar.

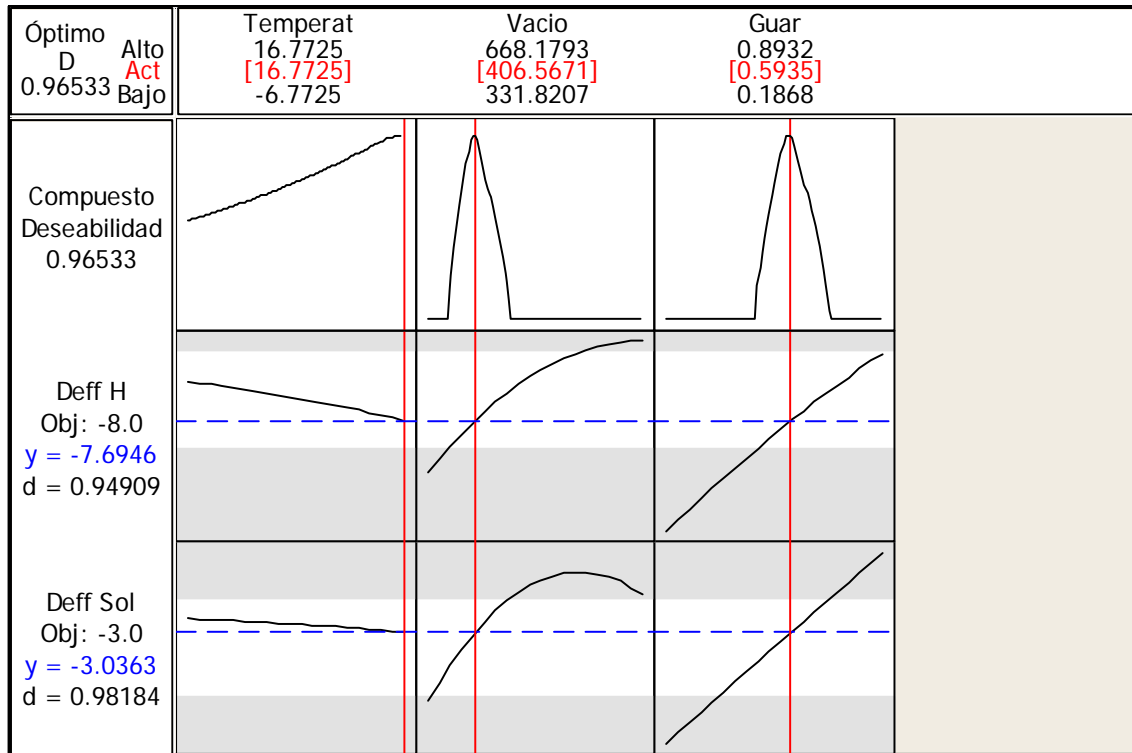


Figura 19. Valores deseables de difusividad efectiva de humedad y de sólidos

3.4 Influencia de las variables sobre textura

A continuación se presenta la figura 20 (a), en este caso se logra un punto de respuesta máximo a temperaturas alrededor de los 15 °C con bajos valores de vacío (ceranos a la presión atmosférica), valores con los cuales se logra una mayor conservación de la firmeza del producto, que se ve reflejado en la textura, en este gráfico también se puede observar que la interacción de bajos niveles de temperatura y vacío no son significativos (Ito *et al.*, 2007, Ferrari *et al.*, 2011).

Autores como Alakali *et al.*, (2006), Rodríguez *et al.*, (2006) y Ferrari *et al.* (2011), utilizaron temperaturas altas en la deshidratación osmótica (entre 40 y 50 °C), esta aplicación provoca una deformación estructural del alimento debido a los fenómenos de los mecanismos hidrodinámicos (Saruel *et al.*, 2002); en este estudio, es necesario resaltar que

la aplicación de frío, entre 10 y 15 °C, de la misma forma el empleo de concentración media de goma guar, jugó un papel importante en la conservación de la textura, obteniendo así los mejores resultados, figura 20 (b). En la Figura 20, se logra apreciar un punto de respuesta máximo a concentraciones intermedias/bajas de goma guar y altas temperaturas, relacionándolo con la figura 20 (c), se obtuvo un valor óptimo de textura con la combinación de vacío y concentración de goma guar intermedios, esto se debe a la interacción de ambas variables.

