



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**Desinfección de sandía mínimamente procesada  
con luz UV-C y su conservación en diferentes  
atmósferas modificadas para extender su vida útil.**

## **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**  
**MARIA DE LOS ANGELES SEBASTIAN PALMA**

**ASESORAS:**  
DRA. MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ  
M. EN C. ALMA ADELA LIRA VARGAS

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2017.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**ASUNTO: VOTO APROBATORIO**

**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE**

**ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA  
Jefa 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 comunicar a usted que revisamos el: **Tesis y Examen Profesional**

**Desinfección de sandía mínimamente procesada con luz UV-C y su conservación en diferentes atmósferas modificadas para extender su vida útil.**

Que presenta la pasante: **María de los Angeles Sebastian Palma**  
Con número de cuenta: **307132316** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería 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 HABLARÁ EL ESPÍRITU"**  
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 28 de Noviembre de 2016.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	I.A. Miriam Alvarez Velasco	
<b>VOCAL</b>	M. en C. María Guadalupe Amaya León	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. María Andrea Trejo Márquez	
<b>1er. SUPLENTE</b>	I.A. Alberto Solís Díaz	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en C. Selene Pascual Bustamante	

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

---

# Dedicatoria

Con todo mi cariño a las personas más importantes quienes hicieron posible la realización de esta meta, y que sin importar las adversidades siempre me han apoyado y motivado a seguir adelante, por darme las herramientas y la oportunidad de crecer y de realizarme como persona para cumplir mis sueños, por esto y más les estaré eternamente agradecida. Con amor para ustedes:

A Patricia, mi madre por enseñarme fortaleza, tolerancia y las ganas de seguir adelante aunque las circunstancias sean complejas.

A mi abuelita Angélica: por ser el pilar fundamental en todo lo que soy e incondicional apoyo a través de los años.

A mis tíos Feliciano, Irma y Erasmo: por contribuir en mi educación, tanto académica como de la vida, porque sin su apoyo, la culminación de mis estudios no hubiera sido posible y por eso este logro también es de ustedes.

A mis primos Isabel, Erick y Paola: por creer en mí y verme con admiración.

A José Luis: por brindarme tu apoyo, paciencia, cariño y comprensión durante la carrera y sobre todo en los días de estrés.

---

---

## Agradecimientos

Son muchas las personas a las que me gustaría agradecerles, no solo porque me apoyaron durante la carrera y culminación de este proyecto, sino también en cada una de las etapas de mi vida porque me han forjado como persona y han influido en la manera de cómo veo la vida. Sin importar si están cerca o lejos de mí o de si leen o no estas líneas, quiero darles las igracias! por ser parte de mí.

A Dios por tener salud y permitirme alcanzar una meta más en la vida rodeada de la gente que aprecio.

A mis padres: Patricia y Ángel, por darme la vida y dejarme en manos de personas que pudieron hacer de mí una persona de bien.

A mi abuelita Angélica: porque siempre has estado presente en los momentos importantes de mi vida, has visto y velado por mí hasta donde te ha sido posible, me has dado cariño y educación, por eso y muchas cosas más te estaré eternamente agradecida porque mucho de lo que soy te lo debo a ti.

A mi abuelito Charles (QEPD): quien siempre me impulso a estudiar, a superarme y a esforzarme para conseguir mis metas y a no conformarme hasta que lo logre.

A mi tía Irma: porque has sido como una madre para mí, y que a pesar de mis tropiezos nunca me has dejado sola, me has apoyado e impulsado a seguir adelante pese a las adversidades y sin escatimar esfuerzos, y a tu esposo

---

---

Erasmus, porque debido a ustedes pude concluir esta etapa, sin su confianza, dedicación y compromiso para conmigo esto no hubiera sido posible. De verdad les agradezco todo lo que han hecho por mí. Asimismo, los veo como un ejemplo de superación y de vida, ver como salen adelante aunque parezca que un día es más complicado que el anterior lo reciben y lo viven con entereza y tranquilidad.

A mi tío Feliciano: porque en ningún momento de mi vida has dejado de estar pendiente de mí y has hecho todo cuanto esté en tus manos para que día con día me supere, me has enseñado a ayudar al prójimo como tú lo has hecho conmigo, a siempre mirar hacia adelante y querer seguir aprendiendo. También a tu esposa María, por permitir que me sigas apoyando, infinitas gracias a ambos por no dejarme sola a pesar de la distancia.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme sus puertas, permitirme formar parte de ella y darme las facilidades para cumplir una meta. A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, que me formo como Ingeniera en Alimentos y a todos los profesores que me compartieron su conocimiento. Al Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM, por las instalaciones para la realización de este proyecto.

A mis profesoras del taller de postcosecha, mi gratitud, admiración, respeto y afecto:

Dra. Andrea Trejo, por compartir su conocimiento, por todas y cada una de las facilidades en el laboratorio de postcosecha, por el tiempo, dedicación y apoyo brindado durante la realización de este proyecto, gracias por confiar en

---

---

mí, sobre todo por ayudarme a realizar mi meta y por darme la oportunidad de tenerla como asesora. ¡Infinitas gracias Doctora!

M. en C. Alma Adela Lira, por compartir conmigo tu experiencia y conocimiento sobre el tema, por tu tiempo, paciencia, consejos, disposición para la conclusión de este proyecto, por exigirme a dar lo mejor de mí y motivarme a lograrlo. Muchas gracias por ser mi coasesora.

M. en C. Selene Pascual, por tu apoyo incondicional durante la elaboración del proyecto, tu orientación, consejos, dedicación y tiempo. Gracias por presionarme y por haberme recordado día a día que el tiempo apremia sino todos los días me hubiera quedado a acampar en el CAT.

A mis sinodales: I. A. Miriam Álvarez Velasco, M. en C. María Guadalupe Amaya León, Dra. María Andrea Trejo Márquez, I. A. Alberto Solís Díaz y M. en C. Selene Pascual Bustamante, por la cuidadosa revisión y observaciones concretas para la mejora de este trabajo de investigación.

Al proyecto PAPIIT: Propuesta para el aprovechamiento integral de frutas y hortalizas (IT201216), de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM. Por la financiación del presente trabajo.

A mis tíos: Plutarco, Pedro, Alejandro y Angélica por sus cuidados y enseñanzas cuando era niña, aunque cada quien tenía sus actividades se dieron el tiempo para llevarme e ir por mí a la escuela o alimentarme, bueno infinidad de actividades que no les correspondían pero que aun así lo hicieron y al estar

---

---

cerca de mí aprendí mucho y por eso soy un poco de cada uno de ustedes, así mismo a sus correspondientes cónyuges: Flor, Ana y Antonia, que también alguna vez les toco realizar alguna actividad conmigo.

A mis primos: Isabel, Erick y Paola porque son más que eso, ya que los veo como mis hermanitos, gracias por aceptarme en su entorno y hacerme sentir admirada y como una muestra de superación para ustedes porque eso me motiva a seguir desarrollándome y a ser mejor persona cada día para que en un futuro no lejano también sienta la satisfacción de apoyarlos como lo hicieron sus padres conmigo. Y a mis demás primos porque por ser la mayor me hace sentir con el compromiso de poner el ejemplo para que ustedes también vayan por el buen camino.

A mis hermanos: Daniel y Sonia, por su cariño y apoyo. He aprendido que nuestras diferencias se convierten en aprendizaje cuando existe respeto y tolerancia. A Rebecca y a mi sobrinita Yamileth por hacerme un momento divertido cuando las veo.

A mi amigo Erick: porque compartí una linda infancia contigo que aunque fue corta fueron momentos muy agradables en los que se formo una amistad inquebrantable y que aunque nos vemos una vez al año (si bien nos va) y nos mandamos mensajes esporádicamente, esa amistad sigue intacta. Eres una de las personas que más estimo, me has enseñado a enfrentar las dificultades con valor y afrontar las consecuencias de los actos, así como también me has ayudado a superar momentos desagradables.

---



---

A mis amigas: Dulce, Paola y Julieta porque he crecido con ustedes y siempre han estado en la buenas y malas, siendo un soporte para esa adolescencia en la que no sabía que era vivir con una familia nuclear hasta que las conocí, me abrieron las puertas de su hogar y también recibí el afecto de sus padres. Ustedes saben que son mis hermanas, que las aprecio profunda y sinceramente, y que aunque soy muy seria cuando las veo eso no quiere decir que no me divierto con su compañía. Gracias a las tres por ser parte de mi entorno y enseñarme el significado de la amistad.

A José Luis: por ser un soporte durante la carrera, a darme ánimos cuando sentía que no podía más, a impulsarme para seguir adelante y no desistir. Por tu cariño.

A la familia Morales Avilés: por apoyarme en lo que he necesitado, brindarme su confianza y estima.

A la familia Avilés Sánchez: Principalmente a Don Alberto, por permitirme un espacio en su casa y brindarme su afecto. Y al resto de la familia por aceptarme y hacerme parte de ustedes.

A mis compañeros con los que tuve el gusto de convivir en la FES-C: Alicia, Brenda, Mayra, Rocío Otamendi, Venecia, Walter y Daniel Chávez por hacerme de esta etapa una experiencia linda y divertida.

A mis compañeros del taller de frutos y hortalizas por los momentos que compartimos juntos: Laura, Genaro, Samuel, Julián y en especial a Gerardo

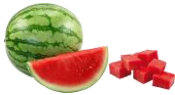
---

---

Puntos, porque con la convivencia nos hicimos muy buenos amigos y te tengo un gran y profundo aprecio, gracias por brindarme tu amistad y escucharme cuando lo he necesitado.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto, ustedes saben quiénes son y que en su momento les agradecí lo que hicieron por mí.

---



**ÍNDICE GENERAL**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... VI

ÍNDICE DE TABLAS ..... X

**RESUMEN** ..... XII

**1. INTRODUCCIÓN** ..... 1

**2. ANTECEDENTES** ..... 4

    2.1. Generalidades de la sandía. .... 5

        2.1.1. Origen e historia. .... 5

        2.1.2. Taxonomía y morfología. .... 5

        2.1.3 Importancia económica. .... 7

            2.1.3.1 Producción mundial. .... 7

            2.1.3.2 Producción nacional. .... 8

        2.1.4. Variedades de sandía. .... 9

        2.1.5 Composición química y valor nutrimental. .... 12

        2.1.6 Métodos de conservación de la sandía. .... 13

    2.2. Productos mínimamente procesados (PMP). .... 15

        2.2.1 Definición. .... 15

        2.2.2 Proceso de elaboración de PMP. .... 16

        2.2.3 Causas de deterioro de los PMP. .... 20

        2.2.4 Métodos de desinfección e inhibición enzimática de los PMP. .... 21

            2.2.4.1 Radiaciones. .... 23

            2.2.4.2 Radiaciones no ionizantes ..... 23

        2.2.5 Envasado en atmósferas modificadas (EAM). .... 26

        2.2.6 Aplicación de agentes de recubrimiento. .... 31

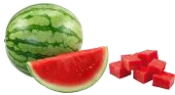
**3. OBJETIVOS** ..... 38

**4. METODOLOGÍA** ..... 40

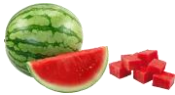
    4.1 Cuadro metodológico. .... 41

    4.2 Material biológico. .... 42

    4.3 Elaboración de sandía mínimamente procesada y evaluación de las condiciones de desinfección. .... 42



4.4 Aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina y carragenina a dos diferentes concentraciones en sandía mínimamente procesada. ....	44
4.4.1 Elaboración de recubrimientos comestibles. ....	44
4.4.2. Aplicación de recubrimientos comestibles en sandía mínimamente procesada.....	45
4.5 Caracterización de las propiedades del recubrimiento seleccionado para la sandía mínimamente procesada .....	47
4.5.1 Elaboración de la película modelo. ....	47
4.6 Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la sandía mínimamente procesada.....	47
4.7 Métodos analíticos. ....	48
4.7.1 Parámetros de calidad. ....	48
4.7.1.1 Determinación de color.....	48
4.7.1.2 Determinación de firmeza. ....	48
4.7.1.3 Determinación de pérdida peso. ....	49
4.7.1.4 Determinación de liberación de líquido. ....	49
4.7.1.5 Determinación de sólidos solubles totales (SST).....	49
4.7.1.6 Determinación de acidez. ....	50
4.7.1.7 Determinación de pH. ....	50
4.7.2 Parámetros fisiológicos.....	51
4.7.2.1 Determinación del contenido de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> .....	51
4.7.3 Parámetros microbiológicos.....	51
4.7.4 Propiedades físicas de las películas. ....	52
4.7.4.1 Determinación de color.....	52
4.7.4.2 Determinación del espesor. ....	52
4.7.4.3 Determinación de transparencia. ....	53
4.7.4.4 Determinación de hinchamiento. ....	54
4.7.5 Determinación de parámetros sensoriales.....	55
4.8 Análisis estadístico. ....	56
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>



5.1 Efecto del tiempo de desinfección de luz UV-C en sandía mínimamente procesada..... 58

5.1.1 Parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada con distintos tiempos de desinfección con luz UV-C. .... 58

5.1.1.1 Color..... 58

5.1.1.1.1 Luminosidad..... 58

5.1.1.1.2 Tono (°Hue)..... 60

5.1.1.1.3 Croma. .... 62

5.1.1.2 Firmeza. .... 64

5.1.1.3 Pérdida de peso. .... 66

5.1.1.4 Liberación de líquido. .... 67

5.1.1.5 Sólidos solubles totales (SST)..... 69

5.1.1.6 pH..... 70

5.1.1.7 Acidez. .... 72

5.1.2 Parámetros fisiológicos de sandía mínimamente procesada con distintos tiempos de desinfección con luz UV-C. .... 73

5.1.2.1 Contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>..... 73

5.1.3 Parámetros microbiológicos de sandía mínimamente procesada con distintos tiempos de desinfección con luz UV-C. .... 75

5.1.3.1 Coliformes totales..... 75

5.1.3.2 Mesófilos aerobios..... 77

5.1.3.3 Mohos y levaduras. .... 79

5.2 Efecto de recubrimientos a base de grenetina y carragenina a diferentes concentraciones en sandía mínimamente procesada. .... 81

5.2.1 Parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada con recubrimientos comestibles. .... 81

5.2.1.1 Color..... 81

5.2.1.1.1 Luminosidad..... 81

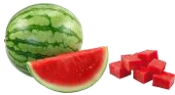
5.2.1.1.2 Tono (°Hue)..... 83

5.2.1.1.3 Croma. .... 85

5.2.1.2 Firmeza. .... 87



5.2.1.3 Pérdida de peso. ....	90
5.2.1.4 Liberación de líquido. ....	92
5.2.1.5 Sólidos solubles totales (SST). ....	94
5.2.1.6 pH.....	96
5.2.1.7 Acidez. ....	98
5.2.2 Parámetros microbiológicos de sandía mínimamente procesada con recubrimiento comestible. ....	99
5.2.2.1 Coliformes totales. ....	100
5.2.2.2 Mesófilos aerobios. ....	102
5.2.2.3 Mohos y levaduras. ....	103
5.2.3 Parámetros sensoriales de la sandía mínimamente procesada con recubrimiento comestible. ....	106
5.3 Caracterización de películas comestibles a base de grenetina a 1.0%. ....	108
5.3.1 Propiedades físicas (color, espesor y transparencia) de películas a base de grenetina a 1.0%. ....	108
5.3.2 Hinchamiento. ....	111
5.4 Efecto del empleo de diferentes atmósferas modificadas en los parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada. ....	113
5.4.1 Parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas. ....	113
5.4.1.1 Color.....	113
5.4.1.1.1 Luminosidad. ....	113
5.4.1.1.2 Tono (°Hue).....	114
5.4.1.1.3 Croma. ....	116
5.4.1.2 Firmeza. ....	119
5.4.1.3 Pérdida de peso. ....	121
5.4.1.4 Liberación de líquido. ....	123
5.4.1.5 Sólidos solubles totales (SST). ....	124
5.4.1.6 pH.....	127
5.4.1.7 Acidez. ....	128



5.4.2	Parámetro fisiológico de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas. ....	129
5.4.2.1	Contenido de CO <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> . ....	129
5.4.3	Parámetros microbiológicos de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas. ....	133
5.4.4	Parámetros sensoriales de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas. ....	135
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	139
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	142
	<b>REFERENCIAS</b> .....	145



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. A) Forma y color de pulpa. B) Color de corteza. ....	7
Figura 2. Principales países productores de sandía en 2013. ....	8
Figura 3. Estados productores en 2014. ....	9
Figura 4. Sandía triploide. ....	10
Figura 5. Variedades de productos mínimamente procesados. ....	16
Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. ....	18
Figura 7. Espectro electromagnético de radiación. ....	24
Figura 8. Mecanismo de desinfección UV. ....	24
Figura 9. Modificaciones de la composición del espacio de cabeza en envases que contienen productos vegetales frescos. ....	27
Figura 10. Propiedades funcionales de los recubrimientos comestibles. ....	32
Figura 11. Sandía Jubilee “sin semilla” ....	42
Figura 12. Diagrama de proceso de elaboración de sandía mínimamente procesada desinfectada con luz UV-C. ....	43
Figura 13. Diagrama de proceso de elaboración de sandía mínimamente procesada con recubrimiento a base de grenetina. ....	46
Figura 14. Secado de películas comestibles a base de grenetina. ....	47
Figura 15. Determinación de color. ....	48
Figura 16. Determinación de firmeza. ....	48
Figura 17. Determinación de pérdida de peso. ....	49
Figura 18. Determinación de liberación de líquido. ....	49
Figura 19. Determinación de SST. ....	50
Figura 20. Determinación de acidez. ....	50
Figura 21. Determinación de pH. ....	51
Figura 22. Determinación de la composición atmosférica. ....	51
Figura 23. Determinación de parámetros microbiológicos. ....	52
Figura 24. Determinación de color en películas comestibles. ....	52
Figura 25. Micrómetro digital y porciones de película. ....	53



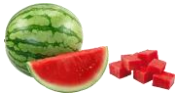


Figura 26. Porción rectangular de la película en la parte frontal de la celda y equipo de medición. .... 54

Figura 27. Determinación de hinchamiento. .... 54

Figura 28. Formato que se aplicó a los panelistas durante los días de muestreo. .... 55

Figura 29. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la luminosidad de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 59

Figura 30. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en el tono de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 61

Figura 31. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en el croma de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 63

Figura 32. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la firmeza de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 64

Figura 33. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la pérdida de peso de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días.... 66

Figura 34. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días.. .... 68

Figura 35. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en los sólidos solubles totales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 69

Figura 36. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en el pH de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días.. .... 71

Figura 37. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la acidez de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días.. .... 72

Figura 38. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la composición atmosférica de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días.. .... 74

Figura 39. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la luminosidad de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días.... 81

Figura 40. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en el tono de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 83



Figura 41. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en el croma de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 85

Figura 42. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la firmeza de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 87

Figura 43. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la pérdida de peso de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 90

Figura 44. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. 92

Figura 45. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en los sólidos solubles totales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 94

Figura 46. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en el pH de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 96

Figura 47. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la acidez de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 98

Figura 48. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en los parámetros sensoriales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 12 días. A) Día 0. B) Día 6. C) Día 12. .... 106

Figura 49. Caracterización de porcentaje de hinchamiento de películas comestibles de grenetina a 1.0%. .... 112

Figura 50. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la luminosidad de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 113

Figura 51. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en el tono de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 115

Figura 52. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en el croma de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 116

Figura 53. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la firmeza de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .... 119

Figura 54. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la pérdida de peso de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .. 121

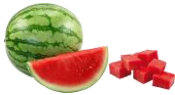


Figura 55. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. .. 123

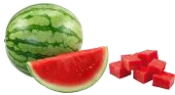
Figura 56. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en los sólidos solubles totales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 125

Figura 57. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en el pH de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 127

Figura 58. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la acidez de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 129

Figura 59. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la composición atmosférica de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días..... 130

Figura 60. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en los parámetros sensoriales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 12 días. A) Día 0. B) Día 6. C) Día 12..... 136

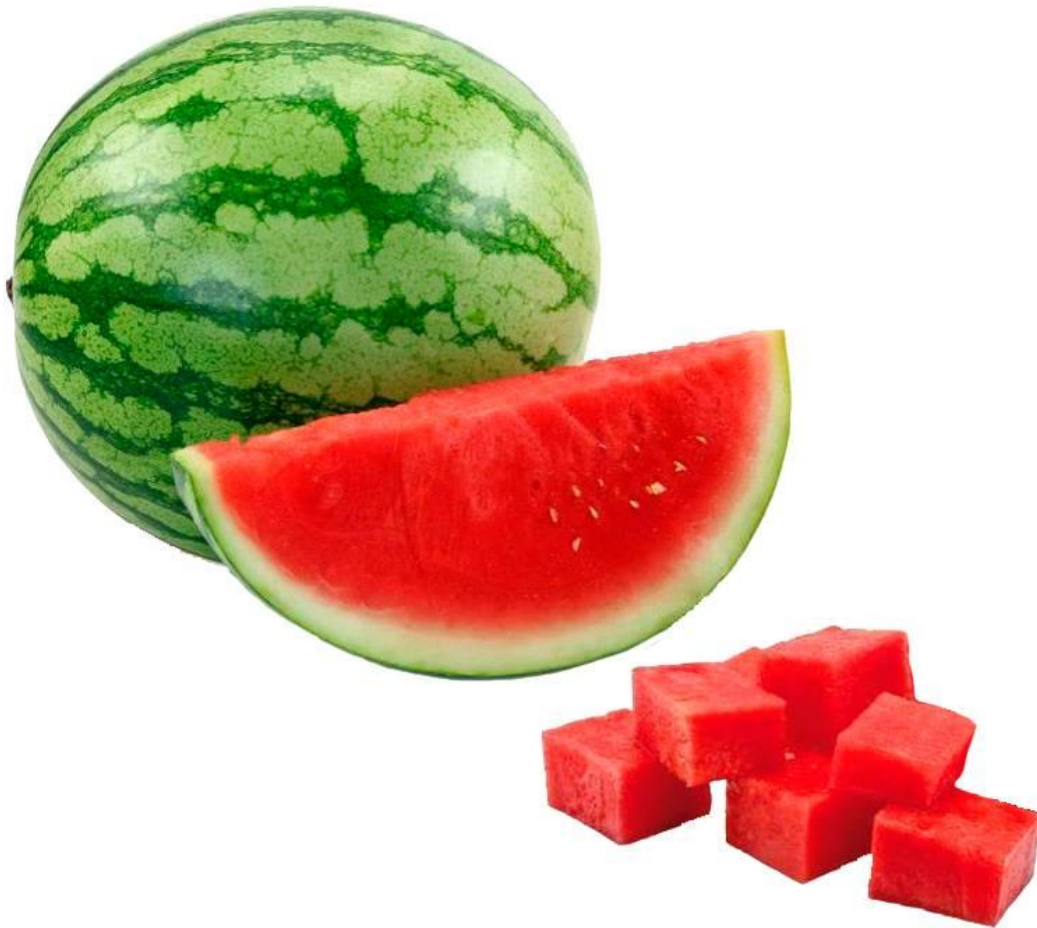


## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la sandía. ....	5
Tabla 2. Descripción morfológica de la sandía. ....	6
Tabla 3. Variedades de sandía. ....	11
Tabla 4. Composición química y nutricional de la sandía por cada 100g de porción comestible. ....	12
Tabla 5. Productos derivados de la sandía. ....	15
Tabla 6. Principales causas de deterioro en productos mínimamente procesados. ....	20
Tabla 7. Métodos de desinfección e inhibición enzimática de los PMP. ....	21
Tabla 8. Propiedades deseables en los materiales de empaque. ....	29
Tabla 9. Principales materiales utilizados en el empaque de PMP. ....	30
Tabla 10. Biopolímeros empleados para la elaboración de RC. ....	33
Tabla 11. Aditivos empleados para la elaboración de recubrimientos comestibles. ....	36
Tabla 12. Ventajas y beneficios de las atmósferas modificadas. ....	37
Tabla 13. Formulación para recubrimiento a base de grenetina y carragenina. ....	45
Tabla 14. Recuento de coliformes totales en sandía mínimamente procesada desinfectada a tres tiempos con luz UV-C. ....	76
Tabla 15. Recuento de mesófilos aerobios en sandía mínimamente procesada desinfectada a tres tiempos con luz UV-C. ....	77
Tabla 16. Recuento de mohos y levaduras en sandía mínimamente procesada desinfectada a tres tiempos con luz UV-C. ....	79
Tabla 17. Recuento de coliformes totales en sandía mínimamente procesada con diferentes recubrimientos comestibles. ....	100
Tabla 18. Recuento de mesófilos aerobios en sandía mínimamente procesada con diferentes recubrimientos comestibles. ....	102
Tabla 19. Recuento de mohos y levaduras en sandía mínimamente procesada con diferentes recubrimientos comestibles. ....	104
Tabla 20. Propiedades físicas de películas a base de grenetina a 1.0%. ....	110
Tabla 21. Seguimiento fotográfico de la sandía mínimamente procesada en diferentes atmósferas modificadas. ....	118



Tabla 22. Recuento de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas. .... 133



# Resumen

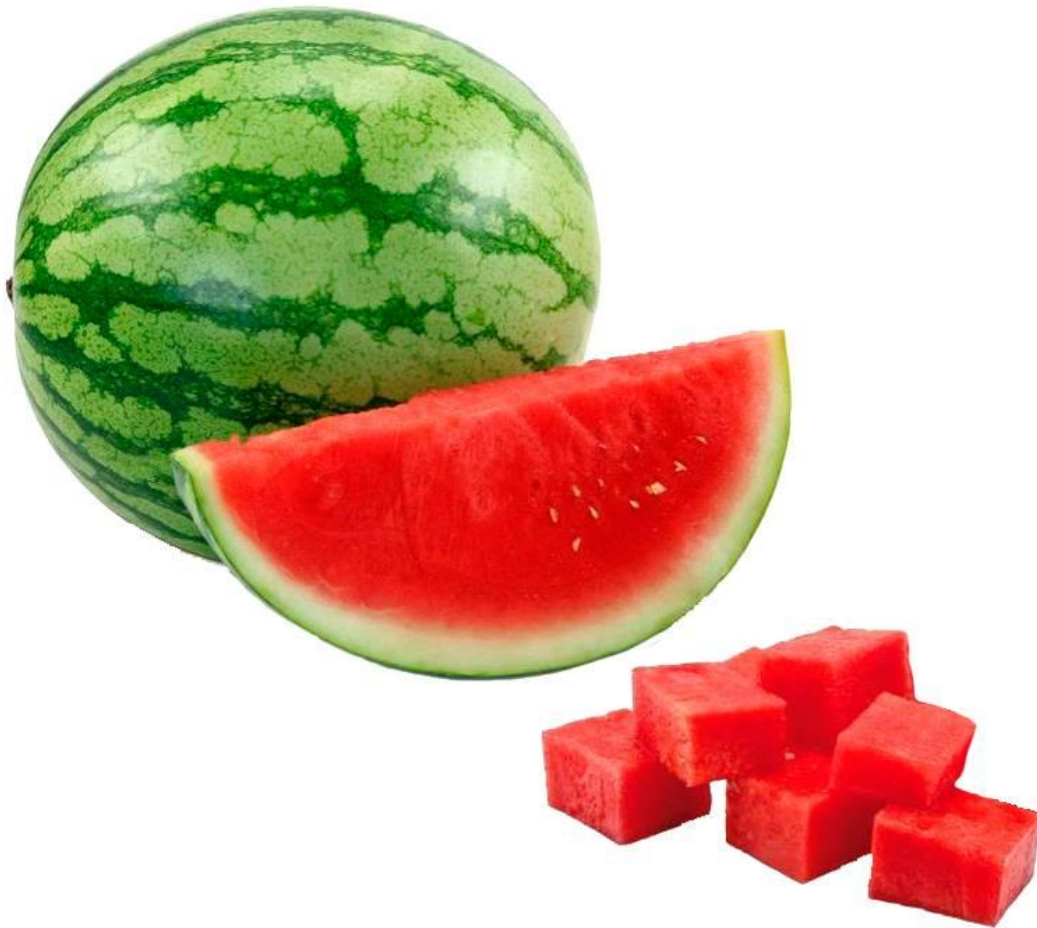


## Resumen.

La sandía es un fruto con un amplio volumen de producción en México, sin embargo, existen pocos o nulos productos industrializados y su consumo en fresco solo se adquiere en comercios ambulantes y restaurantes. Por lo que el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de métodos de desinfección, recubrimientos comestibles y materiales de envase sobre los parámetros de calidad, microbiológicos y sensoriales de la sandía mínimamente procesada.

Para la obtención del producto mínimamente procesado, la sandía fue sometida a las operaciones de: selección, lavado, pelado, troceado, desinfección, pesado, envasado y almacenamiento. Los tiempos de desinfección con luz UV-C fueron 2.5, 3.75 y 5 minutos, su influencia se evaluó en los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, sólidos solubles totales, pH y acidez), fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza del envase), y microbiológicos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras).

El tiempo de desinfección por 2.5 min con luz UV-C fue el que mostró tener mayor efectividad en el control de microorganismos con una baja carga de estos, además de que preservó la calidad del producto, por lo que se eligió como método para la siguiente etapa experimental. En la segunda etapa la sandía mínimamente procesada fue inmersa en recubrimientos a base de grenetina y carragenina (0.5 y 1.0%), además de los parámetros mencionados anteriormente también se evaluó sensorialmente. Los mejores resultados se obtuvieron de las concentraciones de grenetina a 1.0%, por lo cual pasó a la última etapa, además de que a dicho recubrimiento se le caracterizó en forma de película evaluando propiedades físicas, tales como: color, espesor, transparencia e hinchamiento. También se evaluaron cuatro atmósferas modificadas pasivas por medio del empleo de dos materiales de envase: tereftalato de polietileno (PET) y poliestireno (PS) con un film con baja permeabilidad al oxígeno. A partir de la evaluación de los parámetros anteriormente mencionados, se observó que los mejores resultados se obtuvieron cuando la sandía mínimamente procesada se envasó en PET.



# 1. Introducción





### **Introducción.**

La sandía es una de las frutas más importantes en el comercio agroalimentario de México, ocupando el primer lugar en las exportaciones del mundo, a las que se destina, en promedio, 33.6% de la producción (SAGARPA, 2012). Aunque son varios los estados productores, solamente tres destacan siendo Sonora 249,363.71 Ton, Jalisco 101,164.75 Ton y Chihuahua 82,255.40 Ton, donde se concentra casi la mitad de la producción nacional (SIAP-SAGARPA, 2015).

Debido a la gran producción existe disponibilidad de sandía durante todo el año, sin embargo, los malos manejos durante la cosecha, transporte y conservación, producen una pérdida de un 20-35% del volumen de su producción; estos factores y el gran contenido de agua del fruto (93%), no permiten un desarrollo industrial adecuado (Rojas-Ávila *et al.*, 2008), por lo que existen muy pocos productos derivados de la sandía en el mercado, así como métodos de conservación para esta, por lo que un mínimamente procesado (MP) sería una opción de conservación, ofreciendo una alternativa para incrementar el consumo de este fruto en estado fresco.

La facilidad de consumo es una característica deseable en una fruta como la sandía que es demasiado grande para proporcionar una única porción y requiere un cierto grado de preparación antes de comer, junto con la eliminación de los residuos asociados, sin embargo, se produce a expensas de algunos atributos de calidad (Amaro *et al.*, 2012).

Las operaciones como pelado y cortado generan daños en el tejido vegetal que conllevan la posibilidad de desarrollo microbiano (García-Méndez, 2008b). Durante la elaboración de un MP, la única etapa que consigue disminuir la contaminación microbiana es la desinfección, la cual pretende reducir la mayor carga microbiana del producto, y obtener un producto microbiológicamente seguro. Para llevar a cabo esta operación se ha optado por un método de desinfección en seco como lo

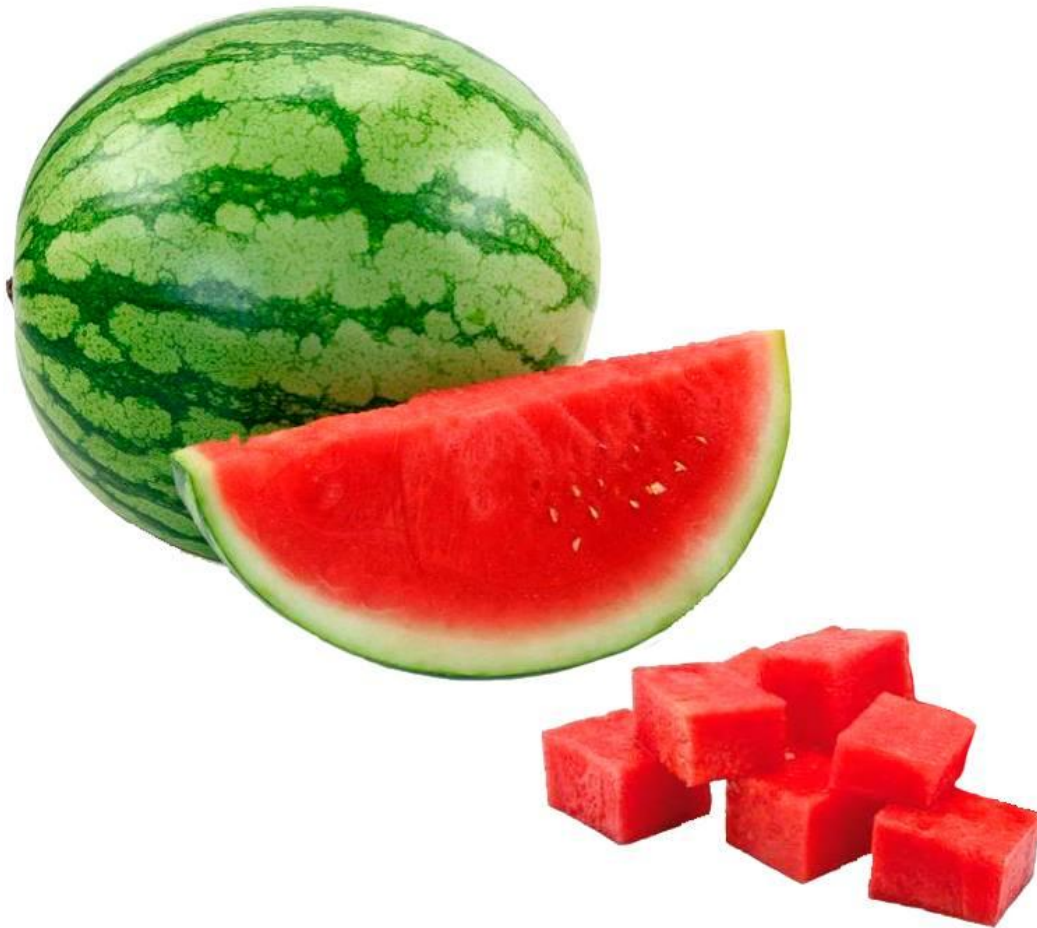


es la luz UV-C, ya que por las características del fruto no permite ser tratado como algunos frutos y vegetales que utilizan hipoclorito sódico, además de que este tipo de sustancias generan compuestos potencialmente tóxicos (Tomás-Callejas *et al.*, 2010). Por el contrario, la luz UV-C en el rango de 240-260 nm ha sido aprobada para su aplicación en la industria alimentaria como un tratamiento de desinfección de superficie, el cual puede ser un tratamiento germicida más eficaz que el O<sub>3</sub> o NaClO (Artes-Hernández *et al.*, 2010; Fonseca y Rushing, 2006).

Por otro lado, los recubrimientos comestibles han sido desarrollados con el fin de extender la vida útil de los productos alimenticios o enriquecerlos. Estas películas deben ser totalmente neutras con respecto al color, tacto y olor del alimento. Su aplicación sobre frutas y hortalizas puede modificar el intercambio de gases, la respiración y la migración de vapor de agua, etc. (Famá *et al.*, 2003).

Además de la desinfección y el empleo de un recubrimiento comestible la vida útil de los productos MP se puede extender mediante la sinergia de la refrigeración y un envasado en atmósfera modificada (AM) (Alegre *et al.*, 2010), la cual tiene la intención de lograr un equilibrio en el empaque el cual se basa en la respiración del producto al consumir el O<sub>2</sub> en el envase reemplazándolo con CO<sub>2</sub>. Asimismo el envase limita el movimiento de los gases dentro y fuera debido a sus permeabilidades selectivas a O<sub>2</sub> y al CO<sub>2</sub>, y esto va a depender del material como: (tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), polietileno de alta (HDPE) y baja densidad (LDPE), etc. (Steiner *et al.*, 2006).

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de tres diferentes tiempos de desinfección con luz UV-C, dos recubrimientos comestibles y dos materiales de envase en los parámetros de calidad, microbiológicos y sensoriales de la sandía mínimamente procesada para determinar qué tiempo de exposición, recubrimiento y envase pueden prolongar la vida útil del producto.



# 2. Antecedentes



## 2.1. Generalidades de la sandía.

### 2.1.1. Origen e historia.

Existen dos hipótesis sobre el origen de la sandía, la primera es que deriva de poblaciones silvestres de África, mientras que otros investigadores apuntan que es originaria de una especie de Cucurbitácea que crece silvestre en el valle del Nilo. Con toda probabilidad, se comenzó a cultivar en África, desde donde se dispersó por el Mediterráneo, Próximo Oriente y la India (FRUTAS & HORTALIZAS, 2015). No obstante, fue traída a Europa por los árabes, probablemente desde la India y Pakistán, así se puede deducir del nombre en árabe sindiya, es decir, procedente de la población de Sind, en Pakistán (Natureduca, 2015). Hasta el siglo XVI se tienen pocos registros sobre esta especie, pero a partir de esa época comienza a ser popular. Los pobladores europeos fueron quienes la llevaron hasta América, donde su cultivo se extendió por todo el continente (INFOAGRO, 2015).

### 2.1.2. Taxonomía y morfología.

La sandía (*Citrullus lanatus*) de acuerdo a su taxonomía (Tabla 1) pertenece a la familia de las *Cucurbitáceas*, del género y especie *Citrullus lanatus* (NMX-FF-075-1990). Su nombre científico es *Citrullus lanatus* y sus sinónimos son *C. vulgaris* y *Colocynthis citrullus*.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la sandía.

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>División</b>	<i>Espermatophyta</i>
<b>Clase</b>	<i>Dicotiledoneae</i>
<b>Orden</b>	<i>Cucurbitales</i>
<b>Familia</b>	<i>Cucurbitaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Citrullus</i>
<b>Especie</b>	<i>Citrullus lanatus</i>

Fuente: Orduz *et al.* (2000).

La sandía es un fruto que crece de una planta anual herbácea, de porte rastrero o trepador, en estado de 5-8 hojas bien desarrolladas el tallo principal emite las



brotaciones de segundo orden a partir de las axilas de las hojas. En las brotaciones secundarias se inician las terciarias y así sucesivamente, de forma que la planta llega a cubrir 4-5 metros cuadrados. En la Tabla 2, se muestra un resumen de las características de esta planta (INFOAGRO, 2015).

Tabla 2. Descripción morfológica de la sandía.

Partes	Características
<b>Raíz</b> 	La raíz de la sandía es ramificada; la raíz principal se divide en raíces primarias y éstas, a su vez vuelven a subdividirse. La raíz principal alcanza un gran desarrollo con relación a las secundarias y pueden penetrar en el suelo hasta una profundidad de 1.20 m.
<b>Tallo</b> 	Los tallos son herbáceos de color verde, recubiertos de pilosidad que se desarrollan de forma rastrera, pudiendo trepar debido a la presencia de zarcillos bífidos o trifidos, y alcanzando una longitud de hasta 4-6 metros.
<b>Hoja</b> 	Las hojas son pecioladas, pinnado-partida, divididas en 3-5 lóbulos que a su vez se dividen en segmentos redondeados, presentando profundas entalladuras que no llegan al nervio principal. El nervio principal se ramifica en nervios secundarios que se subdividen para dirigirse a los últimos segmentos de la hoja, imitando la palma de la mano.
<b>Flores</b> 	Las flores son de color amarillo, solitarias, pedunculadas y axilares. Existen dos tipos de flores: masculinas o estaminadas y femeninas o pistiladas, coexistiendo los dos sexos en una misma planta, pero en flores distintas (flores unisexuales). Existe una correlación entre el número de tubos polínicos germinados y el tamaño del fruto.
<b>Fruto</b> 	El fruto es una baya globosa u oblonga en pepónide formada por 3 carpelos fusionados con receptáculo adherido, que dan origen al pericarpo. Su peso oscila entre los 2 y los 20 kilogramos. El color de la corteza es variable (verde oscuro, verde claro o amarillo) o a franjas de color amarillento, grisáceo o verde claro sobre fondos de diversas tonalidades verdes.
<b>Semilla</b> 	Las semillas son de tamaño variable, aplanadas ovoides, duras, y colores también variables (blancas, marrones o negras, etc.), Peso de 25 a 35 mg y una viabilidad de 5 a 10 años.

Fuente: Elaboración propia con información de INFOAGRO (2015) y Orduz *et al.* (2000).



La sandía es un fruto no climatérico de forma elipsoidal u oblonga (Figura 1A), de tamaño variable, de hasta 30 centímetros de diámetro, pueden alcanzar un peso de hasta 15 ó 20 kilogramos, sin embargo, las destinadas al comercio suelen pesar entre 3 y 8 kilos. Su corteza es lisa, dura de unos 2-4 centímetros de grosor y su color varía entre verde oscuro, verde claro o amarillo, e incluso puede tener motas de color amarillento, grisáceo o verde claro (Figura 1B). En su interior se encuentra la pulpa con una coloración rojiza o rosada muy atractiva, si bien existen variedades con pulpa de color amarillo intenso e incluso anaranjado (Figura 1A), las semillas pueden estar ausentes (frutos triploides) o mostrar tamaños y colores variables (negro, marrón o blanco), dependiendo del cultivar (Arnal, 2014).

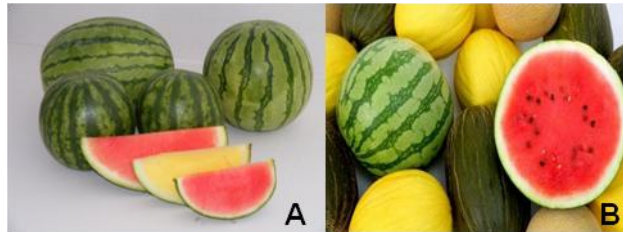


Figura 1. A) Forma y color de pulpa. B) Color de corteza.  
Fuente: Taringa (2012). Infoalimentación (2011).

Debido a la demanda de condiciones climáticas que este fruto requiere, la sandía es cultivada en muchas regiones del mundo, en unos 92 países (Reho, 2011).

### **2.1.3 Importancia económica.**

#### **2.1.3.1 Producción mundial.**

En la Figura 2, se puede observar la producción mundial de sandía en la cual destaca el caso de China con la cifra de 72,946,838 toneladas en 2013. A muy larga distancia, el segundo lugar en producción lo ocupa Irán con 3,947,057 toneladas, seguida de Turquía con 3,887,324 toneladas, Brasil con 2,163,501 toneladas, Egipto con 1,894,73 toneladas, Estados Unidos de América con 1,771,734 toneladas, Argelia con 1,500,559 toneladas, Viet Nam con 1,162,554 toneladas, México con 953,244 toneladas y España con 869,500 toneladas (FAOSTAT, 2015).



México es de los principales productores de frutas del mundo, ocupa el primer lugar de exportación en sandía, siendo su principal mercado Estados Unidos. Los productos agrícolas mexicanos están bien catalogados en el mundo por sus altos niveles de diversidad, sanidad e inocuidad, situación que permite a los productores nacionales realizar exportaciones a 43 países del mundo con los que se tienen acuerdos comerciales, principalmente países europeos y asiáticos (SAGARPA, 2012).

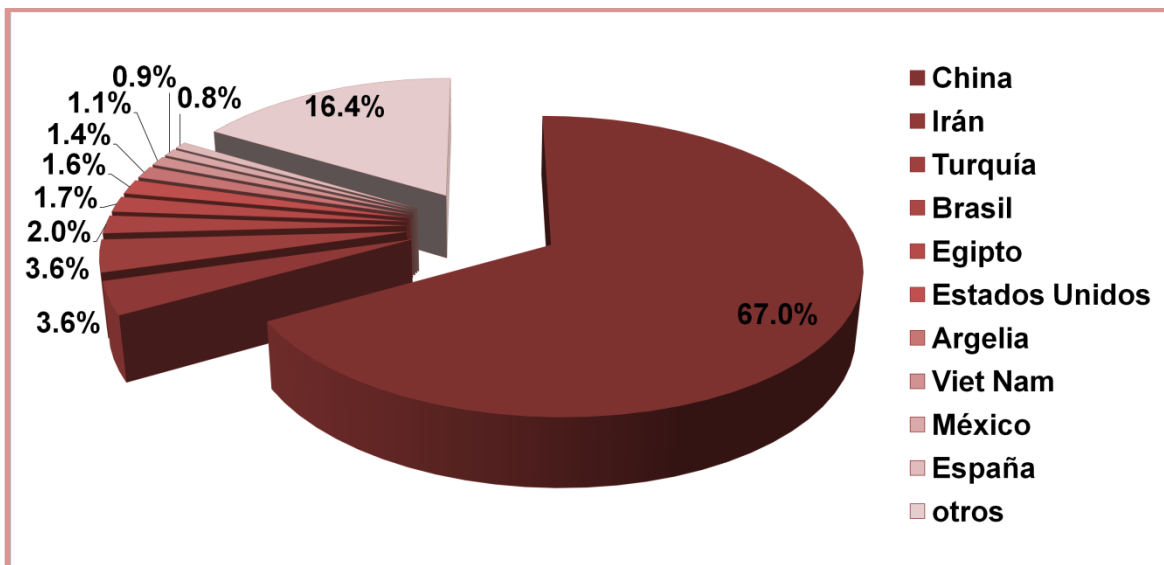


Figura 2. Principales países productores de sandía en 2013.  
Fuente: Elaborado a partir de datos de FAOSTAT (2015).

### 2.1.3.2 Producción nacional.

La sandía es una de las frutas más importantes en el comercio agroalimentario de México, ocupa el primer lugar en las exportaciones en el mundo, a las que se destina, en promedio, 33.6% de la producción (SAGARPA, 2012). En México 28 estados son productores de sandía, de los cuales destacan Sonora 249,363.71 Ton, Jalisco 101,164.75 y Chihuahua 82,255.40 Ton (Figura 3), donde se concentra casi la mitad de la producción nacional (SIAP-SAGARPA, 2015).

Debido a la vasta producción mundial de sandía se tiene como resultado una extensa variedad de este fruto gracias a los diferentes países involucrados por lo que cada uno le aporta distintos nutrientes que hacen que se desarrollen de



diferente manera, así como también pueden tener diferentes pigmentaciones en su corteza y/o en la pulpa.

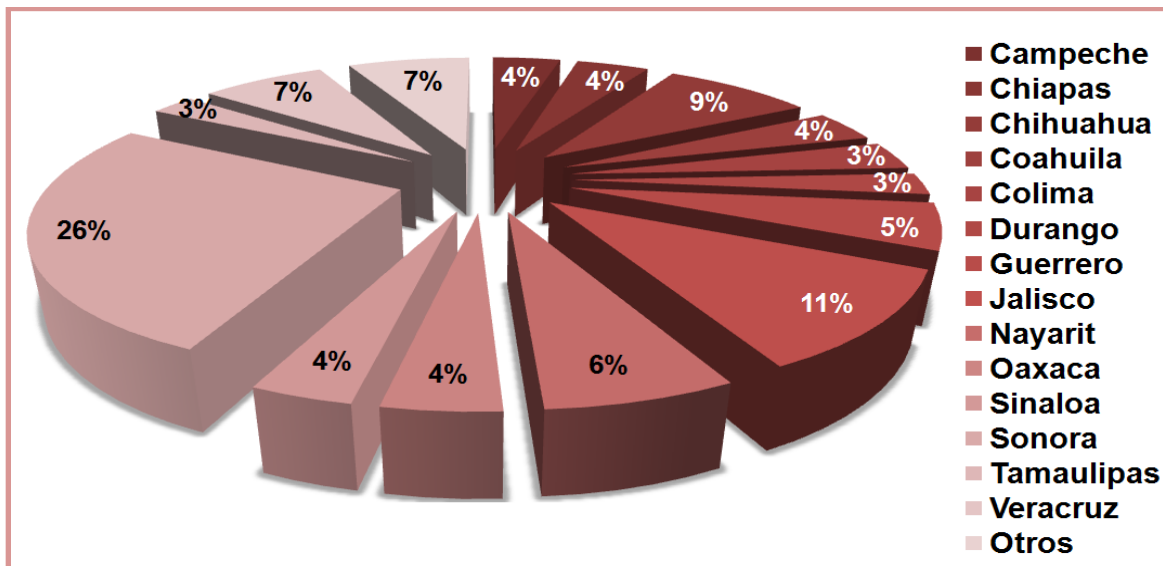


Figura 3. Estados productores en 2014.

Fuente: Elaborado a partir de datos de SIAP-SAGARPA (2015).

#### 2.1.4. Variedades de sandía.

Existen unos 1,200 tipos de sandía (*Citrullus lanatus*) e innumerables variedades de este cultivo (Reho, 2011), que se clasifican en función de la forma de sus frutos, el color de la pulpa, el color de la piel, el peso, el período de maduración, etc. Genéticamente existen dos tipos de sandías diploides y triploides. Las sandías diploides o con semillas son las variedades cultivadas tradicionalmente, que producen semillas negras o marrones de consistencia leñosa. Según la forma de sus frutos encontramos alargados de corteza verde con bandas de color más claro, destacan los tipos Klondike y Charleston Gray. Los frutos redondos de corteza de color verde oscuro o negro, son los ejemplares más cultivados aunque están siendo desplazadas por las variedades sin semillas, destacan Crimson Sweet, Sugar Baby, Sweet Marvell (Arnal, 2014).

Las sandías triploides o sin semillas son variedades que tienen unas semillas tiernas de color blanco que pasan desapercibidas al comer el fruto. Se caracterizan por tener la corteza verde clara con rayas verdes oscuras y la pulpa





puede ser de color rojo o amarillo (Figura 4). Destacan Apirena, Jack y Pepsin, entre otras (FRUTAS & HORTALIZAS, 2015). En realidad, una sandía sin semillas no es más que una sandía estéril, producto de cruzar dos plantas cuyo juego de cromosomas es incompatible. Las sandías triploides son fruto de plantas estériles (3N), resultantes de cruzar una planta diploide normal (2N) con una tetraploide (4N). El tetraploide se usa como parental femenino y la diploide como masculino. Dado que el tetraploide produce sólo del 5 al 10% de semillas que una diploide. Las plantas triploides estériles no producen semillas verdaderas, sino pequeñas semillas blandas de color blanco o cáscaras de semilla, las cuales se consumen junto con el fruto (HORTALIZAS, 2008).

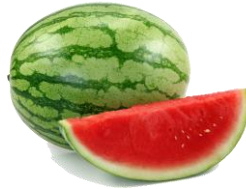


Figura 4. Sandía triploide.  
Fuente: Fernández (2015).

El número de estas semillas inmaduras varía con la variedad y ocasionalmente puede encontrarse una semilla verdadera dura y oscura. EUA es el principal mercado de exportación de las sandías sin semillas, los estándares de calidad establecen que las sandías sin semillas deben tener menos de 10 semillas maduras, sin incluir pepas en la superficie expuesta al cortar el fruto longitudinal y transversalmente en cuatro secciones iguales (HORTALIZAS, 2008).

Entre las variedades de sandía que se cultivan en México están la Jubilee (sin semilla), Peacock Improved, Sangría, Charlestone Gray y TRI-X 313, entre otros. En la Tabla 3, se describen algunas de las variedades más conocidas y cultivadas.

En el caso de la sandía, todas las variedades presentan una característica común que es el dulzor de su pulpa, además de que tiene una textura acuosa, porosa y muy jugosa (Infoalimentación, 2011). Su color rojo se debe a la presencia de



carotenoide licopeno, elemento que representa un 30% del total de carotenoides del cuerpo humano (Arnal, 2014).

Tabla 3. Variedades de sandía.

Variedad	Características
<b>Charleston Gray</b> 	Fruto oblongo de 40 a 60 cm de largo y 20 a 25 cm de diámetro con un peso que va de 9 a 16 Kg. Su corteza es medianamente gruesa de color verde claro, con múltiples nervaduras ligeramente marcadas de color más oscuro, la pulpa de la fruta es rojo intenso con semillas café oscuro.
<b>Jubilee (sin semillas)</b> 	(Trix Paula) Fruto oblongo de de 30 a 40 cm de largo y 25 a 35 cm de diámetro con un peso que va de 5 a 10 Kg. La corteza es de color verde claro y franjas de una tonalidad más oscura. Su pulpa es de color rojo con pequeñas semillas blancas.
<b>Muñeca</b> 	Fruto oblongo de 39 a 43 cm de largo, 19 a 20 cm de diámetro, de corteza verde claro con franjas verde oscuro. La pulpa es de color amarillo con semillas negras.
<b>Peacock Improved</b> 	Fruto oblongo de 35 a 45 cm de largo, 20 a 25 cm de diámetro con un peso promedio de 9 a 13 kg. La corteza es de color verde oscuro y la pulpa de color rojo-anaranjado. Las semillas son casi negras.
<b>Royal Sweet</b> 	Fruto oblongo de 35 a 37 cm de largo, 19 a 23 cm de diámetro con peso que va de 9 a 11 Kg. La corteza es de color verde oscuro con franjas de tonalidad más clara. Su pulpa es rojo intenso con semillas negras.
<b>Sangría</b> 	Fruto oblongo de 39 a 43 cm de diámetro, 17 a 19 cm de diámetro su peso oscila entre los 9 y 12 Kg. La corteza es de color verde oscuro con franjas verde claro. La pulpa es rojo intenso con semillas negras y grandes.
<b>TRI-X 313</b> 	Fruto oblongo de peso promedio entre 7.5 a 9 kg. La corteza es verde oscuro con franjas delgadas verde claro. La pulpa es de color rojo brillante. Sus semillas son blancas y pequeñas.

Fuente: Elaboración propia con información de Caloro (2014) y King Seeds (2015).



Dependiendo del tipo de sandía su composición química puede variar sutilmente, sin embargo, los valores nutrimentales referenciados son para la sandía en general.

### 2.1.5 Composición química y valor nutrimental.

Como se puede observar en la Tabla 4, la sandía está formada principalmente por agua (94.6 g), por tanto su valor nutritivo es poco importante, por ello su valor calórico es muy bajo ya que contiene un promedio de 20 Kcal por cada 100 gramos de pulpa. Los niveles de vitaminas son medios, no destacando en particular ninguna de ellas (INFOAGRO, 2015).

Tabla 4. Composición química y nutricional de la sandía por cada 100g de porción comestible.

Componente	Por 100 g de porción comestible	Componente	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	21	Potasio (mg)	120
Proteínas (g)	0.4	Fósforo (mg)	5.5
Lípidos totales (g)	0.0	Selenio (µg)	Trazas
Carbohidratos (g)	4.5	Tiamina (mg)	0.02
Fibra (g)	0.5	Riboflavina (mg)	0.02
Agua (g)	94.6	Equivalentes niacina (mg)	0.3
Calcio (mg)	7	Vitamina B6 (mg)	0.07
Hierro (mg)	0.3	Folatos (µg)	3
Yodo (µg)	Trazas	Vitamina C (mg)	5
Magnesio (mg)	11	Vitamina A: eq. Retinol (µg)	33
Zinc (mg)	0.1	Vitamina E (mg)	0.1
Sodio (mg)	4		

Fuente: Moreiras *et al.* (2013).

La pulpa calma tanto el hambre como la sed. Beneficia en los problemas de tránsito intestinal y estreñimiento, por su poder laxante. Es muy buena fruta para desintoxicar y depurar el organismo. Ayuda a prevenir problemas cardiovasculares y degenerativos. Es buena en casos de cálculos renales. Fortalece el sistema inmunológico y ayuda a eliminar el ácido úrico. Es ideal para el sistema nervioso.



Además, contiene licopeno y beta caroteno, dos sustancias que tienen potencial para reducir el riesgo de cáncer (HORTO-INFO, 2011). Por otro lado es un viagra natural ya que por los fitonutrientes (licopeno, betacaroteno y citrulina) que contiene la sandía actúan sobre los vasos sanguíneos y podrían combatir la impotencia, debido a que estos componentes, en especial la citrulina, tienen la virtud de relajar los vasos sanguíneos, al igual que la pastillita azul. La citrulina, al ser ingerida, se convierte en arginina (aminoácido), la cual además mejora la producción de óxido nítrico y beneficia al sistema circulatorio e inmunológico (HORTO-INFO, 2011).

Debido al gran contenido de agua de la sandía (93%) se ocasiona un rápido deterioro y no permite un desarrollo industrial adecuado, por lo que se debe recurrir a algún método de conservación para darle un valor agregado a esta fruta.