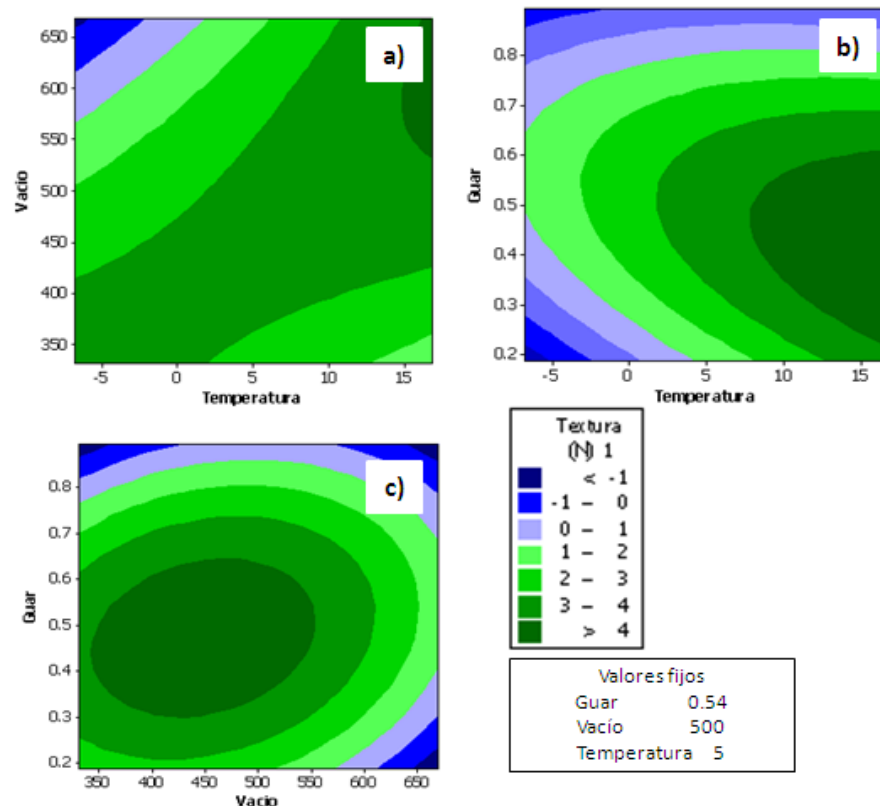


Figura 20. Efecto de las variables sobre la textura

Del mismo modo se logra apreciar que el empleo de bajas temperaturas promueve la conservación de propiedades físicas del producto, tal es el caso de la textura ya que la finalidad de este estudio fuese dañar lo menormente posible los tejidos; pese a que los coeficientes de difusión son menores a los estudiados por Ferrari *et al.*, en 2011, en dónde se encontraron coeficientes de difusión mayores, pero persistiendo una disminución en la

textura final de las muestras. Según lo escrito por Lazarides en 2001, la utilización de temperaturas menores a 50 °C no afectan las membranas semipermeables considerablemente, por lo que es un excelente tratamiento para conservación sin modificar la textura.

3.5 Influencia de las variables sobre la concentración del líquido de cobertura

Lo que buscamos en este apartado es la interacción de las variables a la cual se obtuvo la menor concentración de líquido de cobertura posible como mejor resultado, esto ha sido indicativo de que los sólidos del jarabe han ingresado en mayor medida al mango.

En la Figura 21 se logra observar en el inciso a) que la interacción de las variables vacío y temperatura no tuvieron influencia sobre la concentración del líquido de cobertura, únicamente se puede observar que a mayor temperatura, la concentración aumenta, relación descrita previamente por Panades *et al.*, en 2008 y Rodrigues *et al.*, en 2006, quienes mencionan que a mayor temperatura el desprendimiento de sólidos al medio de dispersión es mayor causado por que hay un mayor movimiento de las moléculas en la solución. En el caso del inciso b), a valores bajos de temperatura, la estructura celular del mango resulta más rígida y provoca un menor desprendimiento de sólidos hacia el líquido de cobertura, de igual manera sucede en el inciso c) en la cual se encontró, a valores medios de goma guar y vacío, una menor concentración del líquido de cobertura; utilización de concentraciones medias de goma guar impiden la introducción de oxígeno en las membranas de mango, lo cual disminuye la pérdida de fuerza en los tejidos y aumenta la transferencia de sólidos del líquido hacia los cubos de mango, en concordancia con el estudio de Chassagne-Berces *et al.*, 2010, resultando un menor desprendimiento de sólidos hacia el líquido de cobertura, esto confirmado por Lazarides en 2001 y Rojas-Graü *et al.*, en 2007.

3.6 Influencia de las variables sobre la turbidez

En esta parte del estudio se estudia la turbidez de la solución con el paso del tiempo, este factor es importante de estudio ya que nos permite saber si existe desprendimiento de fibras de mango hacia la solución. Las superficies de respuesta, identificadas en la figura 22 (a-d), se observa el comportamiento de desprendimiento de sólidos durante el almacenamiento refrigerado, mientras en la figura 22, a) representa la semana 1 de almacenamiento expresada en NTU (Unidades nefelométricas), en esta se observa que no hay interacción a concentraciones bajas de goma guar; a concentraciones superiores a 0.75 % p/p hay una ligera interacción debido a que una mayor concentración de goma guar funciona como barrera para el paso de sólidos hacia el líquido de cobertura. Mientras tanto en el mismo inciso podemos ver que la temperatura, mayor de 7.5 °C, el efecto de las NTU se ve incrementado por encima de 55. A temperaturas entre -5 y 7 °C se observa que existió menor turbidez ya que el desprendimiento de sólidos fue menor provocado por la inmovilización de los tejidos que detienen la degradación de la estructura.