#### **2.1.6 Métodos de conservación de la sandía.**

El método más utilizado para la conservación de este fruto es la refrigeración a 10-15°C. Generalmente, la vida de almacenamiento es de 14 días a 15°C y de hasta 21 días a 7-10°C. Su gruesa corteza le permite aguantar en buenas condiciones durante bastantes días a temperatura ambiente. Las condiciones comúnmente recomendadas y consideradas como prácticas aceptables de manejo para el almacenamiento de corto plazo o el transporte a mercados distantes (> 7 días) son 7.2°C y 85-90% HR. Sin embargo, a esta temperatura la sandía es propensa al daño por frío. Las atmósferas controladas durante el almacenamiento o el embarque no ofrecen beneficios a las sandías. Muchas sandías todavía se embarcan sin enfriamiento o sin refrigeración y se les mantiene así durante el tránsito, por lo que estas frutas deben venderse rápidamente, ya que su calidad se reduce precipitadamente a estas condiciones (INFOAGRO, 2015).

La importancia de la sandía radica en el consumo en fresco. No se tiene información sobre la industrialización del fruto como tal y la que existe es donde se



utiliza la pulpa para elaborar cerveza, además de productos como mermelada, licores, jugos, golosinas y mínimamente procesados. La industria del helado fabrica las paletas solo para ocasiones especiales ya que por las características de que se pierde el sabor natural y el color rojo vivo, la atracción desmerece teniendo preferencia por otro tipo de helado (Canales-Cruz y Sánchez-Bueno, 2003).

No obstante, se incrementa el uso en la industria restaurantera como fruta picada, ensaladas, platos fríos o postres, en los que, además, se aprovecha su peculiar aspecto como material de ornamento culinario. Además de refresco también se utiliza en el acompañamiento de mezclas con licor como el daiquiri de sandía, sandía cosmopolita y sandía smoothie (Canales-Cruz y Sánchez-Bueno, 2003). En la Tabla 5 se pueden observar algunos de los productos elaborados a base de sandía.

Dentro de los productos obtenidos a partir de este fruto destaca la sandía mínimamente procesada cuya producción comercial es incipiente pero con un gran futuro ya que las frutas recién cortadas son cada vez más atractivas para los consumidores que son conscientes de la importancia de los hábitos alimenticios saludables, pero tienen menos tiempo disponible para la preparación de alimentos (Sipahi *et al.*, 2013).

El mínimo proceso, mejora el acondicionamiento y la presentación de los productos agrícolas, aplica nuevas tecnologías, controla la calidad del proceso, controla sus condiciones sanitarias, elaborando un nuevo alimento que satisface las demandas de los consumidores actuales (Vázquez-Maya, 2013). La sandía es uno de los productos que debería dar margen amplio de beneficio alto a los procesadores, sin embargo, está sujeta a una serie de problemas que son el cortado, una mala textura de la pulpa, pobre retención de agua, una cáscara



gruesa y una maduración variable, estos inconvenientes son responsables del escaso éxito de la sandía lista para consumo (Namensy, 2009).

Tabla 5. Productos derivados de la sandía.

		Tipos			
<b>Fresco</b>	Mínimamente procesada.				
<b>Bebidas</b>	Jugo, agua, smoothie, cokteles, cerveza.				
<b>Postres</b>	Helados, paletas, pasteles, yogur, gelatina.				
<b>Platillos</b>	Ensalada, sopa, salsa.				
<b>Otros</b>	Gomitas, deshidratados, mermelada, licores.				

Fuente: Elaboración propia con información de Canales-Cruz y Sánchez-Bueno (2003) y Watermelon (2016).

Por lo que un mínimamente procesado de este fruto sería una buena opción como método de conservación, siempre y cuando se sigan explorando formas de controlar o inhibir los inconvenientes de este tipo de proceso.

## 2.2. Productos mínimamente procesados (PMP).

### 2.2.1 Definición.

Los productos mínimamente procesados son definidos como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente (selección, lavado, pelado, deshuesado y/o cortado) a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco, sin



procesamiento riguroso, tratados con agentes desinfectantes, estabilizadores de color, retenedores de firmeza y envasados en bolsas o bandejas creando una atmósfera modificada en su interior. Son conservados, distribuidos y comercializados bajo refrigeración (2-5°C) y están listos para ser consumidos durante 7 a 14 días, según el producto y técnica de conservación empleada (Márquez-Villacorta y Pretell-Vásquez, 2013).

Los alimentos mínimamente procesados o de IV gamma surgen como respuesta de la demanda del consumidor de productos frescos, sanos, de calidad y fácil preparación, conservando sus características originales en lo nutricional y organoléptico (Namensy, 2005). El procesamiento mínimo de frutas y hortalizas tiene dos propósitos, mantener los productos frescos y suministrarlos de forma conveniente sin perder su calidad nutricional (Figura 5); y además el producto debe de tener una vida de anaquel suficiente para hacer posible su distribución a los consumidores (Pérez-Pérez y López-Malo, 2011).



Figura 5. Variedades de productos mínimamente procesados.

Fuente: Monje-Navarrete (2015); DICA (2015).

### 2.2.2 Proceso de elaboración de PMP.

Dentro del proceso de elaboración de los mínimamente procesados hay ciertos factores a considerar como se muestran a continuación (Vidal-Aragón y Bernalte-García, 2003):

- ✓ Elegir la variedad más adecuada en función de su actividad respiratoria, metabólica y enzimática y por su puesto de sus características organolépticas y composición química.
- ✓ Controlar las condiciones climáticas y de cultivo: temperatura, luz, abono, riego, tratamientos fitosanitarios, etc.



- ✓ Realizar la recolección en el momento óptimo de madurez, en la horas más frescas del día, y procurar dañar lo menos posible el fruto durante toda la manipulación previa al procesado.
- ✓ Transportar al lugar de procesado rápido y refrigerado.
- ✓ Proceder lo antes posible a la elaboración, siempre a partir de los frutos de primera calidad: no sirven las partes sanas de frutas dañadas. Durante el almacenamiento previo a la elaboración, las frutas se deben refrigerar, controlar la humedad relativa de cámaras y/o utilizar atmósferas controladas.

Estos parámetros se ajustan en función de la fruta que se trate y van orientadas a retrasar todos los procesos de maduración y deterioro de la misma.

La cadena de transformación de un mínimamente procesado puede variar dependiendo del tipo de producto a tratar, en la Figura 6 se muestra un diagrama de proceso general para la elaboración de frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Vidal-Aragón y Bernalte-García, 2003; Sierra, 2004; Martín-Belloso y Soliva-Fortuny, 2005).

Las operaciones para el proceso de frutos y hortalizas mínimamente procesadas se describen a continuación (Vidal-Aragón y Bernalte-García, 2003; Sierra, 2004; Martín-Belloso y Soliva-Fortuny, 2005):

**Recepción.** Es necesario evaluar la calidad de la materia prima para determinar su aptitud para ser procesado. En caso de tratarse de producciones de terceros es importante conocer las prácticas agrícolas a fin de asegurar la inocuidad de la producción final.

**Selección.** Una vez recibida la materia prima en la planta de elaboración se procede a su clasificación en grupos de calidad. Es absolutamente imprescindible elegir los frutos completamente sanos y en el óptimo estado de madurez para la elaboración. Se pueden utilizar los frutos de defecto en forma.



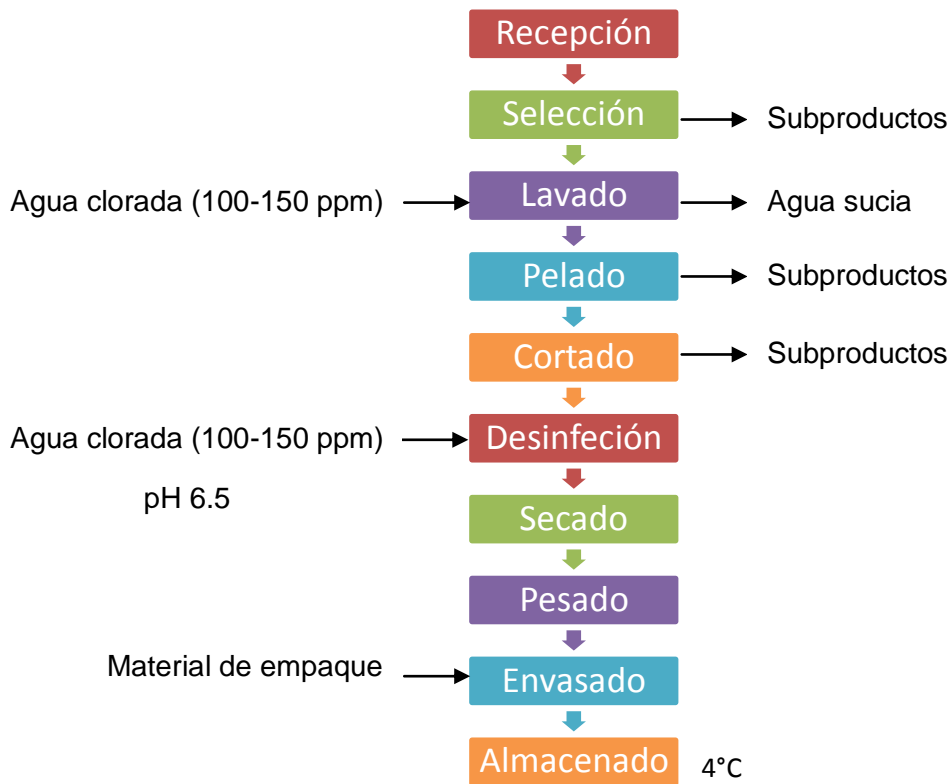


Figura 6. Diagrama de proceso de elaboración de frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

Fuente: Vidal-Aragón y Bernalte-García (2003); Sierra (2004); Martín-Belloso y Soliva-Fortuny (2005).

**Lavado.** Tiene el fin de eliminar la suciedad, restos de tierra, contaminantes físicos y reducir la carga microbiana, mediante la utilización de agua clorada (100 a 150 ppm). Puede realizarse en forma manual o mecánica, por inmersión, aspersión o por flotación.

**Pelado.** La eliminación de la capa más externa de la fruta se denomina pelado. Esta operación puede ser automática, manual, química, mecánica, etc., dependiendo del producto que se trate.

**Cortado.** Se realiza la reducción de tamaño o corte, la cual puede ser esencial para mejorar la presentación y facilidad de manipulación. Operaciones dirigidas a dar forma y tamaño definido.



**Desinfección.** La desinfección del producto se consigue mediante el uso de agua clorada (100-150 ppm) con un pH inferior a 6.5. Esta operación facilita el control de la carga microbiana durante el procesado y dilución de fluidos celulares liberados durante las etapas de corte. Es una etapa crítica del proceso ya que influye directamente en la inocuidad y vida útil del producto final.

**Secado.** Para evitar la proliferación de mohos y bacterias en la superficie húmeda de las frutas ya lavadas se procede a un secado suave mediante escurridores, centrifugas, deshumidificadores con lo que se eliminan los restos de agua. Los tejidos frágiles de muchas frutas cortadas han de secarse mediante corrientes de aire frío.

**Envasado.** El envasado suele realizarse en atmósferas modificadas activas o pasivas, según la actividad respiratoria del producto y la permeabilidad a los gases del material de envasado. Generalmente se requiere de material plástico con baja permeabilidad al vapor de agua para mantener una alta humedad dentro del envase y evitar la pérdida de agua del producto.

**Almacenamiento.** El rango de temperatura más frecuente es entre 4 y 7°C, aunque es recomendable estar entre 0 a 4°C, ya que las bajas temperaturas deben permitir la inhibición del desarrollo microbiano.






Los alimentos mínimamente procesados, al incluir operaciones que alteran la integridad del tejido del producto, pueden inducir a un estrés deteriorativo. Consecuentemente se da inicio al pardeamiento enzimático, ablandamiento del tejido, la pérdida de peso, el desarrollo indeseable de olores y sabores. Adicionalmente, la remoción de la epidermis protectora natural, el incremento de humedad y azúcares disueltos en la superficie permiten el crecimiento microbiano (Márquez-Villacorta y Pretell-Vásquez, 2013).



### 2.2.3 Causas de deterioro de los PMP.

La estabilidad de los productos mínimamente procesados afrontan dos problemas básicos; el primero, relacionado con el vegetal como tejido vivo donde la interacción de muchas reacciones (deshidratación, oxidación, elevada velocidad de respiración, actividad enzimática, entre otras) de no ser controladas pueden conducir a la rápida senescencia o deterioro de la calidad. Segundo, la posibilidad de desarrollo microbiano, debido a la mayor superficie expuesta y a la presencia de jugos celulares por efecto del corte del material vegetal (Tabla 6).

Tabla 6. Principales causas de deterioro en productos mínimamente procesados.

Deterioro	Causa	
<b>Crecimiento microbiano</b>	Con las operaciones del proceso (pelado cortado, etc.) se rompen las paredes celulares y se dañan las células, liberando nutrientes al exterior, que favorecen el desarrollo de microorganismos.	
<b>Pérdida de firmeza</b>	El ablandamiento de los productos hortofrutícolas se produce por cambios en las paredes celulares. La degradación enzimática de los componentes de la pared (celulosa, hemicelulosas, pectinas), las celulasas, hemicelulasas y sobre todo por las enzimas pécticas, son las responsables de la degradación de la pared celular y, por tanto, del ablandamiento.	
<b>Pérdida de agua</b>	En la operación de pelado y de cortado aumenta la superficie de contacto de la fruta con el ambiente y, por tanto, se incrementa la pérdida de agua.	
<b>Pardeamiento enzimático</b>	La ruptura de las estructuras de las células del fruto y su contacto con el oxígeno, provoca la aparición de colores pardos debido a la oxidación de los compuestos fenólicos. Esta reacción está catalizada por la enzima polifenol oxidasa (PPO).	
<b>Sabores y aromas extraños</b>	Los productos procesados en fresco son habitualmente envasados en atmósfera modificada. Cuando la atmósfera de equilibrio no es la adecuada, puede producirse el desarrollo de sabores o aromas extraños resultantes de un metabolismo fermentativo o debido a los agentes antipardeantes.	

Fuente: Namensy (2005); Vidal-Aragón y Bernalte-García (2003).



Es importante señalar, que la calidad global del producto terminado depende del control de los procesos de pelado y cortado, ya que estos incrementan la actividad metabólica y descompartamentalización de las enzimas y sustratos, causando pardeamiento, ablandamiento, incidencia del deterioro microbiano, desarrollo de sabores y olores indeseables. Así mismo el procesamiento mínimo da como resultado el incremento en la tasa de respiración y producción de etileno del producto en minutos y puede reducir la vida media de 1 a 2 semanas a solo 1 a 3 días, aun cuando las temperaturas sean las óptimas (García-Méndez, 2008a).

Se han desarrollado varias tecnologías para retrasar los efectos negativos en el procesamiento mínimo en las frutas y hortalizas. Las más empleadas donde se han concentrado las investigaciones los últimos años, están diseñados para aminorar los efectos iniciales de las respuestas del tejido vegetal al corte.

#### 2.2.4 Métodos de desinfección e inhibición enzimática de los PMP.

Los tratamientos más utilizados incluyen: el uso sustancias como ácidos orgánicos, sales de calcio, antioxidantes, entre otros, así como también uso tecnologías suaves no térmicas y efectivas, como irradiación con luz UV-C, recubrimientos comestibles, atmósferas modificadas, envases activos etc. (Pérez-Pérez y López-Malo, 2011). En la Tabla 7 se muestran los principales métodos de desinfección e inhibición enzimática.

Tabla 7. Métodos de desinfección e inhibición enzimática de los PMP.




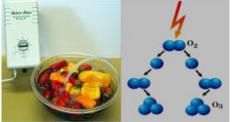
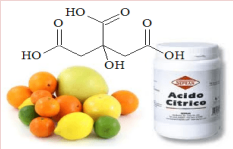

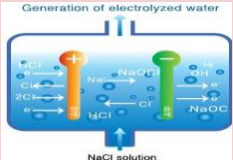
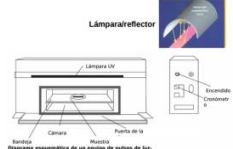
Método	Función
<b>Compuestos naturales</b> 	Muchos alimentos contienen compuestos naturales con actividad antimicrobiana. En estado natural, estos compuestos pueden desempeñar el papel de prolongadores de la vida útil de los alimentos. Ejemplo: ácidos orgánicos, ésteres, especias, oleorresinas, aceites esenciales, entre otros.
<b>Antioxidantes</b> 	El empleo de antioxidantes se utiliza para minimizar o prevenir las reacciones enzimáticas de pardeamiento, para evitar el problema de oscurecimiento se han aplicado antioxidantes como ácido cítrico, ascórbico, cisteína, 4-hexylresocinol; ya sea solos o en combinación.



Tabla 7. Métodos de desinfección e inhibición enzimática de los PMP (continuación).

Método	Función
<p><b>Sales de calcio</b></p> 	<p>El tratamiento con calcio ayuda a mantener la integridad de la pared celular vegetal mediante la interacción con la pectina para formar pectato de calcio. Sales de calcio empleadas: lactato de calcio, cloruro de calcio, fosfato de calcio y propianato de calcio.</p>
<p><b>Ozono</b></p> 	<p>Su poder antimicrobiano se basa en su capacidad oxidativa. La aplicación del ozono tanto en fase gaseosa y acuosa, permite inactivar bacterias, virus, hongos y parásitos ya que afecta a los constituyentes celulares, además de dañar el material genético.</p>
<p><b>Ácidos orgánicos</b></p> 	<p>Se basa en lograr un pH bajo que impida la proliferación de microorganismos no deseados. Al estar a pH ácidos, en su forma no ionizada, el ácido pasa a través de la membrana celular llegando al citoplasma, se disocia dentro de la célula, acidificando el interior celular causando efectos inhibidores de reacciones enzimáticas. Ejemplo: Ácido acético, láctico, cítrico, benzoico, málico y tartárico.</p>
<p><b>Peróxido de hidrógeno</b></p> 	<p>El peróxido de hidrógeno es un fuerte oxidante. Los productos de reacción con materia orgánica son oxígeno y agua, los cuales son totalmente inocuos. Su actividad antimicrobiana está basada en su poder oxidante. Reacciona con grupos sulfhidrilo y dobles enlaces en proteínas, lípidos afectando la membrana citoplasmática, y otros componentes celulares esenciales.</p>
<p><b>Agua electrolizada</b></p> 	<p>El agua electrolizada se obtiene al hacer pasar una corriente eléctrica por agua a la que se ha añadido cloruro sódico. Se adquieren dos tipos de agua que pueden permanecer separados por una membrana, o mezclarse si no hay separación. En el cátodo se forma agua electrolizada básica con alto poder reductor, y en el ánodo agua ácida, con poder oxidante y mayor capacidad bactericida.</p>
<p><b>Pulsos de luz</b></p> 	<p>Consiste en la aplicación de sucesivos pulsos de luz blanca (de 200 nm, ultravioleta, a 1000 nm, infrarrojo próximo) con una duración de 325 μs aproximadamente por pulso. Actúa directamente sobre el ADN de los microorganismos, las proteínas y las membranas celulares, ya que la luz pulsada contiene componentes ultravioleta.</p>

Fuente: Elaboración propia con información de Artés *et al.* (2011); Aguayo *et al.* (2007); Garmendia y Vero (2006); Pérez-Pérez y López-Malo (2011); Posada-Izquierdo (2013); Rodríguez-Sauceda (2011) y Varela (2012).

En los últimos años se han desarrollado nuevos sistemas de desinfección y agentes desinfectantes como son los tratamientos no térmicos o tecnologías



suaves que se pueden utilizar para la conservación de los productos hortofrutícolas cortados en fresco, en las cuales están las radiaciones ionizantes y las radiaciones no ionizantes con luz ultravioleta (UV) tipo C. Estos tratamientos reducen la carga microbiana e inactivan las enzimas responsables del deterioro de los productos (Márquez-Villacorta y Pretell-Vásquez, 2013).

#### **2.2.4.1 Radiaciones**

La irradiación de alimentos es un tratamiento físico con alta energía mediante el uso de radiaciones ionizantes, es decir, que ocasiona pérdida de los electrones más externos de los átomos y moléculas convirtiendo a los mismos en iones. Se considera un método alternativo para la conservación de alimentos. Durante la irradiación, los alimentos se exponen brevemente a una fuente de energía radiante (rayos gamma, rayos X o electrones acelerados) dentro de una instalación protectora (Ordoñez-Pereda *et al.*, 2004).

La radiación, tanto ionizante como no ionizante (es decir, un fotón de energía o un electrón) destruye los microorganismos mediante el daño que ocasiona en un elemento crítico que, la mayoría de las veces, es material genético. Este daño impide la multiplicación y también pone fin a muchas funciones celulares. El daño en el material genético tiene lugar como resultado de una colisión directa de la energía radiante en dicho material o como resultado de la ionización de una molécula adyacente, habitualmente agua, que interacciona con el material genético (Ordoñez-Pereda *et al.*, 2004).

#### **2.2.4.2 Radiaciones no ionizantes**

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante (no deja residuos) con una longitud de onda de 100 a 400 nm, se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) y UV-C (200-280 nm). La irradiación UV-C tiene longitudes de onda de 200 a 280 nm (Figura 7), aunque aproximadamente el 95% de la energía UV emitida por las lámparas germicidas con presión de mercurio, que son las más



habituales, emiten a una longitud de onda de 254 nm, que coincide con la efectividad germicida máxima, por lo que ha sido ampliamente estudiada en varios tejidos vegetales (Beltrán *et al.*, 2010; Artés-Hernández *et al.*, 2009).

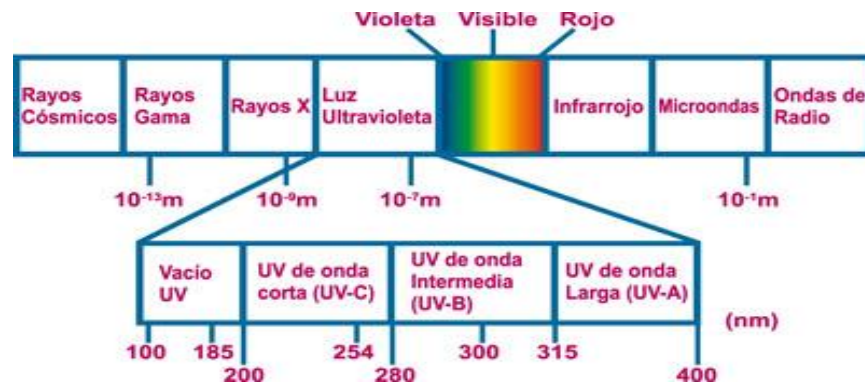


Figura 7. Espectro electromagnético de radiación.  
Fuente: Bonilla-González (2009).

Se trata por tanto de una radiación no ionizante que no altera la estructura de las células vegetales pero daña el ADN microbiano. Específicamente, la luz UV-C daña al ácido nucleico de los microorganismos, que forma los enlaces covalentes entre ciertas bases adyacentes en el ADN, induciendo la formación de dímeros de pirimidina, los cuales distorsionan la doble hélice de ADN, bloqueando la replicación de la célula al mismo tiempo que se producen entrecruzamientos entre los dobles enlaces de los aminoácidos aromáticos (Figura 8). La formación de tales enlaces previene al ADN de abrirse de la base para la replicación, y el microorganismo es incapaz de reproducirse (Artés-Hernández *et al.*, 2009; Artés *et al.*, 2011).

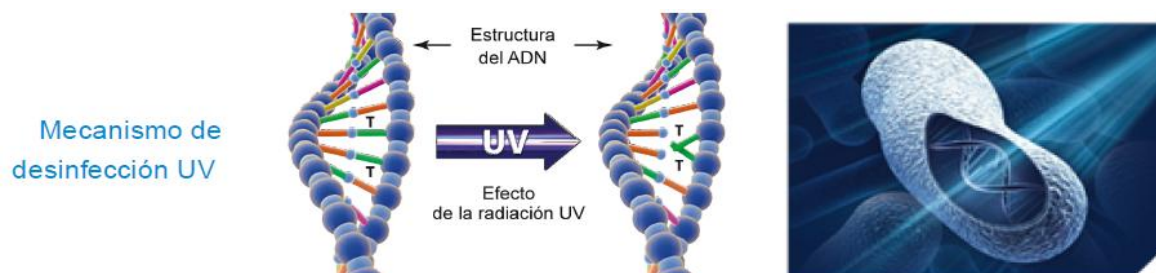


Figura 8. Mecanismo de desinfección UV.  
Fuente: Tecnología ultravioleta (2013).



Con excepción de las bacterias fotosintéticas la mayoría de los microorganismos muestran susceptibilidad al daño ultravioleta. Los distintos microorganismos requieren de una dosis específica para ser inactivados, esta variación dependerá de la estructura de la pared celular, del espesor y composición de la misma; de proteínas que absorban la luz UV; o de las diferencias en la estructura de los ácidos nucleicos. A su vez, la sensibilidad a la luz UV está fuertemente relacionada con la habilidad que posea el microorganismo para reparar el daño causado por la radiación ultravioleta (Schenk, 2010).

Sin embargo, un exceso en la dosis de radiación UV-C puede alterar la permeabilidad de la pared celular aumentando la salida de electrolitos, aminoácidos y carbohidratos, que pueden derivar en un aumento del crecimiento microbiano. Por tanto, se trata de encontrar dosis seguras que puedan inactivar el crecimiento microbiano sin producir daños al producto. Su aplicación puede retrasar la maduración y deterioro de los productos vegetales aumentando su vida útil (Artés-Hernández *et al.*, 2009; Artés *et al.*, 2011).

La mayor desventaja del uso de la luz ultravioleta con fines de desinfección es el poco poder de penetración que tiene la misma. La absorción de la radiación a partir de distintos alimentos es proporcional a su contenido en las sustancias como la concentración de azúcares, sales, otros sólidos solubles, las partículas suspendidas y además del color del medio, el tipo y la concentración de la carga microbiana. Es por ello que hasta ahora su uso se limita a la desinfección de superficies y aguas (Schenk, 2010).

Debido a las ventajas que presenta este tipo de irradiación, se ha considerado como un tratamiento alternativo para preservar la calidad de las frutas y hortalizas ya que el tiempo de aplicación de luz UV-C oscila entre 1 a 5 minutos, periodo en el que no incrementa significativamente la temperatura del tejido (1-3°C), ni produce alteraciones o favorece los procesos deteriorativos del producto. No deja





residuos y no afecta las características sensoriales (sabor y aroma) del producto. Sin embargo, la sensibilidad de los tejidos al tratamiento con luz UV-C difiere en función del genotipo, y en ocasiones las dosis altas pueden favorecer la oxidación de compuestos bioactivos del fruto, como vitamina C, carotenos, fenoles, o el oscurecimiento superficial del tejido (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

Otra opción para incrementar la vida útil de los productos mínimamente procesados es el empaque en atmósferas modificadas. Este método de conservación consiste en cambiar la composición gaseosa dentro del empaque, la cual puede ser modificada de manera pasiva ya que se genera a través de la respiración de los tejidos vegetales; o activa generando la composición gaseosa antes de cerrar el empaque (Rangel-Marron y López-Malo, 2012).

### **2.2.5 Envasado en atmósferas modificadas (EAM).**

La conservación en atmósfera modificada (AM) consiste en la utilización de películas poliméricas de permeabilidad selectiva a los gases permanentes del aire, en envases herméticos, con el objetivo de generar y establecer una atmósfera de composición favorable dentro del envase. El envasado en AM puede frenar el metabolismo y reducir tanto el consumo de O<sub>2</sub> como la producción de CO<sub>2</sub>, prolongándose, así, la vida útil (Artés-Calero, 2006).

En el envasado en atmósfera modificada de vegetales frescos y mínimamente procesados también se combinan un pequeño volumen de oxígeno y una gran proporción de dióxido de carbono además de nitrógeno. La concentración de estos gases en el espacio de cabeza del paquete varía debido al metabolismo respiratorio de estos productos (Figura 9). En este caso, los cambios se compensan con la difusión de gases a través del material de envasado hasta establecer una atmósfera en equilibrio. En ella, la cantidad de oxígeno que consume el vegetal se recupera con el O<sub>2</sub> del exterior mientras que el exceso de



CO<sub>2</sub> y el vapor de agua liberados en la respiración sale del envase (Iglesias-García *et al.*, 2015).

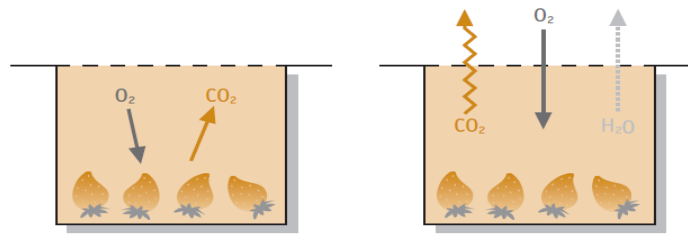


Figura 9. Modificaciones de la composición del espacio de cabeza en envases que contienen productos vegetales frescos.  
Fuente: Iglesias-García *et al.*, (2015).

### 2.2.5.1 Envasado en atmósfera modificada activa.

En el envasado en atmósfera modificada activa se incorporan en el envase agentes que retengan, reaccionen o liberen un componente determinado cuya presencia o ausencia es crítica para mantener la calidad del producto envasado. Existen diversos tipos comerciales de envases activos para controlar distintos agentes de alteración: absorción o secuestro de O<sub>2</sub>, absorción o generación de CO<sub>2</sub>, eliminación de etileno o de etanol, adición de conservantes químicos autorizados, reguladores de humedad, liberación de antioxidantes, liberación o absorción de aromas y olores, etc. La aplicación más extendida de los envases activos es en el control y modificación de la atmósfera, como complemento de las propiedades del polímero para generar la composición gaseosa adecuada en el EAM. El elemento activo se introduce en el envase junto con el producto a envasar o se integra en el material de envase (Artés-Calero, 2006).

### 2.2.5.2 Envasado en atmósfera modificada pasiva.

En este tipo de envasado la modificación de la atmósfera alrededor del producto se lleva pasivamente por efecto de la respiración y permeabilidad de la película. Cuando el producto fresco es envasado, se llevan a cabo dos procesos simultáneos la respiración del producto y la permeación de los gases a través de la película plástica. Cuando la velocidad de consumo de O<sub>2</sub> y producción de CO<sub>2</sub> es acompañada con un buen intercambio gaseoso de la película, es posible tener



una AM adecuada para el producto (Ospina-Meneses y Cartagena-Valenzuela, 2008).

El equilibrio se logra después de determinado tiempo, dependiendo de los requerimientos del producto vegetal y permeabilidad, los cuales están en función de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento. Cuando se alcanza el equilibrio pueden lograrse concentraciones alrededor del producto entre 2-5% de  $O_2$  y 3-8% de  $CO_2$ . Se ha observado que estas concentraciones son eficaces para ampliar la vida útil de una amplia gama de frutas y hortalizas retrasando los procesos de maduración y de senescencia, tales como degradación de la clorofila, ablandamiento, oscurecimiento enzimático. Si se elige una película de una adecuada permeabilidad intermedia, se establecerá una de equilibrio cuando las intensidades de transmisión del  $O_2$  y del  $CO_2$  a través del envase sean iguales a la intensidad de respiración del producto (Ospina-Meneses y Cartagena-Valenzuela, 2008).

Las tecnologías basadas en películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados buscan extender la vida útil de los alimentos. Por lo que el uso de hidrocoloides, plastificantes, aditivos y compuestos activos, tiene como objetivo generar una atmósfera modificada pasiva que tiene la capacidad de controlar la transferencia de masa representada en solutos, solventes, gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) e incluso migrar sustancias desde la matriz ubicada en la superficie del alimento, tener efectos positivos sobre el control de la tasa de crecimiento microbiano, y mantener características deseadas por los consumidores como firmeza, brillo, color y calidad sensorial de los frutos (Quintero *et al.*, 2010).

### **2.2.5.3 Materiales de empaque.**

Dentro de las tecnologías de envasado en atmósfera modificada la función principal que desempeña el envase es proteger el alimento del medio externo y



preservar el ambiente gaseoso creado en su interior. Los materiales seleccionados para su fabricación deben presentar determinadas propiedades de barrera al paso de los gases y la humedad, entre otros. Aparte de esta característica básica, es deseable que reúnan otras propiedades desde el punto de vista técnico, comercial, legal, etc., (Iglesias-García *et al.*, 2015). En la Tabla 8 se muestran algunas de las propiedades más importantes.

Tabla 8. Propiedades deseables en los materiales de empaque.

Propiedades	Características	
<b>Barrera de protección</b>	Estos materiales deben preservar el alimento y la atmósfera protectora del ambiente exterior.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Barrera frente a gases, humedad y olores.</li> <li>✓ Protección frente a la luz.</li> <li>✓ Resistencia a grasas y aceites.</li> </ul>
<b>Técnicas o mecánicas</b>	Impuestas por el proceso de envasado, la maquinaria utilizada en él y la manipulación de los envases acabados durante su distribución y venta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia a fuerzas de tracción.</li> <li>✓ Resistencia frente a impactos, desgarros, perforaciones y abrasiones.</li> <li>✓ Flexibilidad para aguantar la presión interna de los gases.</li> <li>✓ Aptitud para el termoformado.</li> <li>✓ Facilidad de sellado.</li> <li>✓ Resistencia a bajas y/o altas temperaturas.</li> </ul>
<b>Comerciales</b>	Presentación atractiva y manipulación sencilla y práctica para el consumidor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Brillo y transparencia.</li> <li>✓ Capacidad antivaho.</li> <li>✓ Facilidad de apertura.</li> <li>✓ Aptitud para la impresión y la adición de etiquetas y códigos.</li> <li>✓ Calentamiento en horno convencional o microondas.</li> </ul>
<b>Otras</b>	Económicas, legales y medioambientales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Rendimiento y coste por metro cuadrado.</li> <li>✓ Disponibilidad en el mercado.</li> <li>✓ Inercia química.</li> <li>✓ Posibilidad de reciclado.</li> </ul>

Fuente: Iglesias-García *et al.* (2015).

De entre ellas, la esencial es que disponga de una permeabilidad idónea para mantener la atmósfera adecuada a la temperatura de conservación óptima, sin desatender que favorezca la calidad, higiene y seguridad alimentaria del producto que contiene y que se convierta en un elemento positivo clave en la



comercialización (sobre todo que resulte atractivo al comprador). Entre los tipos de polímeros disponibles para fabricar películas flexibles utilizables en el EAM de productos vegetales enteros y mínimamente procesados los más utilizados son polipropileno (PP), el policloruro de vinilo (PVC), acetato de vinilo (EVA) y poliestireno (PS) (Artés-Calero, 2006). En la Tabla 9 se muestran algunos de los materiales más utilizados para el envasado de PMP.

Tabla 9. Principales materiales utilizados en el empaque de PMP.

Película	Permeabilidad a los gases ( $\text{cm}^3/\text{m}^2 \text{ día atm}$ ) películas de 25 $\mu\text{m}$ 25°C			Transmisión ( $\text{g}/\text{m}^2 \text{ día}$ ) 38°C 90% HR
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Vapor de Agua
Polietileno de baja densidad (LDPE).	7800	42000	2800	18
Polietileno de alta densidad (HDPE).	2600	7600	650	7-10
Polipropileno (PP) fundido.	3700	10000	680	10-12
Polipropileno orientado (OPP).	2000	8000	400	6-7
Etileno-acetato de vinilo (EVA).	12500	50000	4900	40-60
Policloruro de vinilo (PVC) rígido.	150-350	150-350	60-150	30-40
Policloruro de vinilo (PVC) plastificado.	500-30000	1500-46000	300-10000	15-40
Poliestireno (PS) orientado.	50-130	180-390	15-18	25-30
Tereftalato de polietileno (PET).	5000	18000	800	100-125

Fuente: Iglesias-García *et al.* (2015).

Existen muchos materiales plásticos disponibles para utilizarlos en el envasado, pero relativamente pocos han sido empleados para envasar productos frescos y menos aun que tengan una permeabilidad a los gases que cumpla los requisitos para su empleo en el envasado en AM.



Debido a que la concentración de  $O_2$  en el envasado AM disminuye, desde un 25 al 21%, existe el peligro de que la concentración de  $CO_2$  aumente desde el 0,03 al 16-19% en el interior del envase. Este hecho se produce porque existe una relación 1:1 entre el  $O_2$  consumido y el  $CO_2$  producido. Como estas concentraciones de  $CO_2$  podrían ser perjudiciales para la mayoría de las frutas y hortalizas, una película ideal debería permitir que saliera mayor cantidad de  $CO_2$  que la de  $O_2$  que entra. La permeabilidad del  $CO_2$  debería ser 3-5 veces superior a la permeabilidad del  $O_2$ , dependiendo de la atmósfera que se desea obtener (Ospina-Meneses y Cartagena-Valenzuela, 2008).

### **2.2.6 Aplicación de agentes de recubrimiento.**

Aplicar recubrimientos comestibles (RC) en frutas a partir de fuentes renovables, como lípidos, polisacáridos y proteínas, así como mezclas de estos, disminuyen su tasa de respiración, retrasan su pérdida de peso por deshidratación, prolongan su pérdida de firmeza y pigmentación causado por microorganismos. Además se inhibe el pardeamiento enzimático y reacciones metabólicas asociadas con la maduración, se promueve la conservación de propiedades mecánicas, se conservan las características sensoriales ya que se retrasa la maduración y se incrementa la vida útil de la fruta. Lo anterior debido a que los recubrimientos proporcionan una barrera semi-permeable a los gases y al vapor de agua, además puede actuar como portadores de ingredientes funcionales como agentes antimicrobianos y antioxidantes (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013).

#### **Definición.**

Matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento (Figuroa *et al.*, 2011). Proporcionan una cubierta protectora adicional a frutas y hortalizas mínimamente procesadas, cuyo impacto tecnológico es equivalente al de una atmósfera modificada (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013).



### 2.2.6.1 Propiedades de los recubrimientos.

Las principales propiedades de los recubrimientos (Figura 10) se mencionan a continuación (Ruelas-Chacón *et al.*, 2013):

- ✓ Proporcionar una barrera contra la pérdida de humedad en la superficie del producto. La pérdida de humedad durante el almacenamiento postcosecha de productos frescos lleva a la pérdida de peso, a cambios de textura, sabor, y apariencia.
- ✓ Proporcionar una barrera de gases suficiente para controlar el intercambio gaseoso entre el producto fresco y la atmósfera que lo rodea, lo que retardará la respiración y el proceso de deterioro. La función como barrera gaseosa podría retardar la oxidación enzimática y proteger a los productos frescos de la decoloración por encafecimiento y ablandamiento de textura durante el almacenamiento.
- ✓ Restringir el intercambio de compuestos volátiles entre el producto fresco y el ambiente que lo rodea al proporcionar barreras gaseosas, que previenen la pérdida natural de compuestos volátiles de sabor, color de productos frescos y la adquisición de olores extraños.
- ✓ Proteger de daño físico causado por impacto mecánico, presión, vibraciones y otros factores mecánicos.
- ✓ Actuar como acarreadores de otros ingredientes funcionales, tales como: agentes antimicrobianos, antioxidantes, nutraceuticos, ingredientes de color y sabor para reducir la carga microbiana, retardar la oxidación, decoloración y mejorar la calidad.

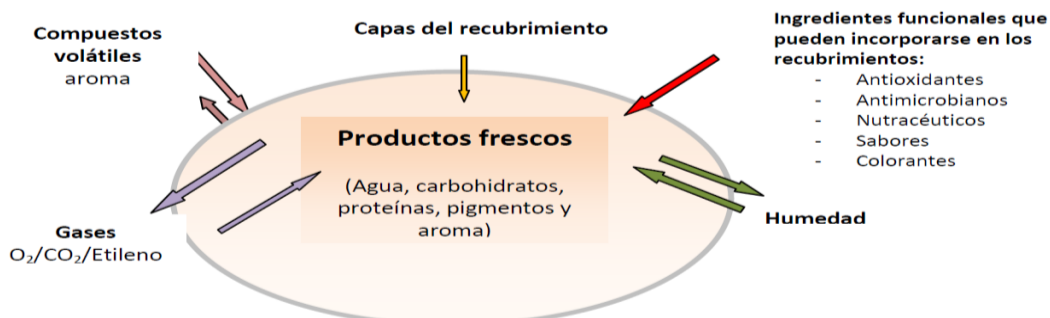


Figura 10. Propiedades funcionales de los recubrimientos comestibles.




Fuente: Ruelas-Chacón *et al.* (2013).



### 2.2.6.2 Componentes de los recubrimientos comestibles.

Las películas y los recubrimientos comestibles son elaborados con biopolímeros naturales de alto peso molecular, que proporcionan una matriz macromolecular con resistencia cohesiva alta. Los tipos de macromoléculas que se emplean para su formación son proteínas y polisacáridos los cuales son muy sensibles al agua por su naturaleza hidrofílica. Otros componentes mayoritarios en la formación son lípidos (Tabla 10), plastificantes, emulsificantes, entre otros, por lo que se trata de formulaciones multicomponentes (Escobar-Hernández *et al.*, 2014).

Tabla 10. Biopolímeros empleados para la elaboración de RC.

Biopolímero	Características
<p data-bbox="237 827 427 856"><b>Polisacáridos</b></p> 	<p data-bbox="467 827 1344 1087">Las películas que se forman con polisacáridos son selectivamente permeables al CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, por lo tanto, retardan el envejecimiento de muchas frutas y vegetales mediante la limitación de O<sub>2</sub>. Generalmente son películas hidrofílicas que permiten el paso del vapor, previniendo la condensación de agua ya que es una fuente potencial de crecimiento de microorganismos. Ejemplo: celulosa, almidón, alginato, carragenina, agar, xantana, galana, entre otros.</p>
<p data-bbox="261 1127 402 1157"><b>Proteínas</b></p> 	<p data-bbox="467 1127 1344 1346">Las proteínas forman recubrimientos con barreras débiles al vapor de agua por su naturaleza hidrofílica, pero por otro lado desarrollan muy buenas propiedades de barrera al oxígeno, lo que ayuda a controlar el intercambio de gases con el fruto y el medio ambiente. Por ejemplo: gnetina, caseína, gluten de trigo, proteínas de soya, zeína, entre otras.</p>
<p data-bbox="277 1446 386 1476"><b>Lípidos</b></p> 	<p data-bbox="467 1394 1344 1766">Los lípidos ofrecen una buena barrera a la humedad debido a su naturaleza hidrofóbica, lo que reduce la pérdida de agua en frutas recubiertas, además, mejoran el brillo de los frutos, los protegen contra la oxidación y crecimiento microbiano, sin embargo, su naturaleza no polimérica limita su capacidad para formar recubrimientos cohesivos. Se forman a partir de aceites vegetales, diglicéridos, triglicéridos y ceras; por ejemplo: cera de carnaúba, cera de abeja y cera de candelilla. Es imprescindible utilizar una matriz que sirva de soporte para estas moléculas puesto que por sí solas originan estructuras demasiado frágiles.</p>

Fuente: Elaboración propia con información de Ávila-Sosa y López-Malo (2008); Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía (2012).





Los materiales empleados para el presente trabajo fueron carragenina y grenetina utilizados como base para el recubrimiento. Las carrageninas son polímeros obtenidos de varias algas marinas; son solubles en agua y tienen una cadena lineal de galactanos parcialmente sulfatados. Se clasifican en tres grupos, kappa ( $\kappa$ ), iota ( $i$ ) y lambda ( $\lambda$ ), dependiendo de la posición y el número de grupos sulfatados. Las carrageninas  $k$ ,  $i$  y  $\lambda$  tienen grupos sulfatados de 20%, 33% y 41% (p/p), respectivamente. La carragenina  $i$  tiene la capacidad de producir geles termorreversibles al ser enfriada por debajo de cierta temperatura (Domínguez-Courtney y Jiménez- Munguía, 2012).

La carragenina al dispersarse en agua requiere un ligero calentamiento para que se disuelva, pero al enfriarse establece un gel, cuya calidad y rigidez dependen de la concentración de polímero y de la cantidad de iones potasio, amonio o calcio que contenga el hidocoloide. Esta gelificación ocurre probablemente por la formación de una estructura de doble hélice para producir una red tridimensional del polímero (Castillo-Acuña, 2012).

Por tal efecto, dicha carragenina es usada ampliamente para la formación de películas en el área de alimentos. La superficie que se obtiene al formar películas de carragenina es porosa, lo que puede provocar puntos débiles que disminuyen la fuerza tensil. Las películas producidas con carragenina  $i$  y glicerol muestran ventajas interesantes, tales como reducción de transferencia de oxígeno y buenas propiedades mecánicas. La adición de lípidos a la formulación de películas de dicho polisacárido disminuye la permeabilidad al vapor de agua de la película resultante (Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía, 2012).

La grenetina se obtiene a partir del colágeno, mediante hidrolisis ácida o alcalina (Fennema, 1995). Está compuesta de 18 clases de aminoácidos entrelazados por enlaces peptídicos, para producir una molécula ramificada larga, con guanidina expuesta (básica) y grupos carboxílicos (ácidos). La grenetina es un producto







prácticamente insípido, inodoro e incoloro aunque tiende a un color pardo anaranjado la de menor calidad y además depende de la materia prima y de la extracción de la cual provienen, es insoluble en agua fría, solo se dispersa cuando el agua se calienta y es soluble en polialcoholes y propilenglicol e insoluble en solventes orgánicos como benceno, acetona, éter, entre otros (Castillo-Acuña, 2012).

La gelificación de esta proteína es independiente del pH y no necesita la presencia de otros reactivos (cationes, glúcidos, etc.), el mecanismo de gelificación de la grenetina se explica por la formación de una red tridimensional. Las uniones entre las macromoléculas son debidas esencialmente a interacciones electrostáticas o a enlaces hidrógeno (Fennema, 1995). Los geles de grenetina, obtenidos por enfriamiento de esta proteína en solución acuosa, dan mediante secado películas resistentes, claras y transparentes, aunque es necesario el empleo de plastificantes para limitar su ruptura (Castillo-Acuña, 2012).

El uso de una película o recubrimientos comestibles en aplicaciones alimentarias (altamente perecederos) como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, se basa en ciertas características tales como costo, disponibilidad, atributos funcionales, propiedades mecánicas (tensión y flexibilidad), propiedades ópticas (brillo y opacidad), su efecto barrera frente al flujo de gases, resistencia estructural al agua, a microorganismos y su aceptabilidad sensorial. Estas características son influenciadas por parámetros como el tipo de material implementado como matriz estructural (conformación, masa molecular, distribución de cargas), las condiciones bajo las cuales se preforman las películas (tipo de solvente, pH, concentración de componentes, temperatura, entre otras), y el tipo y concentración de los aditivos como plastificantes, agentes entrecruzantes, antimicrobianos, antioxidantes, emulsificantes, etc. (Quintero *et al.*, 2010). En la Tabla 11 se muestran las propiedades que los aditivos aportan a la matriz estructural.



Tabla 11. Aditivos empleados para la elaboración de recubrimientos comestibles.

Aditivo	Función
<p data-bbox="256 352 444 384"><b>Plastificantes</b></p> 	<p data-bbox="505 327 1393 588">El uso de un agente plastificante mejora en gran medida la flexibilidad y elasticidad de películas comestibles. En términos estructurales, los plastificantes son insertados en la matriz polimérica, incrementando el espacio libre entre las cadenas y provocando una disminución de las fuerzas intermoleculares a lo largo de la matriz. Algunos ejemplos son glicerol, etilenglicol, polietilenglicol, sorbitol y algunos azúcares, entre otros.</p>
<p data-bbox="246 600 454 632"><b>Emulsificantes</b></p> 	<p data-bbox="505 621 1393 768">Se usan emulsificantes para crear medios homogéneos, reduce la actividad de las películas comestibles y la velocidad de pérdida de humedad en el producto. Algunos ejemplos son grasas, aceites, emulsificantes (tween 20, 60 y 80), polietilenglicol, entre otros.</p>
<p data-bbox="263 798 441 865"><b>Agentes reafirmantes</b></p> 	<p data-bbox="505 810 1393 1029">Para la formación de películas también se emplean agentes reafirmantes como el cloruro de calcio, pectato de calcio y en general sales de calcio ya que son fuentes de cationes divalentes que se utilizan para lograr el entrecruzamiento y formar geles firmes al reaccionar con compuestos coloidales poliméricos como alginato y carragenina.</p>
<p data-bbox="233 1121 466 1152"><b>Antimicrobianos</b></p> 	<p data-bbox="505 1066 1393 1369">Las películas comestibles tienen la capacidad de incorporar agentes antimicrobianos para proveer la estabilidad microbiológica de los alimentos; ya que sirven como acarreadores de un amplio número de compuestos. Estos compuestos tienen la capacidad de extender la vida de anaquel de un producto y reducir el riesgo de crecimiento de patógenos en la superficie de alimento. Algunos ejemplos son: enzimas, benzoatos, sorbato, propionatos, parabenos, agentes curantes, aceites esenciales, especias, entre otros.</p>

Fuente: Elaboración propia con información de Aguilar-Méndez *et al.*, (2012); Ávila-Sosa y López-Malo (2008); Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía (2012) y Guillén-Román (2010).

Los beneficios del uso de atmósferas modificadas dependen del producto, variedad, cultivo, estado fisiológico, composición de la atmósfera, temperatura, humedad relativa (HR) y duración del almacenamiento, así como del tipo de envase y los materiales utilizados (naturales o artificiales) lo que explica la diversidad de resultados para un mismo producto (Ospina-Meneses y Cartagena-Valenzuela, 2008).



### 2.2.6.3 Beneficios de la modificación de la atmósfera.

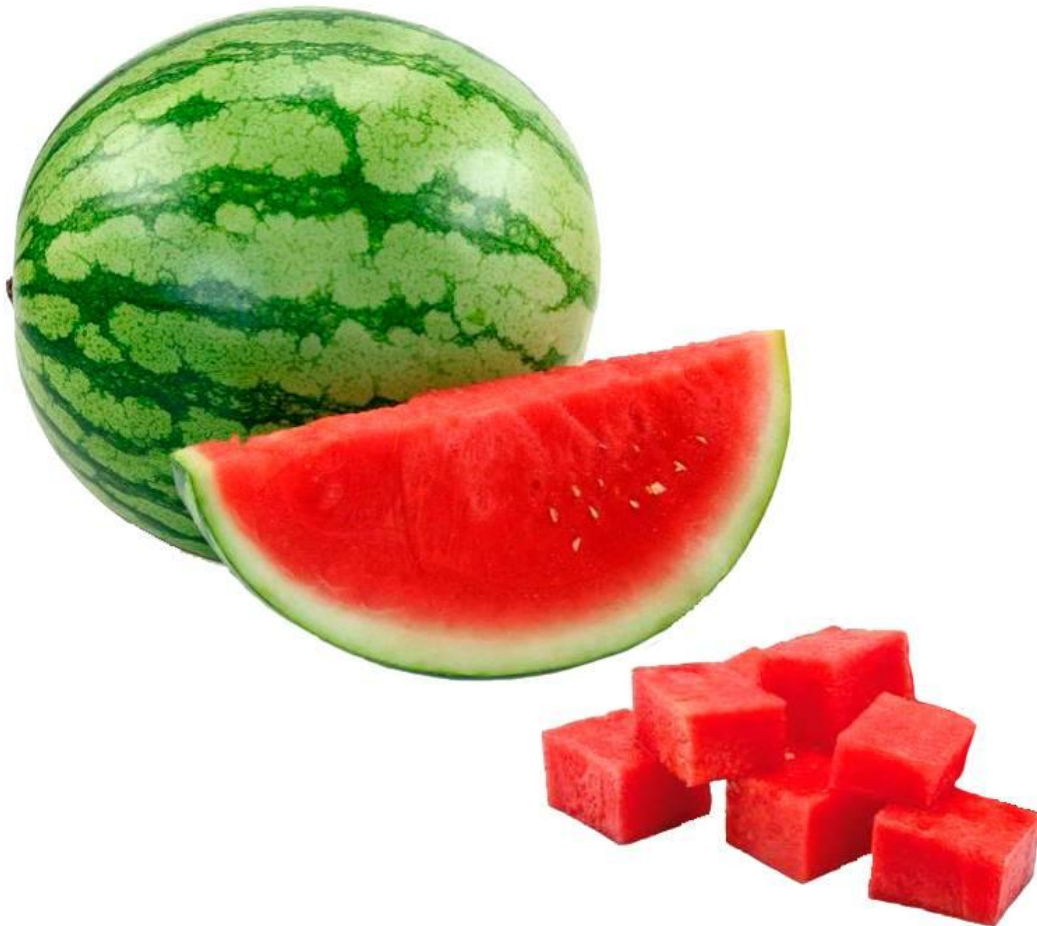
A continuación se muestran algunos beneficios y ventajas de utilizar atmósferas modificadas (Tabla 12).

Tabla 12. Ventajas y beneficios de las atmósferas modificadas.

Beneficios de la AM	Ventajas del envasado en AM
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Frenan la actividad respiratoria.</li> <li>✓ Reducen o inhiben la síntesis de etileno.</li> <li>✓ Inhiben la maduración.</li> <li>✓ Limitan el ablandamiento (actividad de la pectinestearasa y la poligalacturonasa).</li> <li>✓ Retrasan las pérdidas de textura.</li> <li>✓ Restringen los cambios de composición (pérdida de acidez y de azúcares, degradación de clorofila, desarrollo de antocianos, biosíntesis de carotenos, prevención de la rancidez y el pardeamiento enzimático aminorando las alteraciones fisiológicas y los daños por frío.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Reduce la velocidad de deterioro del órgano vegetal.</li> <li>✓ Prolonga la utilidad y a veces conserva la calidad de frutas y hortalizas.</li> <li>✓ Se retarda el desarrollo de microorganismos.</li> <li>✓ Se minimiza el uso de aditivos y conservantes.</li> <li>✓ Se mantienen las características organolépticas durante la comercialización.</li> <li>✓ Se evitan las mezclas de olores en el sitio de almacenamiento.</li> <li>✓ Mejor presentación, clara visión del producto y visibilidad en todo el entorno.</li> </ul>

Fuente: Ospina-Meneses y Cartagena-Valenzuela (2008).

Para cumplir las funciones exigibles del EAM de frutas y hortalizas frescas (limitar la deshidratación, reducir la respiración, frenar la maduración y las alteraciones) existen varias modalidades: la envoltura individual con combinaciones de ácidos grasos y metilcelulosa, ceras naturales o de síntesis, biopelículas proteínicas a base de zeína y gluten, ésteres de sacarosa, o polímeros sintéticos como el polietileno (PE) o el policloruro de vinilo (PVC). A veces se recurre en consecuencia a los polímeros plásticos destinados al EAM de productos vegetales frescos o mínimamente procesados para envases de venta al por menor (Artés-Calero, 2006).



# 3. Objetivos



**Objetivo General.** Desarrollar un producto de sandía mínimamente procesada desinfectada con radiación UV-C y conservada en diferentes atmósferas modificadas para alargar la vida útil del producto.

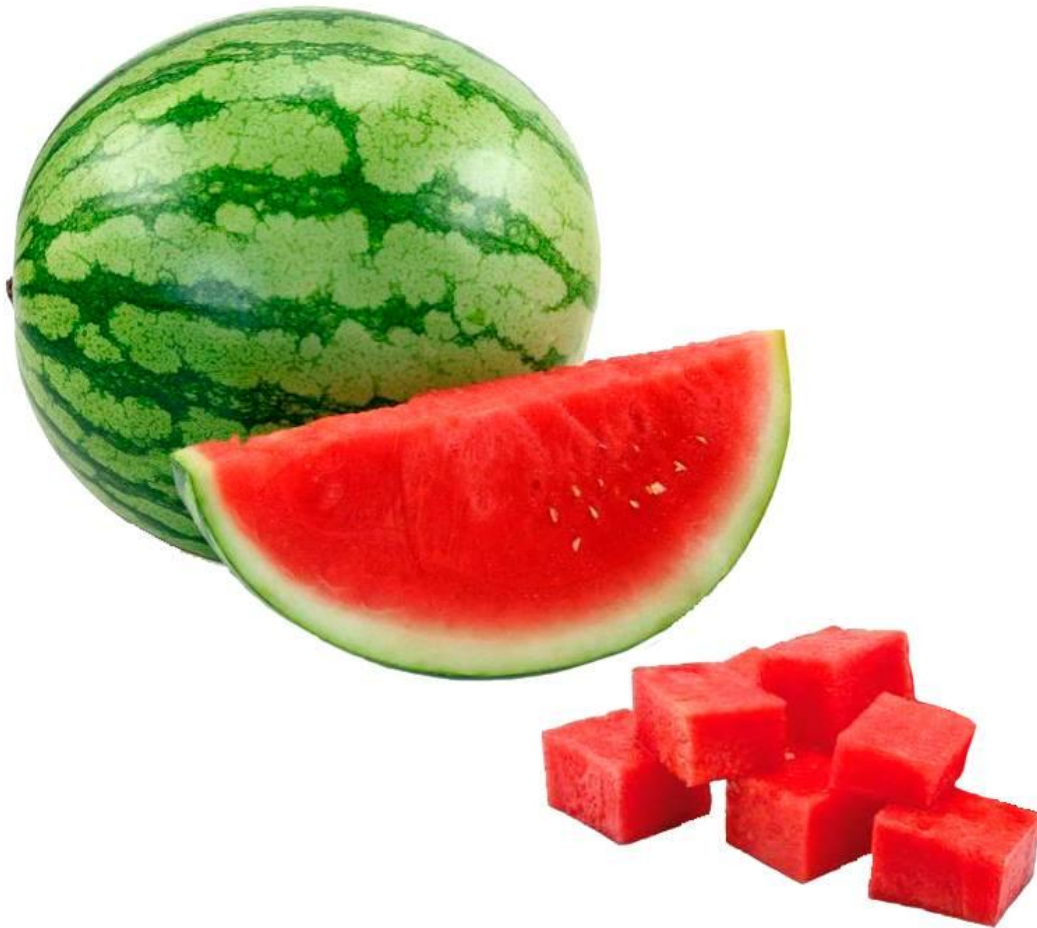
**Objetivos Particulares.**

**Objetivo Particular 1.** Evaluar el efecto del tiempo de desinfección por irradiación UV-C (2.5, 3.7 y 5 minutos) para elegir el que tenga mayor poder antimicrobiano (mesófilos aerobios, coliformes totales, hongos y levaduras) y el que menos afecte los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, sólidos solubles totales, pH y acidez) y fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) de la sandía mínimamente procesada.