En la Figura 22 b), se muestran los cambios de turbidez a las tres semanas de almacenamiento refrigerado del producto observándose que no existió diferencia estadísticamente significativa en el comportamiento por efecto de estos dos factores respecto a las muestras almacenadas durante una semana. Nuevamente se presenta en este comportamiento una ligera influencia de la concentración guar a altas concentraciones en la tercer semana, siendo la temperatura quien da mayor efecto a la turbidez. No se presenta gran diferencia entre la primera y tercer semana de almacenamiento.

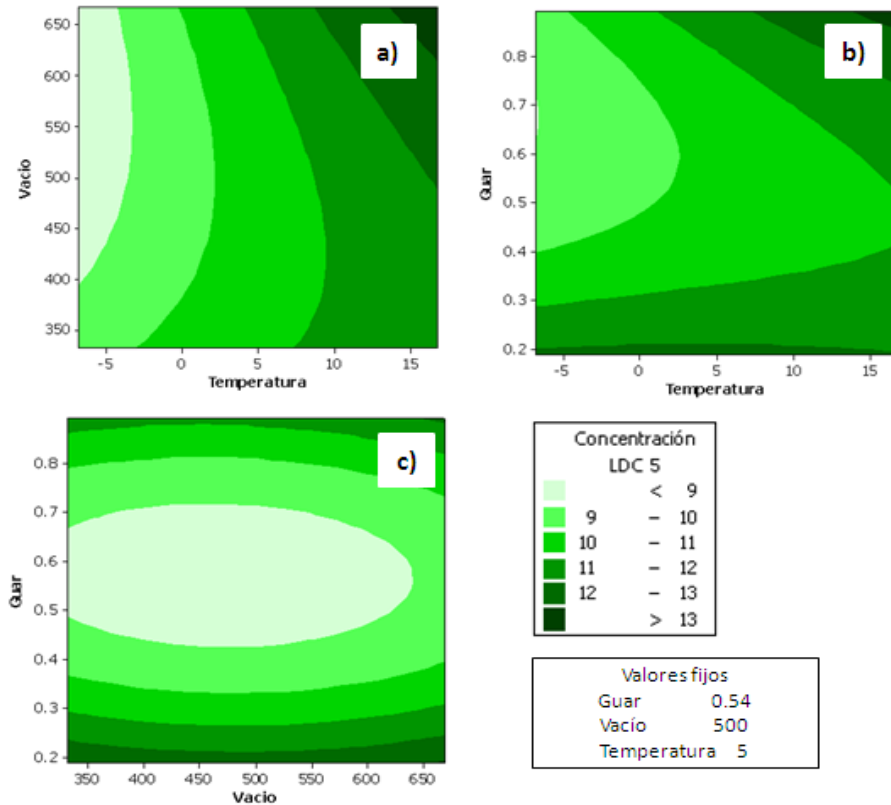


Figura 21. Efecto de las variables sobre la concentración del líquido de cobertura.

En la Figura 22 c), se ve el comportamiento de la turbidez a las cuatro semanas de almacenamiento, mostrándose que existieron cambios críticos en el comportamiento, ya que en los puntos centrales del diseño hubo un incremento de la turbidez (55-60 NTU), mientras que al incrementarse la concentración de goma guar y a menor temperatura se tiene aparentemente un menor desprendimiento de partículas desde el tejido del mango lo que promueve un menor enturbiamiento del líquido de cobertura, aunque esto puede atribuirse a la sedimentación de las partículas en el líquido. En la Figura 22 d), se presentan los cambios en turbidez para las muestras almacenadas durante 5 semanas, es importante notar que a temperaturas entre 2 y 10 °C la turbidez es menor, con un 55 NTU, mientras que hacia los extremos de temperatura, la concentración aumenta, sin embargo este comportamiento independiente de la concentración de goma guar.

De acuerdo con la interpretación de estas gráficas a-d, podemos definir que la concentración de goma guar no provocó cambios (o fueron insignificantes) sobre las mediciones de turbidez en el líquido de cobertura.