**Objetivo Particular 2.** Determinar el efecto de la aplicación del recubrimiento a base de grenetina y carragenina a concentraciones de 0.5 y 1.0% en la sandía mínimamente procesada sobre los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, solubles totales, pH y acidez), fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y sensoriales (sabor, aroma y textura) para seleccionar el recubrimiento que le dé las mejores características de calidad al producto.

**Objetivo Particular 3.** Caracterizar una película modelo con la concentración elegida de grenetina y/o carragenina para conocer sus propiedades físicas (hinchamiento, espesor, transparencia y color) que permitan saber su influencia como recubrimiento comestible aplicado en sandía mínimamente procesada.

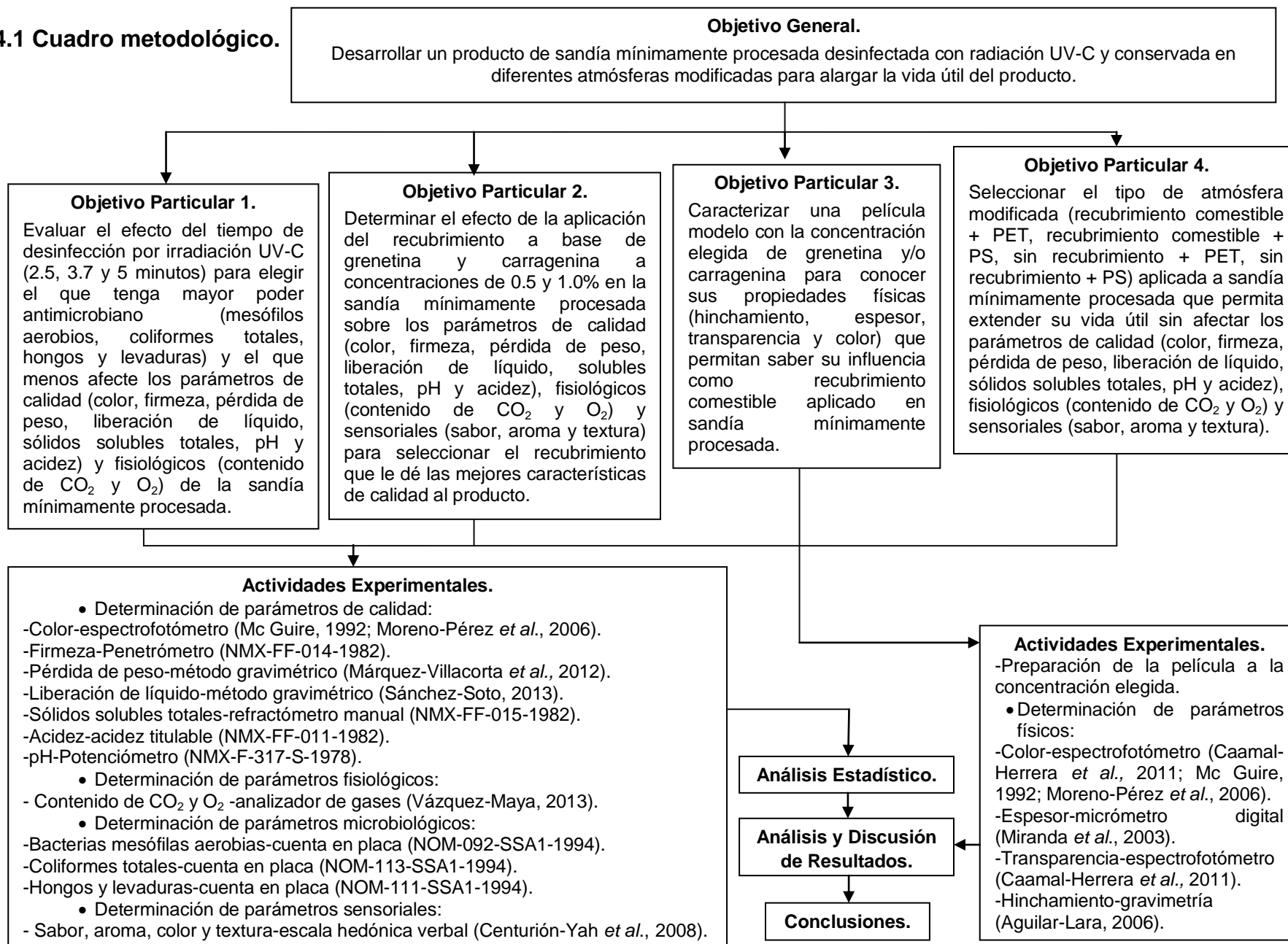
**Objetivo Particular 4.** Seleccionar el tipo de atmósfera modificada (recubrimiento comestible + PET, recubrimiento comestible + PS, sin recubrimiento + PET, sin recubrimiento + PS) aplicada a sandía mínimamente procesada que permita extender su vida útil sin afectar los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, sólidos solubles totales, pH y acidez), fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y sensoriales (sabor, aroma y textura).



# 4. Metodología



### 4.1 Cuadro metodológico.







## 4.2 Material biológico.

Las sandías (*Citrullus lanatus*) de la variedad “Jubilee sin semilla” se adquirieron del mercado del Carmen de Cuautitlán Izcalli, Estado de México y fueron trasladados al Laboratorio de Postcosecha de Productos Vegetales del Centro de Asimilación Tecnológica de la UNAM (Figura 11).



Figura 11. Sandía Jubilee “sin semilla”.

## 4.3 Elaboración de sandía mínimamente procesada y evaluación de las condiciones de desinfección.

Para la evaluación de tiempo de desinfección, primeramente se llevó a cabo el proceso de elaboración de sandía mínimamente procesada, que se realizó a una temperatura de 10-12°C, en un área desinfectada con hipoclorito de sodio a 100 ppm. En la Figura 12 se muestra el diagrama para la elaboración de la sandía mínimamente procesada desinfectada con luz UV-C.

El material que se utilizó para el procesamiento de la sandía (cuchillos, recipientes de plásticos, cucharas, tablas de picar) se lavó con una solución de jabón y agua, posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 100 ppm. Los envases empleados fueron irradiados con luz UV-C por 10 min en una cámara de 80 x 100x 80 cm, provista de una lámpara germicida (Sankyo Denky, G15 T 18).

### 4.3.1 Descripción del proceso.

**Lavado y desinfección de la sandía.** La sandía se lavó con una solución jabonosa, se enjuagaron perfectamente y posteriormente los frutos se sumergieron durante 5 minutos en una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 100 ppm para su desinfección.

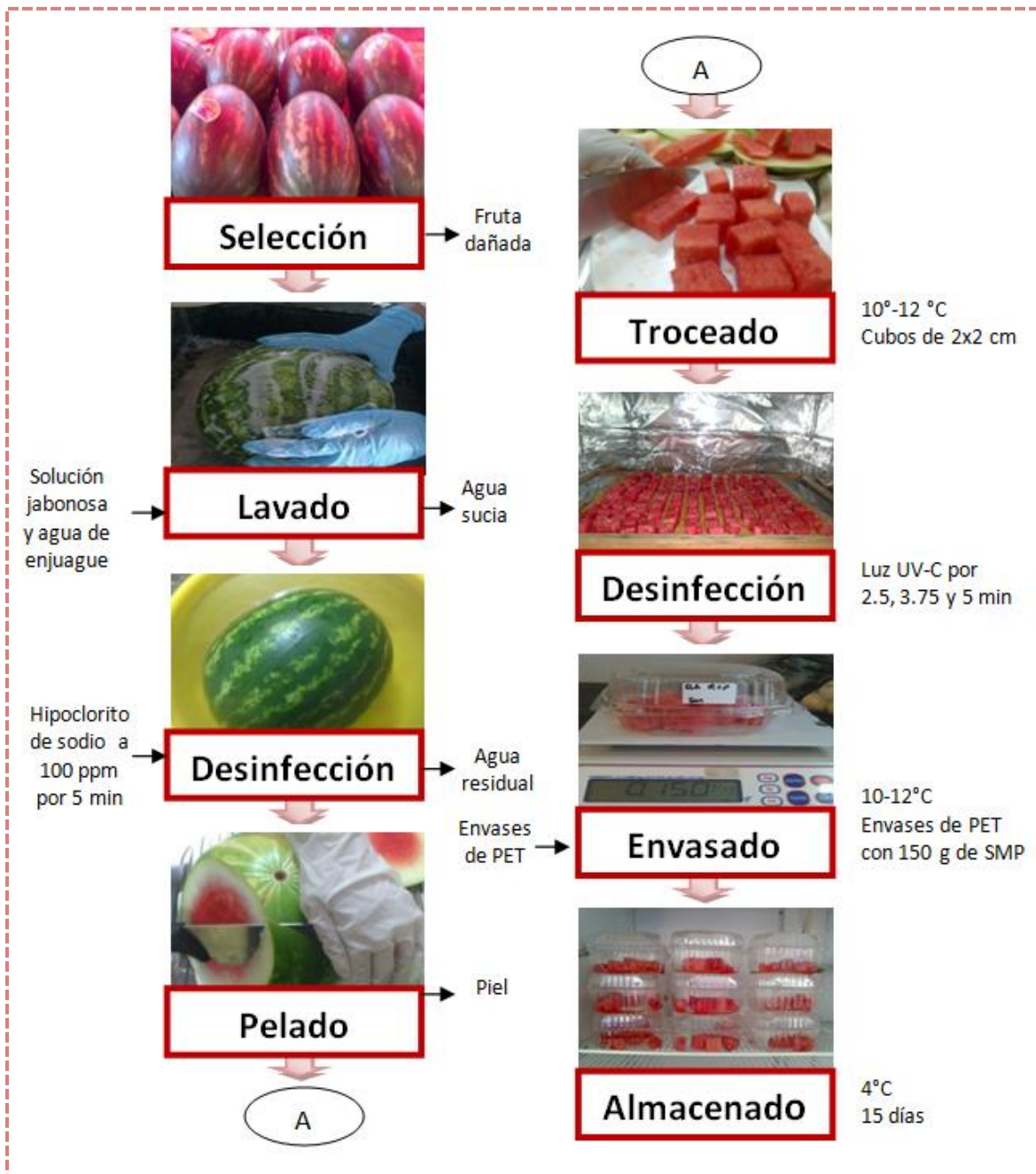


Figura 12. Diagrama de proceso de elaboración de sandía mínimamente procesada desinfectada con luz UV-C.

**Pelado y cortado.** Las sandías se partieron por la mitad con un cuchillo de acero inoxidable para un mejor manejo y pelado, al término de esta operación posteriormente se volvieron a partir por la mitad y luego en tiras para comenzar con el troceado de los frutos en forma de cubo. Para realizar estas actividades se



trabajó a una temperatura de 10-12°C. En esta etapa un lote de sandía mínimamente procesada paso directamente a la etapa de envasado (control).

**Desinfección.** Para la desinfección en luz UV-C, los trozos de sandía se colocaron en una malla dentro de una cámara de luz UV-C (Sankyo Denky, G15 T 18) y se situaron a 35 cm de distancia de la lámpara para su desinfección por un tiempo de 2.5, 3.75 y 5 minutos.

**Envasado y pesado.** La sandía se envasó en tarrinas PET, previamente desinfectadas, a las cuales se le colocaron 150g de fruto y se etiquetaron de acuerdo al tiempo de desinfección que recibieron.

**Almacenamiento.** El producto se almacenó en refrigeración a 4°C por 15 días y cada 3 días se realizó un monitoreo de los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, sólidos solubles totales, pH y acidez), fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y microbiológicos (mesófilos aerobios, coliformes totales, mohos y levaduras) de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.7.

#### **4.4 Aplicación del recubrimiento comestible a base de grenetina y carragenina a dos diferentes concentraciones en sandía mínimamente procesada.**

##### **4.4.1 Elaboración de recubrimientos comestibles.**

Los recubrimientos se elaboraron de acuerdo al porcentaje establecido en la Tabla 13, mediante la hidratación de los polímeros (grenetina y carragenina) con agua destilada a 60°C que se llevó a cabo con agitación constante (utilizando un homogenizador) de 1 a 2 min hasta que se disperso por completo y enseguida se adicionó glicerol y tween, se mantuvo la agitación constante hasta obtener una solución homogénea (se dejó enfriar hasta temperatura ambiente). Se realizaron 2



formulaciones a base de grenetina y 2 a base de carragenina. La preparación del cloruro de calcio se realizó con agitación manual.

Tabla 13. Formulación para recubrimiento a base de grenetina y carragenina.

Tratamiento	Concentración % (m/v)	Glicerol % (v/v)	Tween % (v/v)	Tiempo de inmersión (min)	CaCl <sub>2</sub> % (m/v)	Tiempo de inmersión (min)
Grenetina	0.5	1	1	5	-	-
	1.0					
Carragenina	0.5	1	1	5	1	5
	1.0					

#### 4.4.2. Aplicación de recubrimientos comestibles en sandía mínimamente procesada.

El recubrimiento a base de grenetina se aplicó en la sandía mínimamente procesada mediante una inmersión por 5 minutos, se escurrió por 5 minutos, posteriormente el recubrimiento aplicado se dejó secar colocándola sobre una malla y en un área con aire estéril durante 30 minutos, una vez transcurrido este tiempo se llevó a cabo la desinfección en la cámara de luz UV-C por 2.5 minutos y finalmente se envasó, etiquetó y almacenó a una temperatura de 4°C por 15 días.

La aplicación del recubrimiento a base de carragenina se realizó de la misma manera que el recubrimiento a base de grenetina con la diferencia de que se le incluyó un paso adicional que fue sumergir los trozos de sandía en la solución de cloruro de calcio al 1.0% durante 5 minutos y escurrir el exceso de solución una vez que se aplicó la solución de carragenina. Posteriormente cada 3 días se realizó un monitoreo de los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, sólidos solubles totales, pH y acidez), fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) y microbiológicos (mesófilos aerobios, coliformes totales, mohos y levaduras) de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.7.

En la Figura 13 se muestra el diagrama de bloques para la elaboración de sandía mínimamente procesada con aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina.

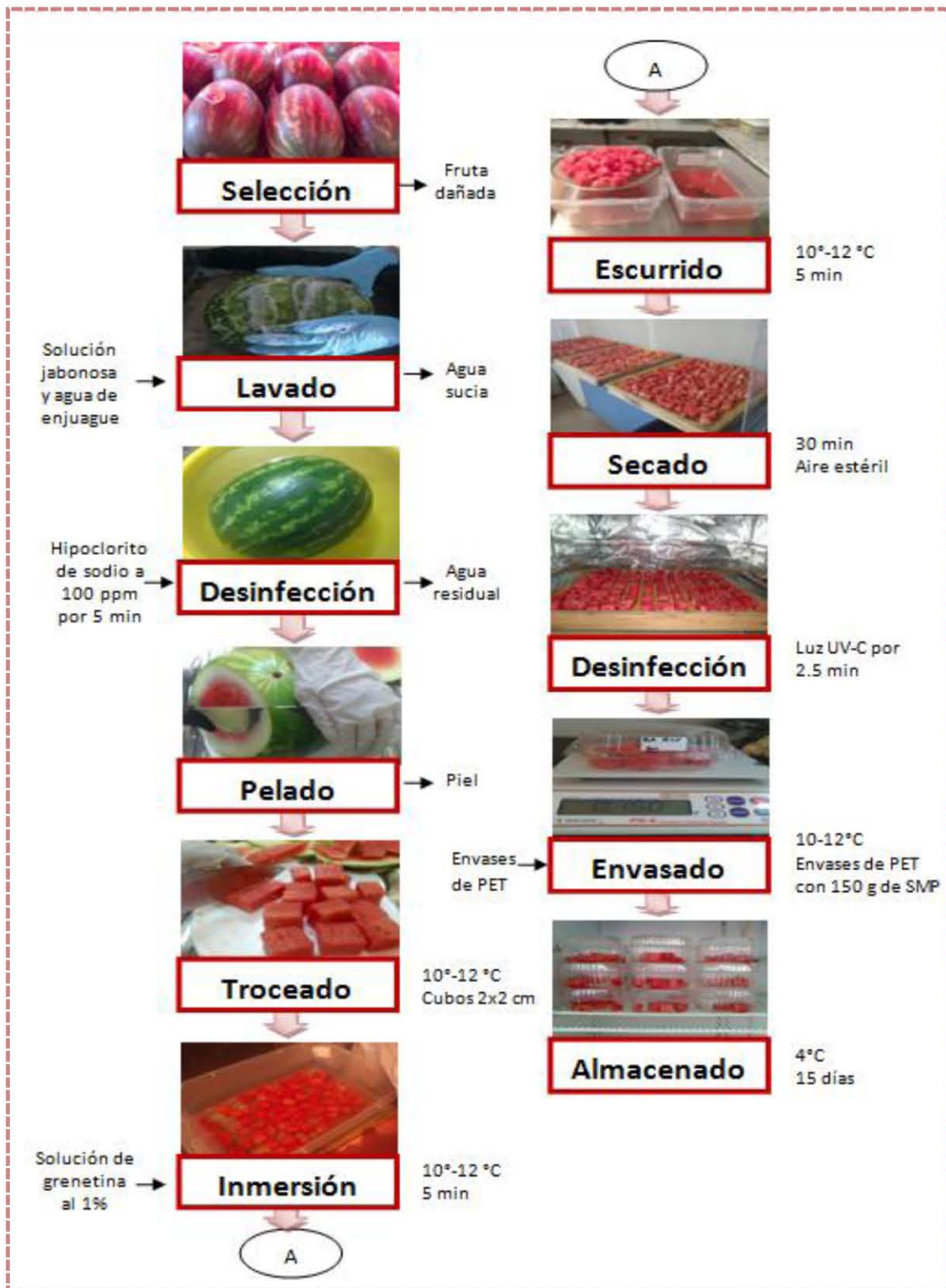


Figura 13. Diagrama de proceso de elaboración de sandía mínimamente procesada con recubrimiento a base de gredetina.



## **4.5 Caracterización de las propiedades del recubrimiento seleccionado para la sandía mínimamente procesada**

### **4.5.1 Elaboración de la película modelo.**

Para la elaboración de la película comestible de grenetina a concentración 1.0% se realizó de la misma forma que en el apartado 4.4.1 y posteriormente se siguió la metodología reportada por Sánchez-Soto (2013). Se tomaron 30mL de la formulación, se vaciaron en recipientes de plástico de 15cm de diámetro y se dejaron secar por 3 días a temperatura ambiente sobre una superficie nivelada para que el espesor de la película sea homogéneo (Figura 14). Posteriormente se evaluó el hinchamiento y propiedades físicas (espesor, transparencia y color) de acuerdo al apartado 4.7.4.



Figura 14. Secado de películas comestibles a base de grenetina.

## **4.6 Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la sandía mínimamente procesada.**

Para evaluar el efecto diferentes atmósferas modificadas, se utilizó un envase de tereftalato de polietileno (PET) y poliestireno (PS). Previo al envasado la sandía mínimamente procesada fue recubierta a base de grenetina al 1.0% y desinfectada por 2.5 min en la cámara de luz UV-C. Los productos se almacenaron en refrigeración a 4°C por 15 días y cada 3 días se realizó un monitoreo de los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido, sólidos solubles totales, pH y acidez), fisiológicos (contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>), microbiológicos (mesófilos aerobios, coliformes totales, mohos y levaduras) y sensoriales de acuerdo a las técnicas descritas en el apartado 4.7.



## 4.7 Métodos analíticos.

### 4.7.1 Parámetros de calidad.

#### 4.7.1.1 Determinación de color.

La determinación del color en la sandía mínimamente procesada se llevó a cabo con un espectrofotómetro (Konica Minolta CM-600d) mediante el sistema Hunter  $L^*a^*b$ . El parámetro  $L$  mide la luminosidad o brillantez de la muestra, que representa la luminosidad desde la reflexión nula ( $L=0$ ) hasta la reflexión difusa perfecta ( $L=100$ ), se obtiene como una medida directa del espectrofotómetro,  $a$  mide la tonalidad de color verde a rojo y  $b$  las tonalidades de azul a amarillo. A partir de estos parámetros se calculó el ángulo de tono ( $^{\circ}\text{Hue}$ ) donde  $^{\circ}\text{Hue}$ :  $0$ =rojo-púrpura,  $90$ =amarillo,  $180$ =azul-verde y  $270$ =azul, el  $^{\circ}\text{Hue}$  se calculó a partir de la ecuación  $h^{\circ}=\arctan (b/a)$ . El croma representa la pureza del color, indica la intensidad a saturación del color, y se calculó por la ecuación  $C= (a^2 + b^2)^{1/2}$  (McGuire, 1992; Moreno-Pérez *et al.*, 2006). La medición se realizó en 5 trozos de sandía 2 mediciones por cubo, por triplicado de cada tratamiento (Figura 15).



Figura 15. Determinación de color.

#### 4.7.1.2 Determinación de firmeza.

En la determinación de firmeza se utilizó un penetrómetro digital (PCE FM200) con punta cilíndrica de 8mm de diámetro, para medir el esfuerzo necesario para vencer la resistencia que presenta la pulpa al introducir un émbolo de metal (Figura 16). Los resultados se expresaron como la fuerza necesaria para penetrar la pulpa en Newtons (NMX-FF-014-1982).



Figura 16. Determinación de firmeza.



#### 4.7.1.3 Determinación de pérdida peso.

Para su determinación se registraron los cambios de peso de cada muestra en el día correspondiente a la evaluación con respecto al peso inicial de su almacenamiento (Márquez-Villacorta *et al.*, 2012) haciendo uso de una balanza digital (OHAUS Scout Pro) (Figura 17). Los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso.



Figura 17. Determinación de pérdida de peso.

#### 4.7.1.4 Determinación de liberación de líquido.

Para evaluar el desprendimiento de líquido se empleo papel filtro a peso constante de 4x4 cm, se colocó un trozo de sandía entre un par de papeles, posteriormente se le aplicó un peso de 100g durante 5 segundos (Figura 18) y se determinó el peso de los papeles filtro. El porcentaje de liberación de líquido se calculó por diferencia de peso final e inicial. Los resultados se expresaron en porcentaje de liberación de líquido (Sánchez-Soto, 2013).

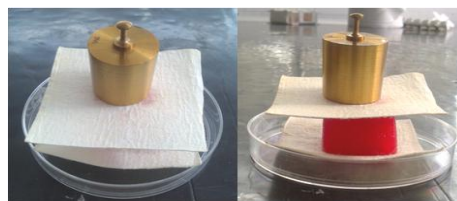


Figura 18. Determinación de liberación de líquido.

#### 4.7.1.5 Determinación de sólidos solubles totales (SST).

El contenido de sólidos solubles se determinó por lectura directa colocando una gota del jugo que se desprende de la sandía sobre el prisma de medición mediante un refractómetro digital (ATAGO PAL-BX/RI) como se muestra en la Figura 19. El equipo se basa en la propiedad de los líquidos de refractar la luz en proporción a su contenido de sólidos solubles totales. Los resultados se expresaron como °Brix (NMX-FF-015-1982).





Figura 19. Determinación de SST.

#### 4.7.1.6 Determinación de acidez.

La acidez titulable es el porcentaje de los ácidos contenidos en el producto. La determinación de este parámetro se realizó por medio del análisis conocido como titulación directa, que es la neutralización de los iones hidrógeno del ácido con una solución de hidróxido de sodio de concentración conocida. El cambio de acidez a la alcalinidad se determina utilizando fenolftaleína como indicador (NMX-FF-011-1982). La acidez se determinó con la titulación de 10mL de muestra previamente preparada, de 10g de muestra macerada más 90mL de agua y posteriormente filtrada, adicionando dos gotas del indicador fenolftaleína, valorada con NaOH 0.1 N (Figura 20). Los resultados se expresaron como mg de ácido málico en 100g de muestra.



Figura 20. Determinación de acidez.

#### 4.7.1.7 Determinación de pH.

Se basa en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en una muestra del producto mediante un potenciómetro (NMX-F-317-S-1978), ya que la fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema. El pH de la sandía se midió con un potenciómetro manual (HANNA HI 208), por medición directa a temperatura ambiente (Figura 21). Para su determinación se tomó de la muestra filtrada que se preparó para la determinación de acidez.



Figura 21. Determinación de pH.

#### 4.7.2 Parámetros fisiológicos.

##### 4.7.2.1 Determinación del contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

Los cambios en la concentración de oxígeno y dióxido de carbono en los trozos de sandía envasados se determinó utilizando un analizador de gases (Quantek Dual Track 902D) con el cual se midió el porcentaje de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> retenido en el espacio de cabeza del envase como se muestra en la Figura 22. El equipo consta de tres partes: una fuente de infrarrojo, la celda donde se coloca el gas a medir, un detector, trabaja bajo el principio de que el gas CO<sub>2</sub> absorbe luz infrarroja, debido a que una determinada cantidad de este gas que penetre en dicho analizador originará una señal que es proporcional a la concentración del CO<sub>2</sub> en la corriente de aire que entra por acción de una bomba (Vázquez-Maya, 2013). Los resultados se expresaron en porcentaje de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza.



Figura 22. Determinación de la composición atmosférica.

#### 4.7.3 Parámetros microbiológicos.

Para el análisis microbiológico se utilizó el método de siembra directa y conteo en placa. El recuento de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras se realizó empleando diluciones de 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup> y 10<sup>-4</sup> (Figura 23).

Para mohos y levaduras se usó agar selectivo de Papa Dextrosa a una temperatura de incubación de 25°C por 3 a 5 días, para mesófilos aerobios se usó agar Nutritivo a una temperatura de incubación de 37°C por 24-48 horas y para



bacterias coliformes totales se utilizo agar Bilis y Rojo Violeta a una temperatura de incubación de 37°C por 24 horas (NOM-092-SSA1-1994, NOM-111-SSA1-1994 y NOM-113-SSA1-1994). Los resultados se expresaron como unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g).

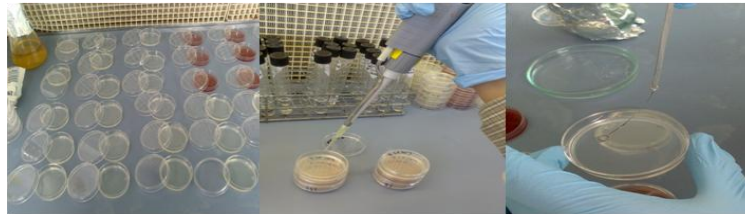


Figura 23. Determinación de parámetros microbiológicos.

#### 4.7.4 Propiedades físicas de las películas.

##### 4.7.4.1 Determinación de color.

Para la determinación de color de las películas comestibles se empleó un espectrofotómetro (Konica Minolta CM-600d) con plato blanco de calibración. Se cortaron porciones de película de 6cm de diámetro para tomarles lecturas de acuerdo a la escala Hunter  $L^*a^*b$  (Caamal-Herrera *et al.*, 2011). Esta determinación se realizó por triplicado (Figura 24). Con base a los datos de  $L$ ,  $a$  y  $b$  (McGuire, 1992; Moreno-Pérez *et al.*, 2006) se calculó la luminosidad, tono y croma de acuerdo a la sección 4.7.1.1.



Figura 24. Determinación de color en películas comestibles.

##### 4.7.4.2 Determinación del espesor.

El espesor de las películas se determinó con un micrómetro digital (Mitutoyo IP65) (Figura 25), su funcionamiento está basado en el tornillo micrométrico y que sirve para medir las dimensiones de un objeto con alta precisión, del orden de centésimas de milímetros y de milésimas de milímetros (0,001mm) (Metrología, 2008). La evaluación de este parámetro se realizó de acuerdo a Miranda *et al.*



(2003). La determinación se llevó a cabo por triplicado para cada muestra de película. Cada uno de los fragmentos se colocó entre el tope fijo y el tope móvil del micrómetro, posteriormente se hizo girar el tornillo hasta que los toques estuvieran en contacto tomando la lectura directa en la pantalla. Los resultados se expresaron en mm.