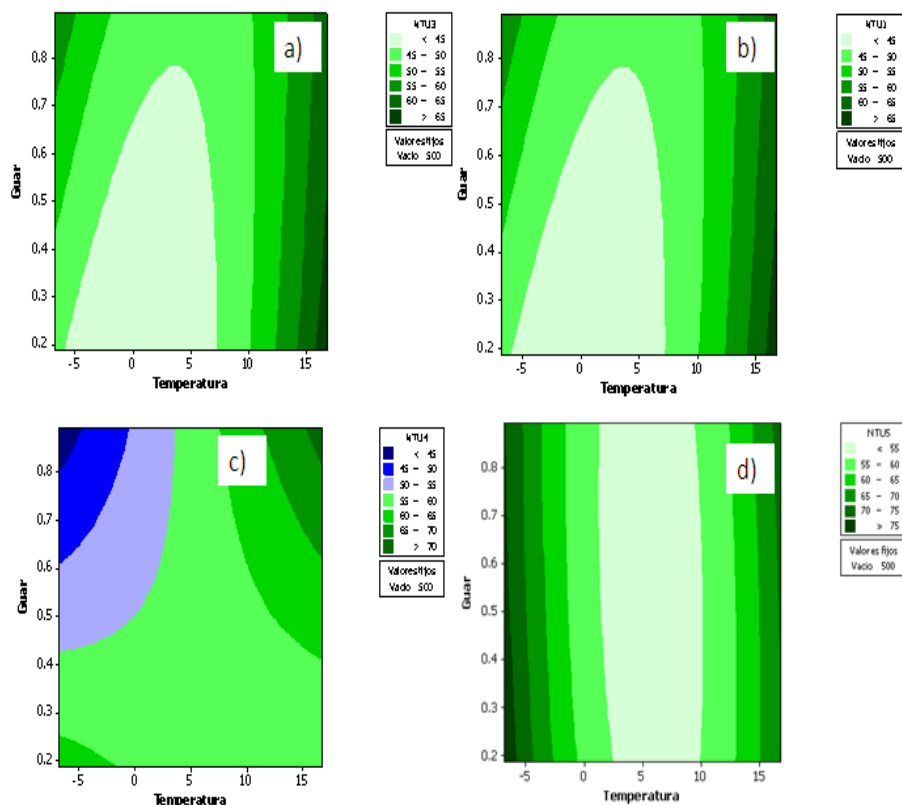


Figura 22. Cambios en turbidez para muestras almacenadas durante a) 1 semana, b) 3 semanas, c) 4 semanas y d) 5 semanas.

3.7 Cambios en potencial de hidrógeno durante el almacenamiento de mango envasado a vacío.

En la figura 23 se muestran los cambios en pH durante el periodo de almacenamiento de cubos de mango, con excepción del comportamiento de algunas muestras durante la tercera semana y que corresponden a efectos que tienen que ver con la temperatura de almacenamiento, el resto de las muestra mostró en promedio un pH de 3.65, además durante el tratamiento los cambios en pH resultaron no mayores al 5% con respecto al

inicial. La disminución del pH es debida probablemente a la actividad enzimática, debida al corte del tejido y al proceso de deshidratación, ya que este cambio en pH puede ser atribuido a la lixiviación de los ácidos propios del mango y del líquido de cobertura durante la aplicación del vacío o bien a los cambios de pH debido a la regulación sistólica (Moreno *et al.*, 2004). La acidificación del citoplasma de las células puede ocurrir bajo estrés ambiental. En este caso, la generación de condiciones de vacío en el envasado, reguladas por la biosíntesis y degradación de los ácidos orgánicos, y sirve de manera de mecanismo de seguridad para el "sistema de protones" (Kerr *et al.*, 2009).

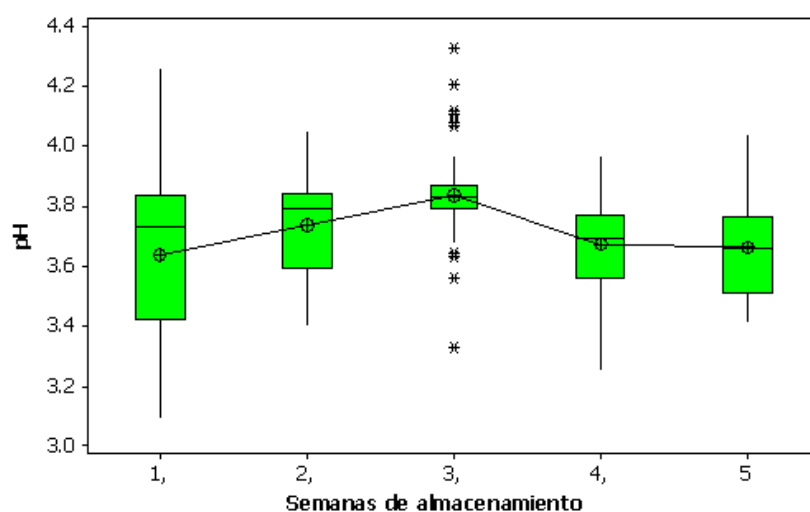


Figura 23. Comportamiento del potencial de hidrógeno durante el almacenamiento de mango cortado con líquido de cobertura tipo chamoy.

En el cuadro 4 se muestra la difusividad efectiva y sus variaciones en relación al diseño experimental propuesto, se logra observar la influencia de la temperatura sobre la difusión tanto de sólidos como de humedad, en donde la difusividad efectiva disminuye cuando la temperatura de almacenamiento decrece. A su vez, se observa que el efecto de la concentración de goma guar es inversamente proporcional a la difusividad efectiva, esto se debe a que la goma actúa como una pared en contra del transporte tanto de solutos como de agua (Lazarides, 2001); al aumentar su viscosidad, su estructura es más compacta por lo que tiene menor espacio libre para que penetren los componentes antes mencionados ya que se sitúa en estos, adhiriéndose a la estructura celular del mango e impidiendo la

transferencia másica (Rojas-Graü *et al.* , 2007; Tapia *et al.*, 2008).

En cuestión de vacío ejercido sobre el producto se deduce que no existe una modificación significativa de este sobre la difusividad efectiva. Según Moreno en 2004 y Ferrari en 2011, los principales factores que afectan las cinéticas en los procesos osmóticos son: la composición y concentración de la solución, la temperatura, el tiempo del proceso, la tasa de agitación, entre otros; sin embargo la aplicación de vacío sólo tiene influencia significativa en la textura del fruto y sus características estructurales a consecuencia resulta la sustitución de aire por solución osmótica en los espacios intercelulares.

Cuadro 4. *Difusividad efectiva para las corridas experimentales*

Condiciones	Difusividad efectiva de sólidos	Difusividad efectiva de humedad
	m^2s^{-1}	m^2s^{-1}
5°C	-9.97E-09	5.06E-08
500 mbar		
0.19% p/p		
5°C	-5.74E-08	9.68E-08
332 mbar		
0.54% p/p		
5°C	-3.82E-08	-1.58E-08
668 mbar		
0.54% p/p		
Condiciones	Difusividad efectiva de sólidos	Difusividad efectiva de humedad
	m^2s^{-1}	m^2s^{-1}
5°C	-3.82E-08	6.61E-08
500 mbar		
0.89% p/p		
5°C	-2.09E-08	4.11E-08
500 mbar		
0.54v		
12°C	-3.26E-08	1.21E-07
400 mbar		
0.33% p/p		
12°C	-3.36E-08	1.21E-07
600 mbar		
0.33% p/p		

12°C		
600 mbar	-3.89E-09	1.22E-09
0.75% p/p		
12°C		
400 mbar	-2.46E-08	6.66E-08
0.75% p/p		
-2°C		
600 mbar	-3.21E-08	4.21E-08
0.33% p/p		
-2°C		
400 mbar	-9.97E-09	3.74E-08
0.33% p/p		
-2°C		
600 mbar	-9.97E-09	9.73E-10
0.75% p/p		
-2°C		
400 mbar	-9.97E-09	4.28E-08
0.75% p/p		
17°C		
500 mbar	-9.97E-09	3.04E-08
0.54% p/p		
-7°C		
500 mbar	-9.97E-09	6.10E-08
0.54% p/p		

3.8 Determinación de Energías de activación

Continuando. En la figura 24, se obtuvo la energía de activación necesaria para que se lleve a cabo una ganancia de sólidos en el proceso de deshidratación osmótica, obteniendo 6.586 kJ/mol y con factor pre-exponencial (A) de -20.545. Parámetros evaluados a temperaturas de 266.15, 278.15 y 290.15 K, (-7 , 5 y 17 °C respectivamente).