Figura 25. Micrómetro digital y porciones de película.

#### 4.7.4.3 Determinación de transparencia.

La prueba de transparencia se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Caamal-Herrera *et al.* (2011), donde se utilizó un espectrofotómetro (Thermo-spectronic Genesys 10 UV), ya que los métodos espectroscópicos se basan en la capacidad de las sustancias de absorber (o emitir) radiación electromagnética. El aparato detecta la cantidad de luz transmitida o absorbida a través de la solución en la celda y la compara con la que se transmite o absorbe a través de una solución de referencia denominada “blanco”.

La transparencia de las películas se obtuvo a partir de la transmitancia medida a 600 nm, tomando como blanco una celda vacía leída a la misma longitud de onda. Se colocó una porción rectangular de la película en la parte frontal de la celda (Figura 26).

Dicho parámetro se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación, por lo que los resultados fueron reportados en nm/mm:

$$\text{Transparencia} = \frac{-\log T_{600}}{s} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde  $s$ , es el espesor de la película en milímetros, y  $T_{600}$ , la transmitancia medida a 600 nm.



Figura 26. Porción rectangular de la película en la parte frontal de la celda y equipo de medición.

#### 4.7.4.4 Determinación de hinchamiento.

Para la determinación de hinchamiento se siguió la metodología descrita por Aguilar-Lara (2006), la cual consistió en cortar cuadros de 2x2 cm los cuales se vaciaron en cajas Petri (una caja para cada cuadrado) y se pusieron a peso constante. Posteriormente con unas pinzas se tomó una muestra de película y se pesó en la balanza analítica. La muestra se sumergió en 50 mL de agua destilada a pH 7. Después de 15 min se sacó la muestra con las pinzas, se retiró el exceso de agua en un papel absorbente, y se volvió a pesar (Figura 27). La medición se repitió cada 15 minutos. Para calcular el grado de hinchamiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%W = \frac{W_w - W_0}{W_0} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:  $W_w$  es el peso final, después de sumergir las películas,  $W_0$  es el peso inicial, de la película seca,  $\%W$  es el porcentaje de hinchamiento.

El agua es transferida a través de la película debido a la diferencia de potencial químico entre dos compartimientos; pero las moléculas de agua sorbidas afectan las propiedades de plastificación, hinchamiento y solubilidad ya que pueden modificar la eficiencia de la barrera de la misma (Aguilar-Lara, 2006).

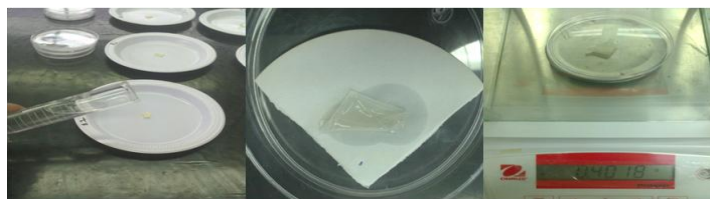


Figura 27. Determinación de hinchamiento.



### 4.7.5 Determinación de parámetros sensoriales.

La evaluación sensorial de los distintos tratamientos en sandía se llevó a cabo mediante pruebas afectivas, específicamente pruebas de la escala hedónica, las cuales se utilizan para evaluar la aceptación o rechazo, si le gusta o le disgusta, nivel de satisfacción o si prefiere otro de un producto determinado (embalaje, precio, marca, etc.) estas escalas pueden ser verbales o gráficas, la escala verbal va desde me gusta muchísimo hasta me disgusta muchísimo, las escalas deben ser impares con un punto intermedio de ni me gusta ni me disgusta (Figura 28). Se realiza generalmente a panelistas inexpertos y consumidores, no requieren entrenamiento previo o conocimiento en análisis sensorial (Alarcón, 2013).

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** frente a usted se encuentran unas muestras de sandía mínimamente procesada, pruébelas y en base a la escala que se encuentra en superíndice seleccione el número del 1 al 5 que crea que describe el parámetro.

Sandía Mínimamente Procesada				
Parámetro/Muestra	1108	0304	3112	3108
Apariencia visual <sup>A</sup>				
Color <sup>B</sup>				
Olor <sup>A</sup>				
Olores extraños <sup>D</sup>				
Textura <sup>C</sup>				
Sabor <sup>A</sup>				
Sabores extraños <sup>D</sup>				
Calificación en general <sup>A</sup>				

A. Escala general	B. Escala de intensidad de color	C. Escala de textura	D. Escala de olores y sabores extraños
1.- Muy mala 2.- Mala 3.-Aceptable como límite de consumo 4.- Buena 5.- Muy buena	1.- Rojo muy claro 2.- Rojo claro 3.- Rojo 4.- Rojo intenso 5.- Extremadamente rojo	1.- Muy blanda 2.- Blanda 3.-Aceptable como límite de consumo 4.- Firme 5.- Muy firme	1.- Mucho 2.- Alguno 3.-Aceptable como límite de consumo 4.- Poco 5.- Ninguno

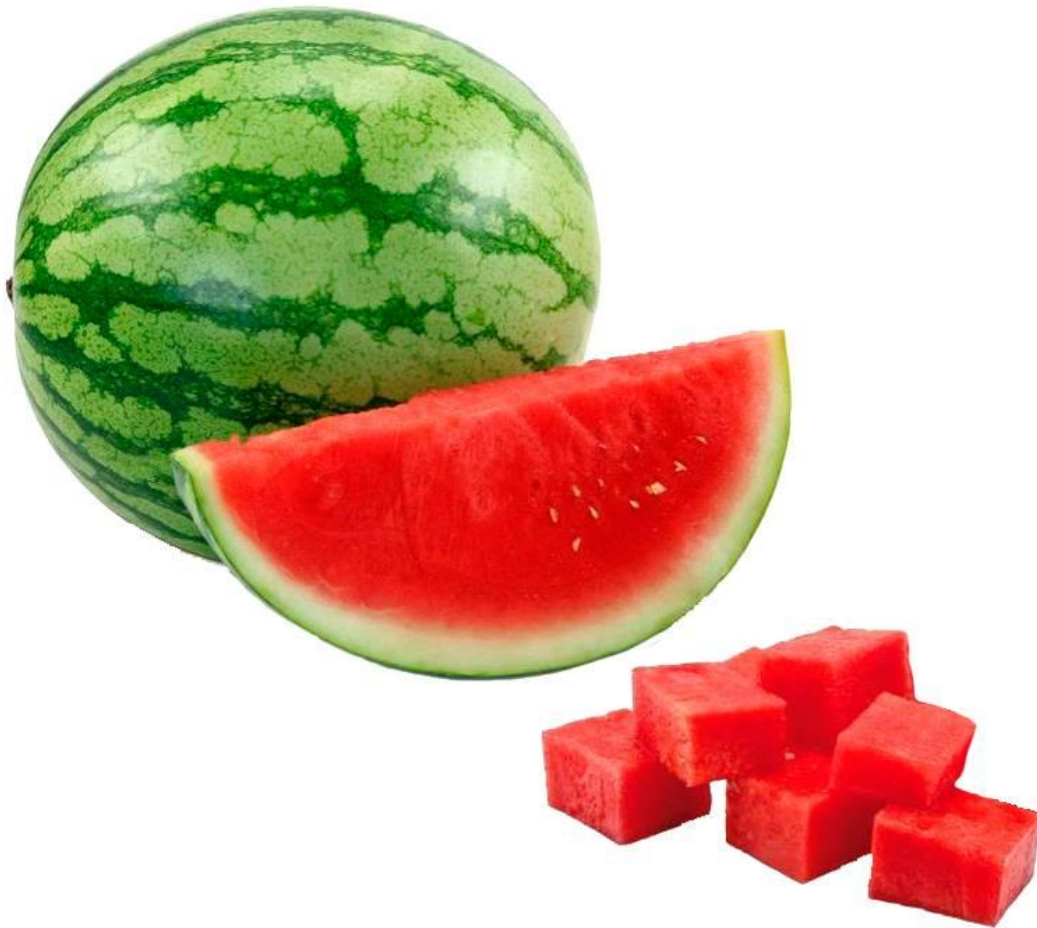
Figura 28. Formato que se aplicó a los panelistas durante los días de muestreo.

El análisis sensorial del fruto se realizó de acuerdo a la metodología empleada por Centurión-Yah *et al.* (2008), con un panel no entrenado, donde cada uno degustó sandía con distintos tratamientos para valorar parámetros como el color, olor, sabor, textura y la apariencia en general del fruto mediante una escala hedónica verbal.



#### **4.8 Análisis estadístico.**

Para el objetivo 1 y 4 se analizaron los datos obtenidos mediante un diseño completamente al azar (ANOVA), para el objetivo 2 se aplicó un diseño factorial  $2^2$  con un nivel de significancia de 0.05, que permitió conocer si existió efecto significativo o no por cada una de las variables mediante pruebas de rango múltiple (Tukey y Duncan) a través del programa estadístico SPSS (versión 22) for Windows Student.



# 5. Resultados y Discusión





## **5.1 Efecto del tiempo de desinfección de luz UV-C en sandía mínimamente procesada.**

### **5.1.1 Parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada con distintos tiempos de desinfección con luz UV-C.**

#### **5.1.1.1 Color.**

En el caso de las frutas y vegetales el color depende de la presencia de cuatro tipos fundamentales de pigmentos, carotenoides, antocianinas, clorofilas y compuestos fenólicos, los cuales pueden cambiar durante el procesado y almacenamiento. Cuando el deterioro del color es visualmente extenso el producto resulta inaceptable, por lo que industrialmente, el color puede ser una característica determinante para el éxito comercial de innumerables productos. La medición del color se ve afectada por muchos factores tales como: la iluminación, el observador, la naturaleza y características de la propia superficie (tamaño de la muestra, su textura y brillo) (Contreras-Monzón, 2006). Por lo que el color más la apariencia nos da como resultado la apreciación y por tanto una aceptación o un rechazo del consumidor.

##### **5.1.1.1.1 Luminosidad.**

La luminosidad o brillo, permite clasificar el color como claro u oscuro, que se define como la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad - 100) hasta el negro (mínima luminosidad - 0), haciendo un elemento más claro u oscuro. Esta característica es una medida relativa de la luz reflejada frente a la absorbida, por lo tanto no se considera como partícipe de la cromaticidad (González-Cárdenas, 2010).

En la Figura 29 se pueden observar los cambios en la luminosidad de la sandía mínimamente procesada ocasionados por los diferentes tiempos de desinfección (2.5, 3.75 y 5 min) con luz UV-C, en los cuales se puede ver que presentan una tendencia decreciente de este parámetro mostrando una disminución del 34.5% de



luminosidad en los cubos de sandía a 3.75 min con luz UV-C, mientras que para los desinfectados por 2.5 y 5 min con luz UV-C y el control hubo una disminución del 6.7, 15.3 y 7.7% respectivamente durante el almacenamiento (día 0 al 15).

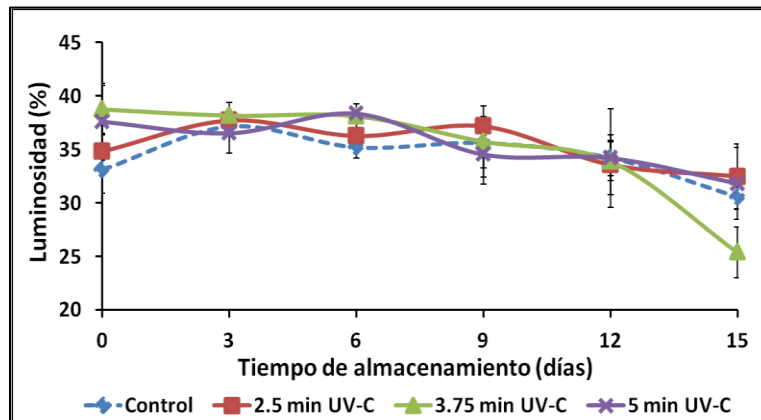


Figura 29. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la luminosidad de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del almacenamiento la sandía mínimamente procesada sometida a luz UV-C por 3.75 min tuvo 19.7% menor luminosidad con respecto a los demás tiempos de desinfección (2.5 y 5 min) y el control, por lo que hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la luminosidad entre el primer tratamiento y los demás.

En el trabajo realizado por Artés-Hernández *et al.* (2010), se encontró que los cubos de sandía mínimamente procesada tratados con irradiación UV-C denotaron mayores valores de luminosidad en comparación con una muestra control durante 11 días de almacenamiento. De igual forma Márquez-Villacorta y Pretell-Vázquez (2013), reportaron que la luminosidad de los frutos tropicales mínimamente procesadas tratados con irradiación UV-C presentaron mayores valores de luminosidad en comparación con las muestras control que denotaron un alto grado de oscurecimiento durante 15 días de almacenamiento. La disminución de este parámetro indica la pérdida de luminosidad, usada como indicador de pardeamiento.



A partir de los datos anteriores se puede decir que el tratamiento por 2.5 min de luz UV-C fue favorable en la luminosidad de la sandía mínimamente procesada debido a que los valores arrojados durante todo el estudio son muy semejantes a los no tratados (control), por lo que a este tiempo de desinfección no se modificó la brillantez del producto.

#### 5.1.1.1.2 Tono (°Hue).

El tono es una medida angular y corresponde al ángulo de matiz definido desde el eje positivo de la coordenada  $a$ , que varía entre 0 y 360°. Numéricamente, corresponde en el plano cromático  $a$ - $b$ ,  $a$  mide la tonalidad de color verde a rojo y  $b$  las tonalidades de azul a amarillo. En el sistema hunter  $L^*a^*b$  las coordenadas representan una coloración rojo-purpura (0), amarillo (90), azul-verde (180) y azul (270) (Contreras-Monzón, 2006; McGuire, 1992).

El tono o °Hue de la de sandía mínimamente procesada sin tratamiento (control) y los desinfectados con luz UV-C por 2.5 min mostraron una tendencia descendente por lo que tuvieron una disminución del 11.3 y 16.3%, respectivamente de este parámetro, mientras que los sometidos por 3.75 y 5 min con luz UV-C tuvieron una tendencia ascendente por lo que hubo un aumento del 25.0 y 17.0% respectivamente de luminosidad del día 0 hasta los 15 días de almacenamiento (Figura 30).

La sandía mínimamente procesada con mayor °Hue al inicio del almacenamiento (día 0) fueron los trozos desinfectados por 2.5 min con luz UV-C (0.55°Hue) seguidos de los control (0.53°Hue), mientras que los trozos de sandía desinfectados por 3.75 y 5 min con luz UV-C presentaron el menor tono (0.27 y 0.39°Hue) encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el tono entre los primeros tratamientos con respecto a los segundos. Para el día 9 de almacenamiento los trozos de sandía desinfectados por 3.75 min con luz UV-C tuvo 27.9% menor tono con respecto a los demás tratamientos (2.5 y 5 min con luz



UV-C y los controles), encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el tono entre estos y los primeros trozos.

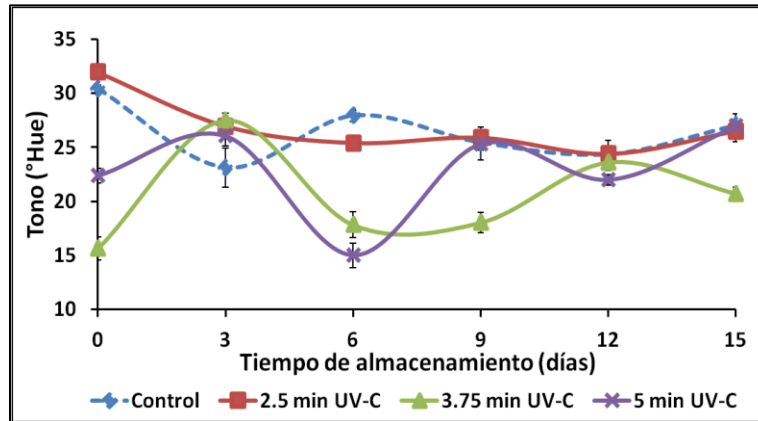


Figura 30. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en el tono de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del almacenamiento (día 15) los trozos de sandía desinfectados por 2.5 y 5 min con luz UV-C y los controles tuvieron 23.4% mayor tono con respecto de los desinfectados por 3.75 min con luz UV-C encontrando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los primeros tratamientos y el último.

Las diferencias de tono pueden ser atribuidos a las características inherentes de la fruta ya que la variabilidad del color de los trozos de sandía se pueden deber al estado de madurez del fruto, ya que la pulpa no es uniforme en color y textura, y esto explica por qué la pulpa tiene valores muy variables entre los trozos de sandía recién cortados y durante el almacenamiento (Montero-Calderón *et al.*, 2008).

Además de que la disminución del tono corresponde con un cambio en el color, como consecuencia de la degradación de pigmentos y la pérdida de éstos durante la desinfección del producto, pero sobre todo por las operaciones mecánicas llevadas a cabo durante la elaboración del producto mínimamente procesado, lo



cual resulta de la ruptura de células durante el corte (Salinas-Hernández *et al.*, 2010). Por otro lado, al igual que en el presente estudio, en un trabajo realizado por Fonseca y Rushing (2006), con sandía mínimamente procesada, indicaron una disminución de los valores de tono al avanzar el tiempo del almacenamiento.

El tratamiento por 2.5 min con luz UV-C fue propicio en el tono de la sandía mínimamente procesada, esto de acuerdo a los resultados anteriores se puede exponer que los valores obtenidos durante la experimentación son similares a los control, por lo que a este tiempo de desinfección no se modificó el tono de los cubos de sandía.

#### **5.1.1.1.3 Croma.**

La saturación o croma, es el atributo que permite estimar la proporción de color cromático puro contenido en la sensación total. Este concepto representa, por lo tanto, la pureza o intensidad relativa de un color. Numéricamente corresponde, en el plano cromático *a-b*, a la distancia desde el centro de la esfera de color al punto en cuestión (Contreras-Monzón, 2006).

En la Figura 31 se observa una tendencia descendente del croma para la sandía mínimamente procesada control y los desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min. Los trozos de sandía control, mostraron un descenso del 21.0% (29.5 a 23.3) en relación del día 0 al 15, mientras que los trozos de sandía expuestos a la luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min presentaron una disminución del 11.4% (25.4 a 22.5), 5.7% (21.5 a 20.2) y 8.5% (23.1 a 21.1), respectivamente.

En los días 6 y 9 de almacenamiento los fragmentos expuestos a luz UV-C presentaron 22.8 y 14.2% menos cromaticidad respectivamente en comparación con el control, por lo que para estos días se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre la saturación de color de los trozos de sandía control y los desinfectados. Al final del almacenamiento los cubos de sandía tratados con luz



UV-C por 3.75 min tuvieron 13.0% menor cromaticidad con respecto a los cubos de sandía control, mientras que para los expuestos a 2.5 y 5 min con luz UV-C fue del 9.9 y 4.1% respectivamente; sin embargo, para este día no se mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la cromaticidad de los trozos de sandía con o sin tratamiento.

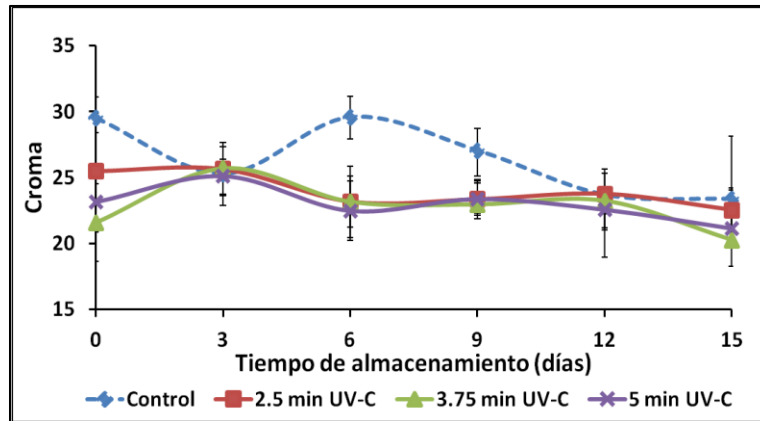


Figura 31. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en el cromatismo de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al igual que en el presente trabajo, Artés-Hernández *et al.* (2010), Fonseca y Rushing (2006), observaron un descenso de los valores de cromatismo en sandía fresca cortada desinfectada con luz UV-C, lo que sugirió una pérdida de la pureza del color durante el almacenamiento. Esta disminución se atribuyó a una mayor actividad metabólica en el tejido de la fruta debido a la operación de corte y a la temperatura de almacenamiento (Tovar *et al.*, 2000).

De acuerdo a los resultados se puede establecer que la sandía mínimamente procesada control expresó valores por encima de los sometidos a los diferentes tiempos de desinfección con luz UV-C, por lo que estos tratamientos modificaron este parámetro y como consecuencia no mantuvieron la cromaticidad del color en los trozos de sandía.



### 5.1.1.2 Firmeza.

La firmeza es una cualidad sensorial, con un rol muy relevante en la aceptabilidad por parte de los consumidores. En las frutas está influenciada por factores estructurales y químicos: los constituyentes bioquímicos de los orgánulos celulares, el contenido de agua y la composición de la pared celular. Por tanto, cualquier agente externo que afecte a uno o varios de estos factores puede modificar la firmeza e inducir cambios que modifiquen la calidad final del producto (Márquez-Villacorta y Pretell-Vásquez, 2013).

La firmeza de los trozos de sandía desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min y sin tratamiento (control) tuvieron una tendencia a disminuir con respecto al tiempo de almacenamiento, ya que presentaron una pérdida de firmeza de 30.8, 36.9, 35.7 y 32.6%, respectivamente del día cero hasta los 15 días de evaluación (Figura 32).

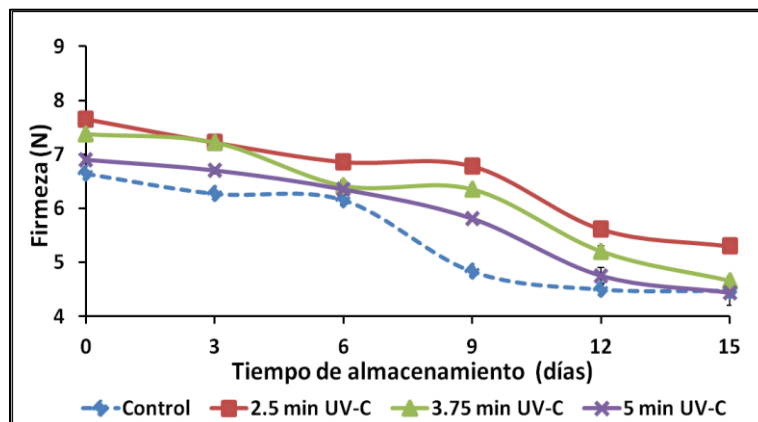


Figura 32. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la firmeza de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al inicio del almacenamiento (día 0) se registró una firmeza de 7.65, 7.37, 6.89 y 6.64 N en los cubos de sandía tratada con luz UV-C por 2.5, 3.75, 5 min y sin tratamiento, respectivamente, presentando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en este parámetro para este día. En el día 9 los fragmentos sandía expuestos a luz UV-C



por 2.5 min obtuvieron una firmeza de 6.78 N, mostrando una reducción del 11.4% con respecto al día 0, mientras que para los sometidos a luz UV-C por 3.75, 5 min y el control tuvieron 14.0, 15.8 y 27.2% menor firmeza, respectivamente presentando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de los trozos tratados con los diferentes tratamientos y los control. Al final del almacenamiento (día 15), los cubos de sandía desinfectados con luz UV-C por 2.5 min tuvieron 12.0% mayor firmeza que los expuestos a los demás tratamientos y el control, por lo que se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de los primeros trozos de sandía con respecto a los segundos.

La firmeza reportada en trabajos realizados por Beltrán *et al.* (2010), con fresa muestra que los frutos de los tratamientos con luz UV-C disminuyeron su firmeza en comparación con las fresas frescas, dicha disminución pudo verse afectada debido a que los componentes de la membrana (fosfolípidos y glicolípidos) como de la pared celular (proteínas y ligninas) absorben energía en el rango ultravioleta generando especies reactivas de oxígeno que causan estrés oxidativo que afectan la estabilidad de la pared y membrana celular.

Por otra parte Márquez-Villacorta *et al.* (2012), reportó una disminución de firmeza en rebanadas de carambola a medida que transcurrieron los días de almacenamiento. No obstante, las rebanadas de carambola tratadas con irradiación UV-C produjeron una buena retención de este parámetro durante los 16 días de estudio.

Se concluye que a un prolongado tiempo exposición a la luz UV-C (3.75 y 5 min) los tejidos celulares del fruto se vieron más comprometidos por lo que se ocasionó una mayor pérdida de firmeza, de manera que a un tiempo de desinfección corto (2.5 min) se pudo preservar la firmeza incluso mejor que el control además de alargar el tiempo de vida útil.





### 5.1.1.3 Pérdida de peso.

La pérdida de peso puede implicar la pérdida de calidad y, en consecuencia, el rechazo de los consumidores (Márquez-Villacorta *et al.*, 2012).

Los trozos de sandía tanto desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min como los control mostraron un incremento de pérdida de peso constante durante el periodo de evaluación del día 0 al 15 (Figura 33), ya que hubo un aumento del 1.07, 0.84, 0.93 y 0.97%, respectivamente.

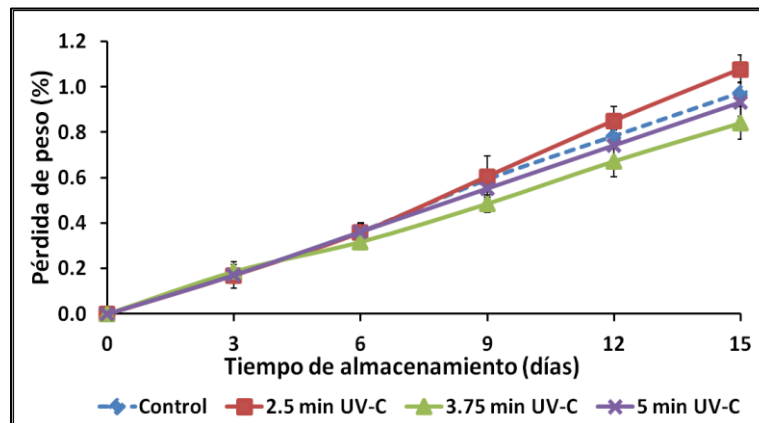


Figura 33. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la pérdida de peso de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

A partir del noveno día, los cubos de sandía desinfectados con luz UV-C por 3.75 min presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso con respecto a los exhibidos a la luz UV-C por 2.5 y 5 min y el control. Para el final del almacenamiento (día 15) los cubos de sandía sometidos a luz UV-C por 3.75 min con respecto a los sometidos a luz UV-C por 5 min tuvieron 9.8% menor pérdida de peso, mientras que los expuestos a luz UV-C por 2.5 min y el control presentaron 21.4 y 13.6% respectivamente menor pérdida de este parámetro, por lo que se mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso de los primeros tratamientos con respecto a los dos últimos.



La pérdida de peso de las frutas se asocia principalmente con la respiración y evaporación de la humedad, que se ve favorecida por la degradación de la membrana y la pared celular, luego del procesamiento, lo que también resulta en la pérdida de turgencia (Márquez-Villacorta y Pretell-Vásquez, 2013).

Estos datos concuerdan con los resultados obtenidos por Márquez-Villacorta *et al.* (2012), quienes observaron que la pérdida de peso en las rebanadas de carambola incrementaba en función del tiempo de almacenamiento y que esta pérdida era mayor en la muestra control en comparación con las muestras tratadas con irradiación UV-C, y dichos efectos se los atribuyeron a que este tratamiento físico trabajó eficientemente como barrera al vapor de agua.

Los cubos de sandía desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min y los control no supera el 8.0% de pérdida de peso (1.07, 0.84, 0.93 y 0.97%), ya que a este porcentaje se empieza a tener un efecto negativo sobre la calidad final del producto, promoviendo en corto tiempo al rechazo por parte del consumidor (García-Méndez, 2008b). Sin embargo, a pesar que ningún tratamiento supera ese porcentaje, a partir de los datos obtenidos se puede concluir que los fragmentos de sandía sometidos a luz UV-C por 3.75 min mostraron el efecto más favorable en cuanto a una reducción en la pérdida de peso.

#### **5.1.1.4 Liberación de líquido.**

El desprendimiento de líquido de los tejidos se ha utilizado como una medida de la frescura, sin embargo, éste constituye un importante factor de deterioro del producto (Montiel-Rosales, 2009).