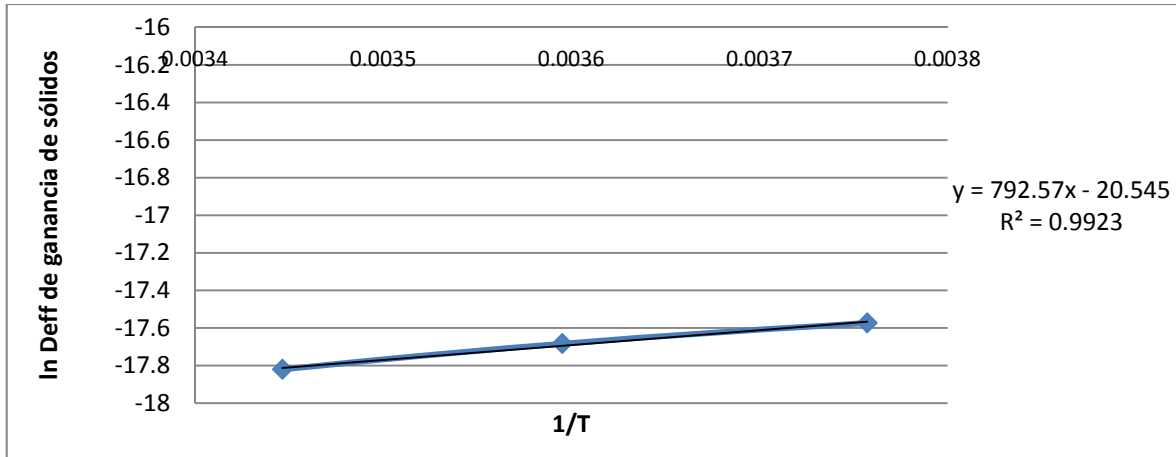


Figura 24. Energía de activación de ganancia de sólidos

De acuerdo con la figura 25, se obtuvo la energía de activación necesaria para que se lleve a cabo una pérdida de humedad en el proceso de deshidratación osmótica, obteniendo 18.767 kJ/mol y con factor pre-exponencial (A) de -25.15. Parámetros evaluados a temperaturas de 266.15, 278.15 y 290.15 K, para -7, 5 y 17 °C respectivamente.

La energía de activación es un parámetro que depende de la tasa de transferencia másica, ésta a su vez se promueve con la temperatura, por lo que una mayor energía de activación implica una mayor sensibilidad a la temperatura y se necesita un pequeño cambio de temperatura para que el transporte de sólidos hacia la membrana del material se dé con mayor rapidez.

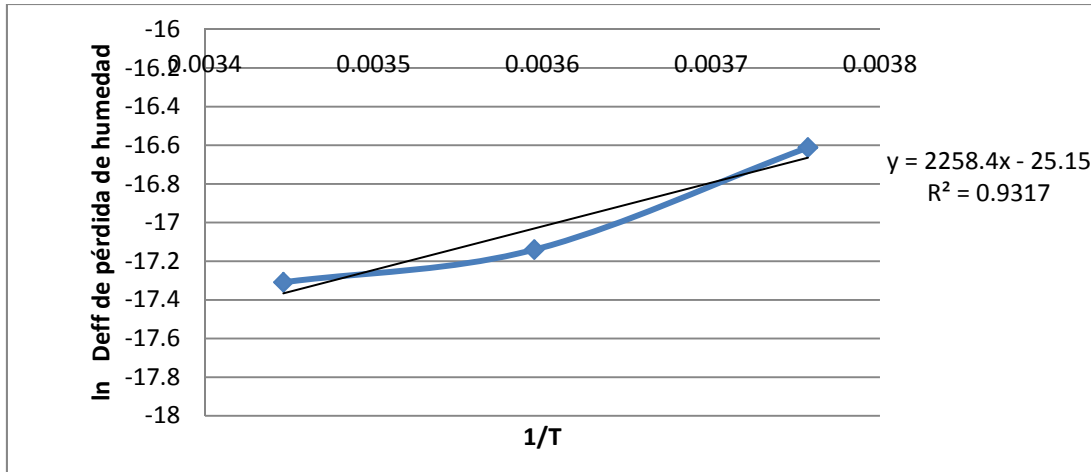


Figura 25. Energía de activación de pérdida de humedad.

Las energías de activación se incrementan conforme la ganancia de sólidos, de acuerdo con Alakali *et al.*, en 2006, en el estudio de las cinéticas de deshidratación osmótica de mango, obtuvieron un intervalo de 9.74 a 13.44 kJ/mol para la absorción de sacarosa, y un intervalo de 11.03 a 15.16 kJ/mol para la pérdida de agua, estos valores fueron trabajados en intervalos de temperatura de 40 a 80 °C y la geometría que se utilizó fue una placa, en dónde la superficie de contacto entre el alimento y la sacarosa fue mayor, en este estudio se trabajaron con temperaturas de refrigeración entre -7 y 17 °C, por lo que las energías de activación obtenidas fueron de 6.586 kJ/mol para ganancia de sólidos y 18.767 kJ/mol para pérdida de humedad, además la geometría era de forma paralelepípedo, eso explica resultados menores comparados con Alakali *et al.*, 2006 y Bugueño *et al.*, 2001, obtuvieron valores de energía de activación semejantes en el estudio de la utilización de vacío para la conservación de salmón, con un intervalo de 31 a 19 kJ/mol.

Alakali *et al.*, en 2006, menciona un intervalo de 0 a 63 kJ/mol de energía de activación para procesos controlados por difusión, por lo que ambas energías de activación obtenidas en este experimento son aceptables. Lazarides *et al.*, en 2001, también mencionan que la difusión de humedad debería ser mayor que la difusividad de sólidos, como se pudo observar en los la mayoría de los resultados del cuadro 4.

CONCLUSIONES

Mediante la evaluación de la firmeza en los cubos de mango, la concentración y turbidez del líquido de cobertura fue posible evaluar las mejores condiciones de conservación de mango con chamoy, donde las mejores condiciones de conservación fueron; 400 mbar, a 16.5 °C, con una concentración de goma guar de 0.6 %p/p, siendo estas dos últimas variables de mayor influencia sobre la textura y del mismo modo se encontró una influencia negativa del vacío ejercido sobre la firmeza, sin embargo los resultados son aceptables dentro de un periodo de por lo menos 5 semanas de almacenamiento.

La utilización de líquidos de cobertura con baja viscosidad y por lo tanto con baja concentración de goma guar, combinada con el envasado a bajos niveles de vacío promueve una mejor ganancia de sólidos. La implementación de vacío promueve la transferencia de sólidos al interior del mango y la pérdida de agua. El vacío tiene una influencia directamente proporcional a la velocidad de difusión y así mismo sobre la energía de activación. El vacío afecta en forma directamente proporcional a la firmeza, esto se debe a que la aplicación del vacío provoca una menor firmeza por la sustitución de la solución osmótica en los poros y consecuentemente una pérdida de aire, por lo tanto se obtiene un tejido más compacto y una deformación que la producida a presión atmosférica.

El empleo de temperaturas bajas en el estudio, de entre 5 y 17 °C, permitió observar que es un método de conservación de la textura como estructura celular a lo largo del tiempo, previniendo también el crecimiento microbiano y retardando las reacciones de degradación de tejidos y ennegrecimiento de la pulpa.

En cuanto a la difusividad efectiva tanto de sólidos y de humedad, los valores obtenidos son aceptables ya que son similares a los obtenidos previamente por otros autores, sin embargo existen diferencias debido a las temperaturas de aplicación del proceso, la

geometría de la muestra y las características físicas, químicas y fisicoquímicas. Características propias del alimento en cuestión.

En general, los cambios en el potencial de hidrógeno (pH), no resultaron significativos, por lo que se asume que no hubo proliferación microbiana y podemos afirmar que los resultados no fueron alterados por el metabolismo de algún microorganismo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la investigación de este proyecto puede ahorrar costos de producción, tiempos de espera y energía del proceso. A su vez es un proyecto innovador que busca efficientar la deshidratación osmótica.

Este documento puede ser utilizado por los estudiantes y futuros emprendedores como una herramienta para un nuevo negocio ya que los productos listos para el consumo cada vez tienen más demanda. De igual manera para los alumnos del laboratorio experimental multidisciplinario 5 y el taller de refrigeración pueden obtener información adicional para su experimentación, combinando dos métodos de conservación efectivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alakali, J.S., Ariaahu, C.C., Nkpa, N. N. (2006). *Kinetics of osmotic dehydration of mango*, Journal of Food Processing and Preservation 30: 597–607.
- Barreiro M. José A., Sandoval B., Aleida J. (2006). *Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas. Equinoccio* (1^a Ed.). Venezuela: Equinoccio, 21-26.
- Brody, L. Aaron, Zhuang, Hong, Han, H. Jung (2011). *Modified Atmosphere Packaging for Fresh Fruit and Vegetables*, Wiley-Blackwell, 1980-1984.
- Chassagne-Berces, S., Fonseca, F., Citeau, M., Marin, M. (2010). *Freezing protocol effect on quality properties of fruit tissue according to the fruit, the variety and the stage of maturity*, Food Science and Technology, 43: 1441-1449.
- Derossi, A. T., De Pilli, T., Severini, C. (2012). *Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry, The application of Vacuum Impregnation Techniques in Food Industries*. Croacia: Intech, 25-53.
- Dabrowska, R., Lenart, A. (2001). *Influence of edible coatings on osmotic treatment of apples*. Technomic Publishing Company, Inc., 59-63.
- Keay, J.L. (2012). *Packing Fish in modified atmosphere*. Fecha de consulta: 30 de agosto de 2013. Publicación en línea: <http://www.fao.org/wairdocs/tan/x5956e/x5956e01.htm#introduction>.

- Ferrari, C., Arballo, J. R., Mascheroni, R. H. (2011). *Modeling of mass transfer and textures evaluation during osmotic dehydration of melon under vacuum*. International Journal of Food Science and Technology, 46: 346-443.
- Fito, Pedro (2003). *Water in Foods Fundamental Aspects and Their Significance in Relation to Processing of Foods*. Journal of Food Engineering, 22: 313-328.
- Floury, J., Le Bail, A., Pham, Q.T. (2008). *A three-dimensional numerical simulation of osmotic dehydration of mango and effect of freezing on mass transfer rates*. Journal of Food Engineering, 85:1-11.
- Galán-Sauco, Víctor (2009). *El cultivo del mango*. (2ª Ed.). México: Mundi-Prensa.
- García, E., Gago, L., Fernández, J.L. (2006). *Tecnología de envasado en atmósfera protectora*. Fecha de consulta: 25 de julio o de 2013. Publicación en línea: http://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt3_tecnologias_de_ensado_en_atmosfera_protectora.pdf.
- Jongen, Wim (2002). *Fruit and vegetable processing, Improving quality*. (1ª Ed.). Inglaterra:Wood head Publishing Limited, 310-311.
- Kargozari, M., Moini, Sohrab, Emam-Djomeh, Zahra (2010). *Prediction of some physical properties of dehydrated carrot cubes using response surface methodology*. Journal of Food Processing and Preservation 34: 1041–1063.
- Lazarides, H. N. (2001). *Reasons and possibilities to control solids uptake during osmotic treatments of fruits and vegetables*. Technomic Publishing Company, Inc., 53-55.