La liberación de líquido de los cubos de sandía desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min y sin tratamiento (control) tuvieron una tendencia ascendente con respecto al tiempo de almacenamiento, ya que presentaron un incremento del 40.5, 47.6, 48.9 y 56.8%, respectivamente del día 0 hasta los 15 días de



evaluación (Figura 34). El análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la liberación de líquido de todos los tratamientos de estudio durante el periodo de 15 días de almacenamiento.

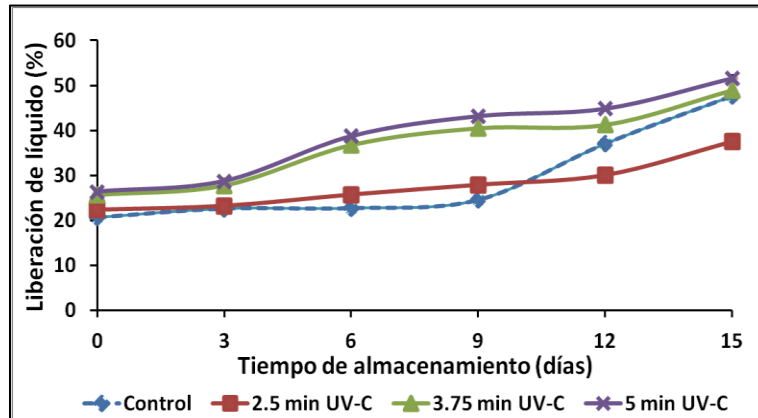


Figura 34. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al día 15 de almacenamiento los fragmentos de sandía desinfectados por 2.5 min mostraron 22.3% menor liberación de líquido en comparación con el control y con los tratados por 3.75 min con luz UV-C, mientras que con los sometidos a 5 min con luz UV-C presentaron un 27.2% menos. Por lo que se encontró que los expuestos por 2.5 min presentan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la liberación de líquido con respecto al resto de los tratamientos para este día.

Estudios realizados por Fonseca y Rushing (2006), y Artés-Hernández *et al.* (2010), con sandía mínimamente procesada mostraron que la luz UV-C reduce la liberación de líquido de los frutos al presentar un menor daño en el tejido, dicho trabajo concuerda con el tratamiento por 2.5 min de luz UV-C que es el que presentó menor liberación de líquido durante el periodo de evaluación, de acuerdo a lo anterior, a estas condiciones de desinfección, se reduce de manera significativa el desprendimiento de líquido de la sandía mínimamente procesada sin provocar daño tisular y de esta manera favoreciendo a la frescura del producto.



### 5.1.1.5 Sólidos solubles totales (SST).

Los sólidos solubles están formados fundamentalmente por los azúcares reductores y no reductores y por ácidos orgánicos. La concentración de sólidos solubles de los frutos se expresa en °Brix. Este índice está estrechamente ligado al estado de madurez de un fruto, pues valores elevados de °Brix, indicarán un alto contenido de azúcares provenientes de una degradación de carbohidratos complejos. El contenido de sólidos solubles totales aumenta hasta alcanzar un máximo y después se mantiene o disminuye cuando avanza la maduración (Navarrete, 2009).

En la Figura 35 se observa que en el día 0 el contenido de SST en la sandía mínimamente procesada control fue de 8.03°Brix, disminuyendo hasta 6.98°Brix en el día 15, es decir se tuvo un descenso de 13.0%, mientras que los fragmentos de sandía expuestos a luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min presentaron un declive del 9.5%, 5.5% y 14.9% respectivamente en el periodo de almacenamiento.

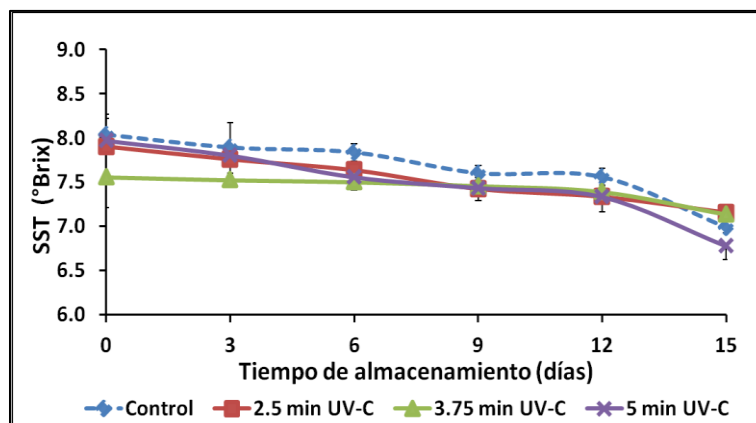


Figura 35. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en los sólidos solubles totales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del almacenamiento (día 15) la sandía mínimamente procesada desinfectada por 5 min mostró 3.0% menos sólidos solubles totales con respecto al control y 5.2% con el resto de los tratamientos. El análisis estadístico mostró



diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los sólidos solubles totales de la sandía mínimamente procesada control y la sometida a luz UV-C por 2.5 y 3.75 min con respecto a los tratados con luz UV-C por 5 min en el día 15 de almacenamiento.

En estudios realizados por Andrade-Cuvi *et al.* (2010), Márquez-Villacorta *et al.* (2012), Pan y Zu (2012), se reportó una ligera variación en el contenido de sólidos solubles totales en rebanadas de carambola y piña tratadas con irradiación UV-C en comparación con una muestra control durante el almacenamiento, por lo que el presente estudio no concuerda con dichos autores, ya que el cambio de SST durante el almacenamiento de la sandía mínimamente procesada muestra una tendencia decreciente, lo cual podría estar influenciado por la liberación de líquido, debido a que se pueden estar escapando elementos que forman parte de los sólidos solubles totales presentes en el fruto.

Con base en lo anterior se puede expresar que sin importar el tiempo de exposición a luz UV-C empleado no hay un impacto importante sobre el contenido de SST, sin embargo, el tratamiento por 2.5 min es el que más se aproxima a la tendencia de SST controles, mostrando que a este tiempo de desinfección la pérdida de este parámetro es menor, ya que se relaciona con un menor desprendimiento de líquido.

#### **5.1.1.6 pH.**

La determinación de pH sirve para indicar la concentración de iones hidronio [ $H_3O^+$ ] presentes en determinados alimentos (González-Cabrera, 2010). El pH es la medida de acidez o alcalinidad de un alimento, un factor determinante para controlar el crecimiento bacteriano (Chavarrías, 2013).

El comportamiento del pH se ve ilustrado en la Figura 36, lo cual indica que hubo un descenso del 7.7, 4.0, 3.8 y 12.0% en los sometidos a luz UV-C por 2.5, 3.75, 5 min y los controles respectivamente durante el periodo de evaluación de 0 a 15



días. Al final del almacenamiento los fragmentos de sandía desinfectados con luz UV-C por 3.75 min manifestó 1.6% menor pérdida de este parámetro en comparación con el resto de los tratamientos. El análisis estadístico mostró que para este día existe diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el pH de los primeros trozos de sandía con respecto a los segundos.

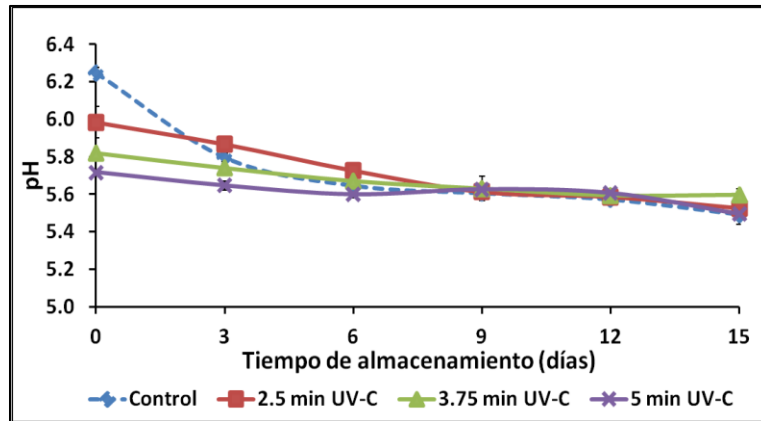


Figura 36. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en el pH de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

De acuerdo a los resultados se puede indicar que el pH de la sandía mínimamente procesada se ve afectado por los diferentes tiempos de desinfección al inicio del almacenamiento, sin embargo, a finales de este no se aprecia diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con respecto a los otros métodos de desinfección a excepción del tratado por 3.75 min con luz UV-C.

En el trabajo realizado por Andrade-Cuvi *et al.* (2010), con carambola mínimamente procesada desinfectada con luz UV-C se observó que durante el período de almacenamiento no hubo variación en el pH tanto de los frutos tratados como de los frutos controles, los resultados indicaron que la dosis de radiación UV-C usada en el estudio, se consideró como baja, ya que probablemente no afectaría la integridad del tejido. Así como también los estudios hechos por



Fonseca y Rushing (2006), que utilizaron luz UV-C en sandía, dicha investigación menciona que las diferentes dosis de desinfección no afectan el pH de este fruto.

### 5.1.1.7 Acidez.

Los vegetales contienen pequeñas cantidades de ácidos orgánicos que actúan como intermediarios metabólicos que pueden acumularse en forma de vacuolas. La acumulación de ácidos orgánicos imparte un sabor ácido o agrio. Los ácidos predominantes en frutas son el ácido cítrico, ácido málico y ácido tartárico. La acidez total disminuye en la mayoría de las frutas durante la maduración, aunque algunos ácidos concretos pueden aumentar (Fennema, 1995).

La sandía posee una baja acidez en comparación con otras frutas, su principal ácido orgánico es el ácido málico (Mani-López, 2003). Esto se ve reflejado en la acidez obtenida en el día 0 que fue de 0.016 mg de ácido málico/100g de sandía tanto para los desinfectados y el control, respectivamente (Figura 37).

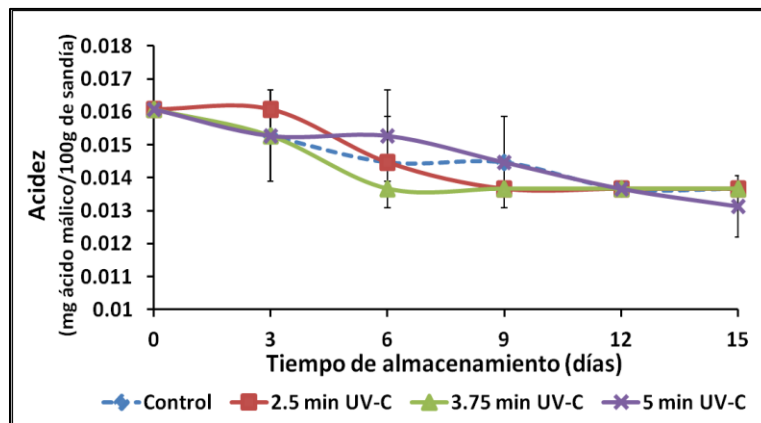


Figura 37. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la acidez de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Para el día 15 se mostraron valores de 0.0136 mg de ácido málico/100g de sandía para los expuestos a luz UV-C por 2.5, 3.75 y el control, mientras que para el desinfectado por 5 min fue de 0.0131 mg de ácido málico/100g de sandía, lo cual



indica que la acidez manifestó una tendencia descendente, ya que los cubos de sandía presentaron una reducción de 15.0 y 18.1% de acidez, respectivamente, durante el periodo de evaluación.

El análisis estadístico no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la acidez de los tratamientos de estudio durante el periodo de almacenamiento. Por lo tanto, los tiempos de 2.5, 3.75 y 5 min de desinfección mantuvieron la acidez de los cubos de sandía, debido a que no afectó el ácido málico contenido en esta fruta, lo que indica que presentó un efecto favorable para el producto.

Los datos obtenidos concuerdan con el estudio realizado por López-Rubira *et al.* (2007), con granada desinfectada con luz UV-C ya que se encontró una pequeña disminución de la acidez total respecto al valor inicial para todos los tratamientos durante el almacenamiento. Los valores descendieron sin diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos.

Acorde a lo anterior se puede revelar que la acidez de la sandía mínimamente procesada no sufrió alteración por los diferentes tiempos de desinfección, por lo que se opta por utilizar 2.5 min de luz UV-C ya que a este tiempo de exposición se vio favorecido tanto este como parámetros anteriores.

### **5.1.2 Parámetros fisiológicos de sandía mínimamente procesada con distintos tiempos de desinfección con luz UV-C.**

#### **5.1.2.1 Contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.**

Por lo general, los bajos niveles de O<sub>2</sub> en combinación con niveles moderados a altos de CO<sub>2</sub> se aplican para extender la vida útil de los productos recién cortados y las condiciones de almacenamiento óptimas dependen de las características metabólicas del producto específico (Montero-Calderón *et al.*, 2008).





En la Figura 38 se observa que el contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza muestra una tendencia descendente durante los 15 días de almacenamiento, presentando una disminución de estos valores del 9.0, 13.7, 11.9 y 12.8% de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza para los controles y los desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min, respectivamente.

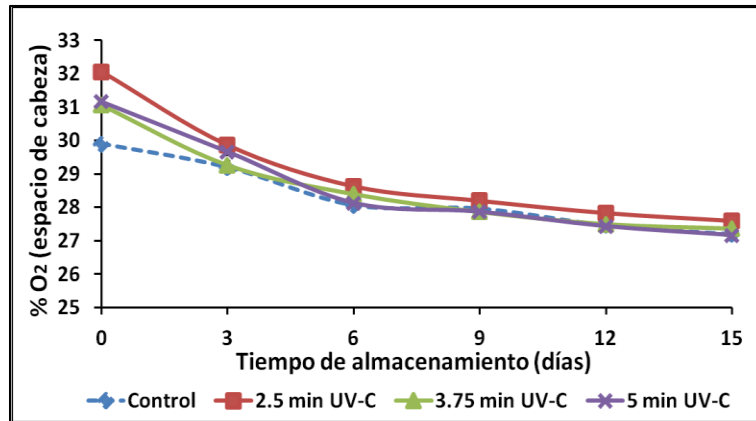


Figura 38. Efecto de diferentes tiempos de desinfección en la composición atmosférica de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Para el día 15, el contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza del empaque de la sandía mínimamente procesada desinfectada por 2.5 min con luz UV-C presentó valores de 27.6% siendo estos trozos los que mostraron 1.4% menor disminución de este parámetro con respecto al resto de los expuestos a luz UV-C por 3.75 y 5 min y el control, mostrando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza entre estos tratamientos y los primeros.

De acuerdo con los estudios realizados por Montero-Calderón *et al.* (2008), con piña recién cortada mostraron que el contenido de O<sub>2</sub> del espacio de cabeza disminuyó durante el tiempo de almacenamiento, mostrando un patrón decreciente sin alcanzar una concentración de equilibrio durante el almacenamiento. Los cambios lentos de composición O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza lo atribuyen a la baja



tasa de respiración de la piña a 5 °C, y la baja proporción de peso de la fruta a volumen del recipiente utilizado (1g:10mL).

Con base en los resultados anteriores es posible concluir que la aplicación de luz UV-C sobre los trozos de sandía tiene un efecto favorable, ya que los tiempos de desinfección empleados no conllevan a un aumento en el consumo de O<sub>2</sub>, mostrando que los cubos de sandía expuestos a 2.5 min presentaron mayor contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza. Con respecto al CO<sub>2</sub> en el espacio de cabeza, no se presentó ningún cambio durante los 15 días de almacenamiento manteniendo así un valor constante de 0.5% de CO<sub>2</sub> (resultados que no se muestran).

### **5.1.3 Parámetros microbiológicos de sandía mínimamente procesada con distintos tiempos de desinfección con luz UV-C.**

La actividad microbiana es la principal causa de deterioro de los alimentos mínimamente procesados y, en la mayoría de los casos, es la responsable de la pérdida de calidad y salubridad (Márquez-Villacorta *et al.*, 2012).

#### **5.1.3.1 Coliformes totales.**

Los coliformes totales son considerados como un indicador de calidad higiénica de los alimentos, ya que un elevado nivel de contaminación por coliformes, son a causa de inadecuadas prácticas de manufactura respecto a la manipulación durante la preparación (Campuzano *et al.*, 2015).

El efecto de los diferentes tiempos de desinfección (2.5, 3.75 y 5 min) con luz UV-C sobre la carga microbiana de coliformes totales se pudo observar hasta el día 12 de almacenamiento, en donde se apreció que la fase del crecimiento microbiano fue 43.5 y 31.0%, respectivamente menor en los fragmentos de sandía que tuvieron un tratamiento de desinfección en comparación con los trozos de sandía control, los cuales, presentaron un máximo conteo de coliformes de 5.42 log



UFC/g en este día (Tabla 14), por lo que se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de coliformes totales entre los cubos control y el resto de los tratamientos.

Al final del almacenamiento (día 15) los fragmentos de sandía sometidos a luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min tuvo 17.0, 12.8 y 5.7% respectivamente menos carga microbiana, en comparación con los trozos de sandía control, encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el conteo de coliformes totales entre los cubos desinfectados con luz UV-C por 2.5 y 3.75 min con los demás tratamientos.

Tabla 14. Recuento de coliformes totales en sandía mínimamente procesada desinfectada a tres tiempos con luz UV-C.

Log UFC/g de Coliformes totales						
Tratamiento	Tiempo almacenamiento (días)					
	0	3	6	9	12	15
Control	<10	<10	<10	<10	5.42±0.17 <sub>c</sub>	6.32±0.02 <sub>c</sub>
2.5 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.06±0.23 <sub>a</sub>	5.24±0.23 <sub>a</sub>
3.75 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.74±0.29 <sub>b</sub>	5.51±0.04 <sub>a</sub>
5 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.76±0.08 <sub>b</sub>	5.96±0.04 <sub>b</sub>

<10 en la dilución  $10^{-2}$ .

Los valores dentro de una columna seguida de una letra de subíndice igual, indica que los valores no son significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ).

El efecto de la luz UV-C en la disminución de los coliformes totales se fundamenta en que la inactivación microbiana reside en el daño que causa al ADN y generar así mutaciones que bloquean la replicación celular, la cual si no es reparada conduce a la muerte celular (Rivera-Pastrana *et al.*, 2007).

De acuerdo a las normas de la Unión Europea, los límites de tolerancia permitidos para productos mínimamente procesados en el día de su producción son 2 log UFC/g (Vázquez-Maya, 2013), por lo que en el presente trabajo estuvieron por debajo del límite ya que no presentaron carga microbiana durante 9 días tanto en el control como en todos los tratamientos.



Sin embargo, conforme a los resultados obtenidos se puede decir que los fragmentos de sandía expuestos a la luz UV-C por 2.5 min fue el tratamiento más efectivo para el control de estos microorganismos ya que a los días 12 y 15 de evaluación presentó menor cantidad de estos microorganismos.

### 5.1.3.2 Mesófilos aerobios.

En este grupo se incluyen todas las bacterias capaces de desarrollarse a 35°C +/- 2°C en las condiciones establecidas. En este recuento se estima la microflora total sin especificar tipos de microorganismos, refleja la calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima (Campuzano *et al.*, 2015).

La Tabla 15 muestra el conteo de bacterias mesófilas aerobias en la sandía mínimamente procesada tras haber sido desinfectada por 2.5, 3.75 y 5 min con luz UV-C y el control, en la cual se observa que hubo presencia de UFC hasta el día 12 del periodo de evaluación, mostrando un incremento de 47.2, 32.0, 36.1 y 12.9% log UFC/g al día 15, y para este día los trozos de sandía sometidos a luz UV-C por 3.75 min mostraron 9.3% menor carga de microorganismos que las muestras tratadas por 2.5 y 5 min con luz UV-C (1.7 y 3.8%) con respecto al control, por lo que se mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga de bacterias mesófilas entre todos los tratamientos.

Tabla 15. Recuento de mesófilos aerobios en sandía mínimamente procesada desinfectada a tres tiempos con luz UV-C.

Log UFC/g de Mesófilos aerobios						
Tratamiento	Tiempo almacenamiento (días)					
	0	3	6	9	12	15
Control	<10	<10	<10	<10	5.46±0.03 <sub>c</sub>	6.27±0.02 <sub>c</sub>
2.5 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.25±0.03 <sub>a</sub>	6.16±0.02 <sub>b,c</sub>
3.75 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.87±0.04 <sub>b</sub>	5.69±0.12 <sub>a</sub>
5 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.85±0.10 <sub>b</sub>	6.03±0.11 <sub>b</sub>

<10 en la dilución 10<sup>-2</sup>.

Los valores dentro de una columna seguida de una letra de subíndice igual, indica que los valores no son significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ).



Estudios realizados por Artés-Hernández *et al.* (2010), Fonseca y Rushing (2006), y Manzocco *et al.* (2011a), reportaron una mayor disminución en el crecimiento de mesófilos aerobios durante el periodo de almacenamiento en cubos de sandía y manzana respectivamente, tratados con luz UV-C, comparando con una muestra control, este comportamiento se lo atribuyen al daño sobre las células microbianas. Es bien sabido que la exposición de luz UV-C puede perturbar las células microbianas que afectan a la adaptación al sustrato.

Por otro lado Fonseca y Rushing (2006), menciona que la luz puede provocar una respuesta de estrés a la superficie de la sandía recién cortada. En los estudios citados se muestra que la luz UV-C es un tratamiento positivo como método de desinfección con el inconveniente de que puede existir un aumento de microorganismos durante el almacenamiento debido a los daños en el tejido provocados en el producto.

Estos datos no sólo confirman la eficacia de desinfección con tratamientos de luz UV-C, sino que también indican la capacidad de promover una mayor estabilidad microbiana durante el almacenamiento, lo que lleva a una vida útil más larga. En este sentido, algunos países europeos han adoptado criterios microbiológicos específicos. En particular, España, Francia y Alemania han establecido 7 log UFC/g en forma de un límite máximo para el recuento de mesófilos aerobios en frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Manzocco *et al.*, 2011a).

Con respecto a lo anterior, la cantidad de microorganismos presentes en la sandía mínimamente procesada está dentro de los límites, tanto de los controles como de los expuestos a luz UV-C durante todo el período de almacenamiento (15 días). A pesar de estar dentro de lo permitido, el tratamiento que mostró mayor efectividad en la reducción de estos microorganismos fue el de 3.75 min con luz UV-C.



### 5.1.3.3 Mohos y levaduras.

Estos microorganismos se pueden encontrar ampliamente distribuidos en la naturaleza, formando parte de la flora normal de un alimento o como agentes contaminantes de estos. Un pequeño porcentaje de levaduras aproximadamente un 25.0% pueden alterar los alimentos causando su deterioro debido a la utilización de carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos, originando un mal olor alterando el sabor y color en la superficie de los productos contaminados, además permiten el crecimiento de bacterias patógenas (Campuzano *et al.*, 2015).

En la Tabla 16 se puede notar que a partir del día 12 de almacenamiento los análisis microbiológicos revelaron el recuento de mohos y levaduras los cuales fueron incrementando en los cubos de sandía con el transcurso del almacenamiento. Para este día los trozos de sandía desinfectados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min presentaron 34.7, 22.3 y 21.9% menor carga de microorganismos respectivamente en comparación al control, encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en este parámetro de los fragmentos de sandía control con respecto a los expuestos a luz UV-C. Asimismo se puede observar que en la transición del día 12 al 15 de almacenamiento hay un aumento del 22.8, 40.3, 32.2 y 34.3% para los trozos de sandía control y los tratados con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min, respectivamente.

Tabla 16. Recuento de mohos y levaduras en sandía mínimamente procesada desinfectada a tres tiempos con luz UV-C.

Log UFC/g de Mohos y levaduras						
Tratamiento	Tiempo almacenamiento (días)					
	0	3	6	9	12	15
Control	<10	<10	<10	<10	4.98±0.02 <sub>c</sub>	6.47±0.04 <sub>c</sub>
2.5 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.25±0.03 <sub>a</sub>	5.45±0.10 <sub>a</sub>
3.75 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.87±0.04 <sub>b</sub>	5.71±0.09 <sub>a,b</sub>
5 min UV-C	<10	<10	<10	<10	3.89±0.04 <sub>b</sub>	5.92±0.10 <sub>b</sub>

<10 en la dilución 10<sup>-2</sup>.

Los valores dentro de una columna seguida de una letra de subíndice igual, indica que los valores no son significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ).



Al final del almacenamiento los cubos de sandía sometidos por 2.5, 3.75 y 5 min a luz UV-C dejaron ver 15.8, 11.7 y 8.5 % menos contenido de mohos y levaduras respectivamente en relación al control, por lo que para este día se mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en este parámetro entre los primeros trozos de sandía con relación a los segundos.

Este comportamiento se debe a que los tratamientos con luz UV-C inactivan los microorganismos principalmente debido a la inducción de la formación de dímeros de pirimidina que alteran las hélices de ADN y los bloques de replicación de las células microbianas, que destruyen la capacidad de reproducción y otras funciones de la célula (Márquez-Villacorta y Pretell-Vásquez, 2013).

Los resultados del presente estudio concuerdan con Beltrán *et al.* (2010), Márquez-Villacorta *et al.* (2012), Manzocco *et al.* (2011b), Sgroppo y Sosa (2009), que realizaron trabajos con fresa, carambola, melón y zapallo anco respectivamente, mencionan que encontraron menor actividad microbiana de mohos y levaduras en los tratamientos con luz UV-C a lo largo del almacenamiento con respecto al control.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es posible indicar que la sandía mínimamente procesada desinfectada con luz UV-C todavía a los 15 días de almacenamiento cumple con 6 log UFC/g (Pérez-Pérez y López-Malo, 2011), establecidos como límite para estos microorganismos en fruta mínimamente procesada, dejando ver que estos tiempos de exposición brindan un efecto positivo para el control de mohos y levaduras.



## 5.2 Efecto de recubrimientos a base de gnetina y carragenina a diferentes concentraciones en sandía mínimamente procesada.

### 5.2.1 Parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada con recubrimientos comestibles.

#### 5.2.1.1 Color.

El aspecto visual es uno de los factores principales utilizados por el consumidor al momento de comprar un producto; y el color es una parte importante de este, que además se utiliza en muchos estándares de clasificación como criterio de calidad, factor por el cual el consumidor determine su consumo o no (Padrón-Pereira y Padrón-León, 2012).

##### 5.2.1.1.1 Luminosidad.

En la Figura 39 se observa que la luminosidad de la sandía mínimamente procesada tanto recubierta como la control decreció durante el periodo de estudio (15 días) manifestando una disminución del 15.2, 23.9, 12.1, 14.0 y 19.0% en la luminosidad de los cubos de sandía controles, los recubiertos con gnetina (0.5 y 1.0%) y carragenina (0.5 y 1.0%), respectivamente.

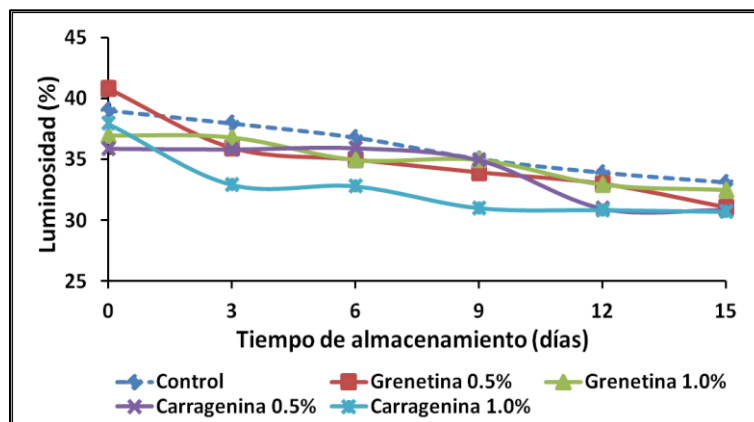


Figura 39. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la luminosidad de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.





Al final del almacenamiento (día 15) la luminosidad de la sandía mínimamente procesada recubierta con carragenina (0.5 y 1.0%) mostró 6.8 y 7.2% menor luminosidad en comparación con los cubos de sandía control, así mismo, los recubiertos con grenetina (0.5 y 1.0%) presentaron 6.2 y 1.8% menos luminosidad con respecto a los trozos de sandía sin tratamiento (control) por lo que hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la luminosidad de los cubos de sandía por el uso de las diferentes matrices así como de la concentración empleada.

Lo anterior concuerda con el estudio de Benítez *et al.* (2014), donde se observó que los valores de luminosidad de la piña recién cortada tendieron a disminuir en todos los tratamientos durante los 15 días de almacenamiento, sin embargo, los cubos de piña control obtuvieron valores por encima de los recubiertos con alginato y quitosan. Por otro lado los resultados obtenidos difieren con el trabajo de Sipahi *et al.* (2013), en donde se halló que no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la luminosidad de la sandía mínimamente procesada tanto control como en las recubiertas con alginato durante los 15 días de almacenamiento.