Litz, R.E. (2009). *In The Mango: Botany, Production and Uses*. (2^a Ed.). Inglaterra: CAB International.

López, A., Esnoz, A., Artés, F. (2003), *Daños por frío en la post-recolección para frutas y hortalizas*. *Avances en Ciencias y Técnicas del Frío*, 299-310.

López-Rubio, A., Gavara, R., Lagaron, J. M. (2006). *Bioactive packaging: turning food into healthier foods through biomaterials*. *Trends in Food Science and Technology*. Inglaterra: CAB International y Food and Agriculture Organization. 17(10): 567-575.

Maldonado, S., Santapaola, J.E., Singh, J., Torrez, M., Garay, A. (2008), *Cinética de la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de Yacón (Smallanthus sonchifolius)*. *Ciencia y Tecnología de los alimentos*, Campinas, 28(1): 251-256.

Mangaraj, S., Goswami, T. K (2009). *Modified atmosphere packaging; an ideal food preservation technique*. *Journal of Food Science and Technology*, 46(5): 399-410.

Mc Hugh, T., Senesi, E. (2000). *Apple Wraps: A Novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples*. *Journal of food science* , 65 (3): 480-485.

Meza-Godoy (2006). *Desarrollo de películas o recubrimientos comestibles con potencial para recubrimiento de frutas frescas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, 9-11.

- Montero-Calderón, M. (2007). *Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (Ananas comosus)*. *Postharvest Biology and Technology*, 50: 182-189.
- Nave, R. (2013). Hyperphysics. Department of Physics and Astronomy of Georgia State University. <http://hyperphysics.phy.ast.gsu.edu/hbase/hframe.html>
- Panades, G., Castro, D., Chiralt, A., Fito, P., Nuñez, M., Jimenez, R. (2008), *Mass transfer mechanisms occurring in osmotic dehydration of guava*, *Journal of Food Engineering*, 87: 386-390.
- Rodríguez, A. C. C., Pereira, L. M., Sarantópoulos, C.I.G.L. (2006). *Impact of modified atmosphere packaging on the osmodehydrated papaya stability*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30: 563-581.
- Robertson, Gordon L. (2006), *Food Packaging, Principles and Practice*. (2^a Ed.). Estados Unidos: CRC Press, Taylor and Francis Group, 163-165, 178.
- Rojas-Graü, M., Tapia, M. S., Martín-Belloso, O. (2007). *Using polysaccharide based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples*. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 41: 139-147.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, (2009). “Monografía del Mango”. SIAP-SAGARPA, 1:7.

- Scully, A. D., Horsaham M. A. (2007). *Active Packaging for fruits and vegetables. Intelligent and active packaging for fruits and vegetable*. CRS Press, Taylor & Francois Group, New York., pp 57-71.
- Shafiq, Alam, Singh, Amarjit, Sawheney, B.K. (2010). *Response surface optimization of osmotic dehydration process for aonla slices*. Journal of Food Engineering, 47(1): 47-54.
- Sivakumar, D. , Jiang, Y., Yahia, E. M. (2010), *Maintaining mango (mangifera indica L.) fruit quality during the export chain*, Food Research International, 44: 1254-1263.
- Soliva-Fortuny, R. C., Grigelmo-Miguel, N., Odriozola-Serrano, I., Gorinstein, S., & Martin-Belloso, O. (2001). *Browning evaluation of ready-to-eat apples as affected modified atmosphere packaging*. Journal of Agricultural Food and Chemistry, 49: 3685-3690.
- Tapia, M. S., Rojas-Graü, M.A., Carmona, A., Rodriguez, F.J., Soliva-Fortuny, R., Belloso, O.M. (2008), *Use of alginate and gellan based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh cut papaya*, Food Hydrocolloids, 22: 1493-1503.
- Zambrano-Zaragoza, M.L., Gallardo-Navarro, Y.T., Meléndez, P.R., Arjona-Román, J.L. (2003). *Surface response methodology applied to optimize the hydrating capacity of an extruded oat meal with hull corn*. Información Tecnológica, 14 (3): 37-40.

Zhao, Y., Xie, J. (2004). *Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing*. Trends in Food Science and Technology, 15(9): 434-451.