Así mismo en investigaciones realizadas con fresas recubiertas con mucílago de penca de sábila y cera de carnaúba (Restrepo y Aristizábal, 2010), se encontró que en todos los casos hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) por efecto de los factores tiempo y tratamiento debido al oscurecimiento de la piel del fruto ( $<L$ ), por la oxidación y la pérdida de humedad que sufrieron las fresas durante los 10 días de evaluación, esto se pudo dar por efecto del factor tiempo, diferencias que se atribuyen a la pérdida de humedad a lo largo del período de almacenamiento ocasionada, probablemente, por fenómenos biológicos propios de los tejidos vegetales, como la transpiración. Sin embargo, al final del almacenamiento la aplicación de recubrimiento comestible no afectó la luminosidad de las fresas con respecto a la muestra control.



De acuerdo con lo anterior se infiere que la luminosidad de la sandía mínimamente procesada recubierta con grenetina a 1.0% es la que se acercó más al comportamiento de las muestras control ya que conservó mejor el brillo sobre la superficie de los trozos de sandía que el resto de los tratamientos.

### 5.2.1.1.2 Tono (°Hue).

El tono o matiz, se refiere a aquella característica que permite clasificar un color como rojo, amarillo, verde o azul, y está relacionado con las diferencias de absorbancia/transmitancia de la energía radiante a diferentes longitudes de onda, en otras palabras es el atributo cualitativo del color (González-Cárdenas, 2010).

En la Figura 40 se ilustra el comportamiento descendente del °Hue de la sandía mínimamente procesada durante los 15 días de almacenamiento mostrando una disminución del 32.8, 23.1, 30.5, 21.3 y 24.2% para los fragmentos control y los recubiertos por grenetina con 0.5 y 1.0%, carragenina a 0.5 y 1.0%, respectivamente.

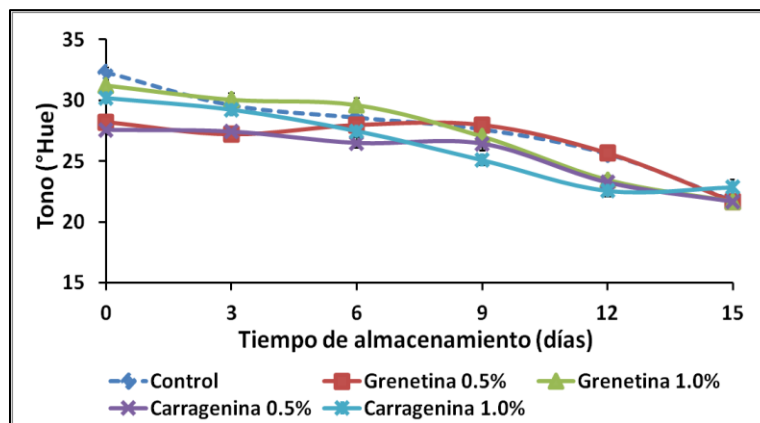


Figura 40. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en el tono de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al inicio del almacenamiento (día 0) los cubos de sandía recubiertos a concentraciones de 0.5% de grenetina y carragenina tuvieron una diferencia de



tono del 12.7 y 14.7% menor en relación al control, mientras que los tratados con 1.0% de grenetina y carragenina presentaron un 3.4 y 6.6% menos. Por lo que se encontró que tanto en la concentración como en el polímero empleado existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el tono de la sandía mínimamente procesada en todos los tratamientos.

Para el día 15 de estudio el análisis estadístico no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el tono de los cubos de sandía recubiertos con carragenina con respecto a los trozos de sandía control y los tratados con grenetina, esto en relación a la matriz utilizada. En cuanto a la concentración empleada tampoco se encontró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el tono de los trozos de sandía mínimamente procesada inmersos a 1.0% con respecto a los recubiertos a 0.5% y el control.

Los resultados que se obtuvieron de la presente investigación son análogos a los estudios de Oms-Oliu *et al.* (2008), acerca de peras recién cortadas recubiertas con alginato, gelana y pectina, en el cual mostró una disminución sustancial en los valores de °Hue, asociado con el desarrollo de pardeamiento en las peras control y recubiertas recién cortadas. Así mismo en trabajos realizados con fresas recubiertas con mucílago de penca de sábila y cera de carnaúba (Restrepo y Aristizábal, 2010), ocurrió una disminución en el tono, el cual probablemente se debió a un aumento de la actividad respiratoria y a los procesos enzimáticos que dieron como resultado una pérdida de calidad por pardeamiento oxidativo.

A partir de los datos obtenidos se concluye que la aplicación de recubrimientos comestibles a base de grenetina y carragenina no retuvo el color original de las muestras ni el desarrollo de pigmentaciones oscuras durante los 15 días de evaluación, sin embargo, la concentración a 0.5% tuvo efecto positivo sobre las propiedades del color en la sandía mínimamente procesada ya que mantuvo constantes los valores de tono hasta los 9 días de almacenamiento.



### 5.2.1.1.3 Croma.

También llamado saturación o pureza, describe el grado o la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión o transmisión a una determinada longitud de onda; es considerado el atributo cuantitativo de la cromaticidad (González-Cárdenas, 2010).

Los cambios de la saturación en la sandía mínimamente procesada recubierta y control se pueden observar en la Figura 41, en la cual se puede percibir que no presentaron una tendencia como tal, sino algunas variaciones en los valores a lo largo del almacenamiento, a excepción de los fragmentos de sandía sometidos a 1.0% de carragenina, lo cuales mostraron una tendencia decreciente de pureza indicando una disminución del 26.0%, en cambio los recubiertos a 0.5% y 1.0% de grenetina y carragenina al 0.5% sus valores aumentaron y disminuyeron conforme a los días, por lo que las muestras del día 0 en comparación al día 15 de evaluación de la sandía mínimamente procesada manifestaron un sutil descenso de saturación del 1.4, 8.2, 4.8% respectivamente, por otro lado las muestras control manifestaron un ligero incremento del 3% de cromaticidad en los cubos de sandía.

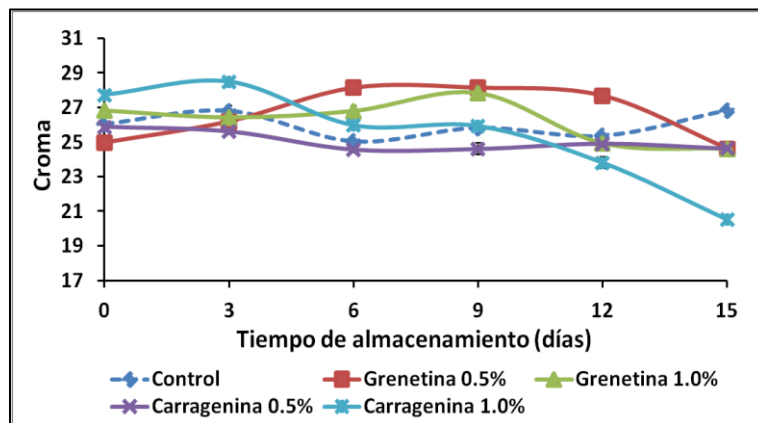


Figura 41. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en el croma de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.



Al inicio del almacenamiento (día 0) la sandía mínimamente procesada recubierta con carragenina al 1.0% y gretina al 1.0% tuvieron 6.1 y 2.9% mayor cromaticidad respectivamente en relación a los cubos de sandía control, mientras que los tratados con carragenina y gretina a 0.5% mostraron 0.6 y 4.1% menor saturación respectivamente en comparación al control, por lo que existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pureza de los cubos de sandía tanto en el empleo del polímero como la concentración utilizada en comparación al control.

Los fragmentos de sandía con mayor saturación al día 15 de almacenamiento fueron los cubos de sandía control (26.83), seguidos de los recubiertos por gretina a 0.5% y 1.0% (24.61), y carragenina a 0.5% (24.62), mientras que los trozos recubiertos con carragenina a 1.0% (20.52) presentaron la menor saturación encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la cromaticidad entre los cubos de sandía control, los tratados con gretina y con carragenina, igualmente se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) de este parámetro con respecto a las concentraciones (0.5 y 1.0%) de gretina y carragenina utilizadas en relación a los controles.

La presente investigación concuerda con Benítez *et al.* (2014), en donde se halló que el croma se mantuvo durante los 15 días de almacenamiento en las muestras de piña mínimamente procesada control y en las recubiertas con quitosano, mientras que en las muestras tratados con alginato la saturación disminuyó. Por otra parte en estudios realizados por Pereira-Moreira *et al.* (2014), se encontró que al final de la conservación (día 15) el melón mínimamente procesado con recubrimiento de quitosano mostró valores de cromaticidad por debajo de las muestras no recubiertas. Dichos autores indicaron que la saturación disminuyó la translucidez del producto como consecuencia de un trastorno fisiológico caracterizado por una pulpa oscura y vidriosa.



Teniendo en cuenta los resultados adquiridos se puede expresar que los recubrimientos a base de grenetina (1.0%) y carragenina (0.5%) conservaron la pureza del color de la sandía mínimamente procesada ya que retardo el pardeamiento hasta el día 9 y 15 de almacenamiento respectivamente.

### 5.2.1.2 Firmeza.

La firmeza, “resistencia a la deformación mediante la aplicación de una fuerza” es el atributo más frecuentemente utilizado para definir la textura de la fruta. Muchas normas y organizaciones comerciales utilizan una medida de la firmeza como índice absoluto de una calidad de fruta aceptable, ya que a menudo, la firmeza se identifica con la fresca y la pérdida de firmeza es un aspecto fundamental para quienes intentan mejorar la vida comercial de la fruta (Knee, 2007).

Los cubos de sandía control como los recubiertos con grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0% revelaron un descenso de la firmeza durante los 15 días de evaluación y tal comportamiento se ilustra en la Figura 42, en la cual se aprecia que hubo una disminución de este parámetro del 13.5% para los fragmentos de sandía control, 22.7 y 20.2% para grenetina a 0.5 y 1.0%, y 20.6 y 26.1% para carragenina a las mismas concentraciones.

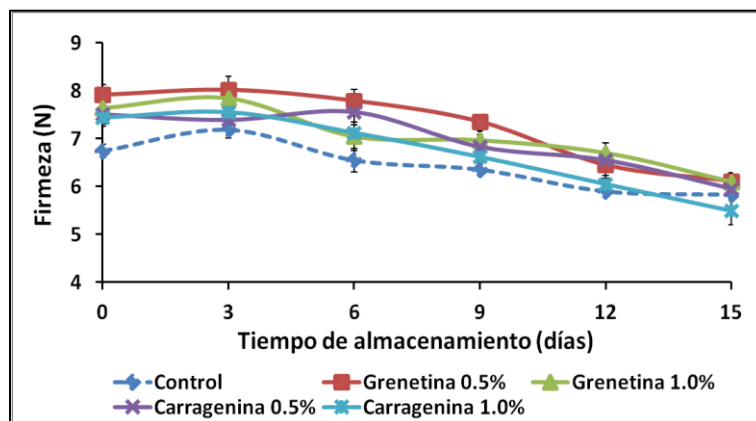


Figura 42. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la firmeza de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.



Al inicio de la evaluación (día 0) los cubos de sandía que dejaron ver los valores más bajos de firmeza fueron los control (6.7 N), mientras que los trozos de sandía recubiertos con grenetina a 0.5 y 1.0% presentaron los valores más altos de este parámetro seguidos por los tratados con carragenina a 0.5 y 1.0%, por lo cual los fragmentos de sandía presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de este fruto en cuanto al uso de la matriz como de la concentración empleada.

Dussan-Sarria *et al.* (2014), mencionó que la heterogeneidad en los frutos y la falta de uniformidad en la estructura interna del material biológico provocada por la dificultad de homogenizar inicialmente en la experimentación frutos con idéntico grado de maduración, promueve desviaciones en los valores de firmeza en diferentes materias primas de origen biológico, por lo que esto puede explicar la diversidad en los valores de firmeza obtenidos el día 0 y durante los primeros 3 días de almacenamiento.

Al día 15 de evaluación los trozos de sandía recubiertos con carragenina a 1.0% mostraron 5.8% menor firmeza en comparación con los cubos de sandía control, por otro lado los trozos de sandía sometidos a grenetina 0.5 y 1.0% y carragenina 0.5% indicaron 4.5, 4.7 y 2.0% respectivamente mayor firmeza con relación al control, por lo que se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de los cubos de sandía entre las concentraciones (0.5% con relación a 1.0% y el control) y la matriz aplicada (control y carragenina con respecto a la grenetina).

Al igual que en el presente trabajo, en el estudio efectuado por Sipahi *et al.* (2013), con sandía mínimamente procesada hallaron que las muestras recubiertas fueron más firmes que los controles (no recubiertos) al final del almacenamiento, así mismo autores como Pereira-Moreira *et al.* (2014), Mantilla *et al.* (2013), Lopes-Carvalho *et al.* (2016), Chong *et al.* (2015), Brasil *et al.* (2012), Narsaiah *et al.* (2015), Azarakhsh *et al.* (2014b), y Tapia *et al.* (2008), concuerdan con el mismo resultado en sus frutos de estudio.



Varios autores han reportado el efecto benéfico de la incorporación de cloruro de calcio en recubrimientos sobre la retención de la firmeza de la fruta recién cortada, especialmente aquellos productos que presentan un debilitamiento sustancial de los tejidos (Oms-Oliu *et al.*, 2008), ya que el cloruro de calcio reacciona con el ácido péctico en la pared celular para formar pectato de calcio que fortalece la unión molecular entre los componentes de las paredes celulares (Azarakhsh *et al.*, 2014a), por lo que el calcio puede retrasar la degradación de los polímeros de la pared celular mediante la reticulación de las pectinas, los componentes importantes de la pared celular y lámina media, para formar sales insolubles que forman enlaces iónicos entre moléculas de pectina (Olivas *et al.*, 2007).

Sin embargo, los resultados de este estudio concuerdan con Oms-Oliu *et al.* (2008), en donde se muestra que la textura de peras recién cortadas tanto recubiertas como las muestras control presentaron la misma tendencia durante el período de almacenamiento y, por tanto, el uso de cloruro de calcio no influyó para mantener la firmeza de la fruta. Por lo que la disminución de firmeza de la sandía mínimamente procesada se podría atribuir principalmente a la senescencia y a la degradación del tejido de la pared celular ya que se produce con la solubilización y la despolimerización de las sustancias pécticas, así como la pérdida de humedad de la muestra (Olivas *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2015).

Con base en los resultados anteriores es posible indicar que los trozos de sandía recubiertos con carragenina a 0.5 y 1.0% en sinergia con cloruro de calcio no fue capaz de preservar la firmeza, por otra parte los trozos de sandía recubiertos con grenetina a 0.5 y 1.0% presentan mejor retención de la firmeza durante el almacenamiento, destacando los recubiertos a 1.0% ya que mostraron menor pérdida de este parámetro durante el periodo de evaluación al igual que los trozos de sandía control.





### 5.2.1.3 Pérdida de peso.

La pérdida de peso es un índice de una deshidratación vegetal, proceso debido a la transpiración y que implica la transferencia de agua de la célula a la atmósfera ambiente (Wang *et al.*, 2015).

Los trozos de sandía con y sin recubrimiento registraron una pérdida de peso en ascenso con respecto al tiempo de almacenamiento (Figura 43), ya que se presentó un aumento del 4.8, 4.8, 4.2, 4.6 y 4.5% de pérdida de este parámetro para los fragmentos de sandía control y los inmersos en grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0%, respectivamente.

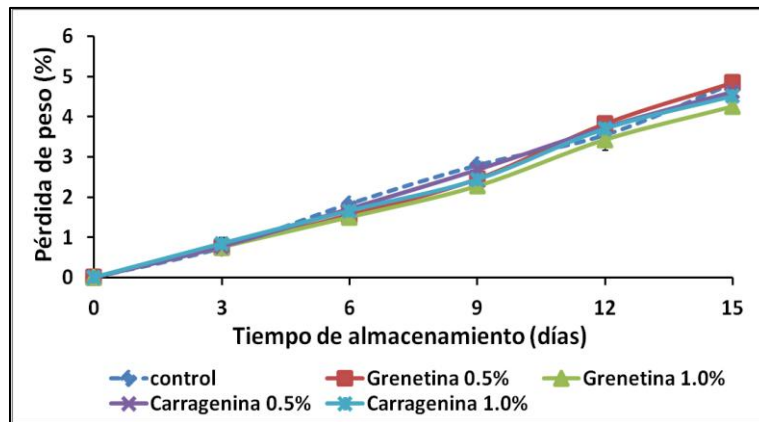


Figura 43. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la pérdida de peso de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Durante el periodo de estudio únicamente en los días 6 y 9 de evaluación se encontró que los cubos de sandía control y los recubiertos con carragenina a 0.5 y 1.0% en relación a los recubiertos con grenetina a 0.5 y 1.0% presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso de la sandía mínimamente procesada en el polímero utilizado, y en cuanto a la concentración empleada en los trozos de sandía se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso de la sandía mínimamente procesada control y la recubierta a 0.5% con respecto a los trozos de sandía inmersos a 1.0%.



Los fragmentos de sandía que presentaron menor pérdida de peso al final del almacenamiento fueron los sometidos con grenetina a 1.0% con un 12.0% menos pérdida de este parámetro seguidos de los recubiertos con carragenina a 0.5 y 1.0% con un 4.6 y 4.5% menos respectivamente en relación al control y a los tratados con grenetina a 0.5%, sin embargo, para este día no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la pérdida de peso de la sandía mínimamente procesada tanto del polímero como de la concentración utilizada.

Los resultados del presente trabajo concuerdan con Lopes-Carvalho *et al.* (2016), donde encontraron que la pérdida de peso fue similar tanto en el melón fresco cortado recubierto con quitosano como en el control durante los 15 días de almacenamiento, por lo que indicaron que no se vio afectada la evaporación de agua a partir del tejido de la fruta, lo que justificó la pérdida de masa, por lo que este parámetro no se vio beneficiado por el efecto del recubrimiento. Dichos resultados se los atribuyeron a la eficacia del recubrimiento de quitosano, ya que manifestaron que la reducción de la pérdida de agua depende de su peso molecular y aditivos. Por otro lado estudios realizados por Poverenov *et al.* (2014), en melón fresco cortado recubierto con grenetina muestra menor pérdida de peso durante el almacenamiento, aunque al final no hay diferencia entre los recubiertos y el control.

Por el contrario Sipahi *et al.* (2013), y Narsaiah *et al.* (2015), encontraron que hubo una pérdida de peso significativa en las muestras con y sin recubrimiento, siendo más prominente la pérdida de este parámetro el caso del control en comparación con los trozos de sandía y papaya mínimamente procesada recubiertos con alginato a diferentes concentraciones durante el almacenamiento. Dicha reducción del porcentaje de pérdida de peso se la atribuyeron al aumento de la concentración de alginato debido la naturaleza sacrificial de este, ya que el agua se evapora del recubrimiento en lugar del tejido de la fruta durante el almacenamiento.



De acuerdo a los resultados obtenidos, no se generó un efecto como tal por parte de los recubrimientos a base de gretina y carragenina a 0.5 y 1.0% sobre la sandía mínimamente procesada durante el periodo de evaluación, sin embargo, destacaron los trozos de sandía tratados con 1.0% de gretina ya que manifestaron menor pérdida de peso durante el almacenamiento, pese a que entre los recubiertos y el control no tuvieran diferencia.

#### 5.2.1.4 Liberación de líquido.

La liberación de líquido es un parámetro que se encuentra relacionado con la firmeza del fruto, ya que si el tejido celular resulta dañado, el primer indicio es la pérdida de líquido y/o solutos del fruto (Navarrete, 2009), convirtiéndose así en una manera de evaluar la eficacia del tratamiento de recubrimiento sobre la conservación y la calidad de los frutos recién cortadas (Wang *et al.*, 2015).

En la Figura 44 se ilustra el comportamiento progresivo del desprendimiento de líquido de los trozos de sandía control y recubiertos con gretina y carragenina a 0.5 y 1.0% mostrando un aumento de liberación de líquido del 19.1, 27.4, 34.4, 28.6 y 21.4% respectivamente del día 0 hasta los 15 días de almacenamiento.

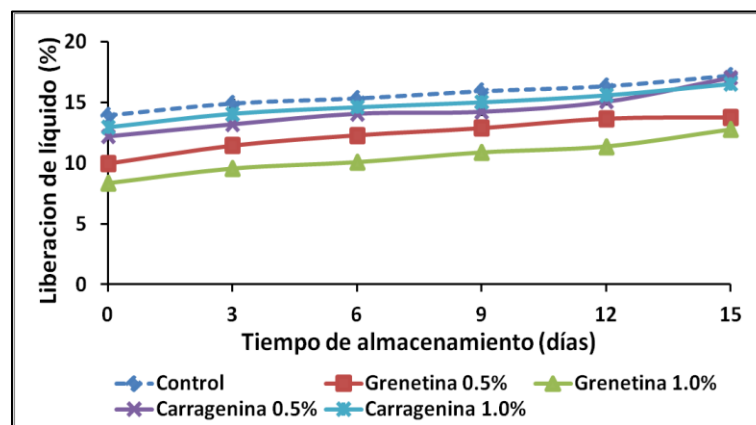


Figura 44. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.



Los fragmentos de sandía evaluados en el día 0 revelaron que los tratados con gretina a 0.5 y 1.0% presentaron los valores más bajos (9.9 y 8.3%), seguidos de los recubiertos con carragenina a 0.5 y 1.0% (12.1 y 12.9%), mientras que los trozos de sandía control manifestaron los valores más altos (13.9%), por lo que estadísticamente se encontró que tanto en la matriz como en la concentración designada hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada en todos los tratamientos.

Al final del periodo de evaluación los trozos de sandía recubiertos con gretina y carragenina a 0.5 y 1.0 presentaron respectivamente 20.1, 26.0, 1.0 y 4.1% menor desprendimiento de líquido en comparación a los cubos de sandía control, encontrándose diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada en todos los tratamientos con respecto a la concentración y a la goma aplicada.

Los resultados de la presente investigación concuerdan con Mantilla *et al.* (2013), quienes estudiaron piña recién cortada recubierta con alginato y pectina, en donde encontraron que las muestras control perdieron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) más líquido durante el almacenamiento que los frutos recubiertos, sin embargo, la cantidad de líquido de ambos aumentó a medida que transcurrieron los días. Esto también se debió a una degradación de la pared celular provocada por la solubilización y despolimerización de las sustancias pécticas, haciendo que el fruto perdiera su firmeza permitiendo precisamente la liberación de líquido, lixiviando sustancias químicas propias del fruto (González-Olmos y Guzmán-Morfín, 2011).

Con base en lo anterior, se puede decir que el recubrimiento a base de gretina a 1.0% aplicado a los trozos de sandía, favoreció a que el desprendimiento de líquido fuera menor, y en consecuencia disminuyera la liberación de líquido de la sandía mínimamente procesada.



### 5.2.1.5 Sólidos solubles totales (SST).

El contenido de sólidos solubles actúa como estimador del contenido azúcar en las frutas, ya que ésta representa más del 90% de la materia soluble en la mayoría de ellos (Martínez-Navarro, 2011).

Los SST de los fragmentos de sandía recubiertos con grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0% y los control mostraron una tendencia creciente con respecto a los 15 días evaluación, ya que presentaron un incremento del 7.8, 7.0, 8.1, 8.0 y 8.9% de SST respectivamente (Figura 45).

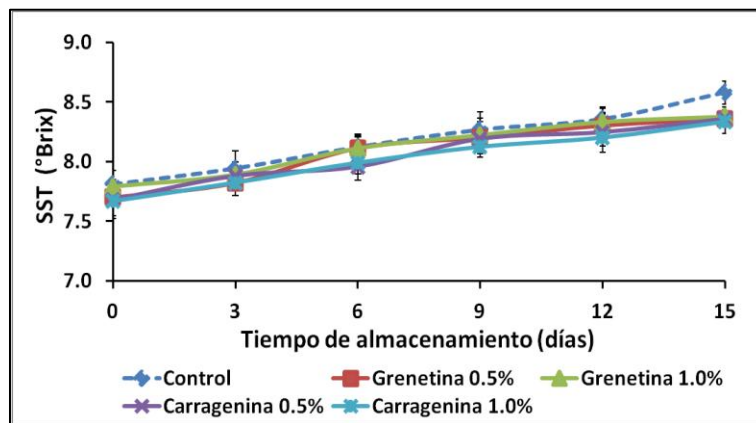


Figura 45. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en los sólidos solubles totales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del almacenamiento los trozos de sandía control (8.57°Brix) presentaron un contenido de SST mayor que a los recubiertos por grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0 % indicando una diferencia del 2.6, 2.3, 2.6 y 2.8% menos respectivamente. El análisis estadístico mostró que los cubos de sandía control presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los SST con relación a los fragmentos de sandía del resto de los tratamientos en cuanto a la concentración y matriz empleada.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son afines con investigaciones realizadas con plátano mínimamente procesado recubierto con carragenina (Bico



*et al.*, 2009), en donde hallaron que el control presentó 5.5% mayor contenido de SST que los recubiertos; ambos mostraron un incremento durante el tiempo de almacenamiento, sin embargo, los recubiertos mostraron valores por debajo del control.

Así mismo, en el estudio elaborado con papaya mínimamente procesada recubierta con alginato también exhibió un incremento en el contenido de SST el cual fue de 3.8 veces mayor en las muestras control en comparación con las muestras recubiertas. El aumento en el contenido de SST lo atribuyen a la maduración y senescencia de la fruta debido a la solubilización de los hidratos de carbono más altos en otros más simples, por lo que en las muestras no recubiertas se dio una mayor maduración durante el almacenamiento (Narsaiah *et al.*, 2015).

Por otro lado, en trabajos realizados con piña mínimamente procesada recubierta con alginato y pectina encontraron que la piña al ser una fruta no climatérica su contenido de azúcar no cambió drásticamente durante su vida útil (Mantilla *et al.*, 2013), por lo que posiblemente se encontró explicación en el proceso normal de senescencia de los frutos, porque los azúcares resultantes de la hidrólisis de la sacarosa se utilizan como sustrato en reacciones metabólicas de respiración (Restrepo y Aristizábal, 2010).

A partir de los datos adquiridos se concluye que el efecto en los SST por los diferentes tratamientos con gretina y carragenina a 0.5 y 1.0% aplicados a la sandía mínimamente procesada fue mínimo en comparación con los trozos control, por lo que los SST del fruto no se vieron comprometidos por el empleo de los recubrimientos durante el almacenamiento.



### 5.2.1.6 pH.

El pH presente en el alimento es el resultado de los sistemas amortiguadores naturales que predominen en el mismo. Los alimentos son llamados ácidos cuando sus valores de pH son menores a 4.5, los alimentos no ácidos son aquellos que tienen rangos de pH mayores (Martínez-Navarro, 2011).

El pH de los cubos de sandía recubiertos con grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0% revelaron un aumento del 14.6% (5.32 a 6.23), 14.8% (5.36 a 6.29), 18.3% (5.27 a 6.45) y 16.4% (5.39 a 6.45) respectivamente durante el periodo de evaluación, mientras que los valores de pH de los trozos de sandía control fueron de 5.34 a 6.31, por lo que hubo un incremento del 15.4% al cabo de los 15 días de almacenamiento (Figura 46).

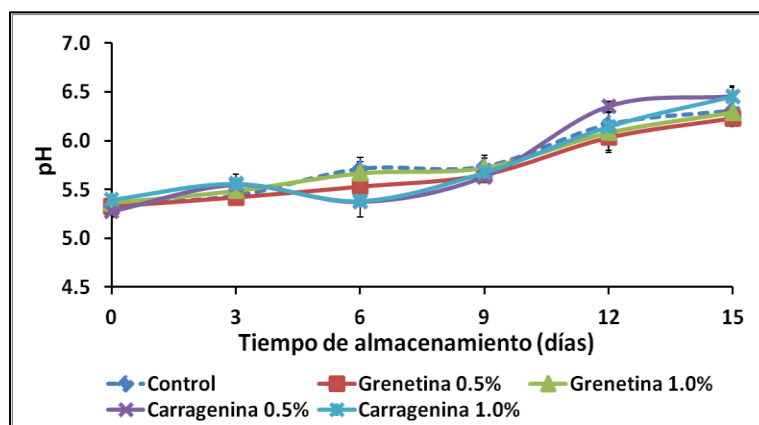


Figura 46. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en el pH de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del período de estudio los cubos de sandía inmersos en carragenina a 0.5 y 1.0% indicaron valores de pH 2.2% mayores que el control, por el contrario los fragmentos de sandía tratados con grenetina a 0.5 y 1.0% presentaron 1.2 y 0.3% valores menores de este parámetro respectivamente con relación al control. Estadísticamente no existió diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el pH de los trozos de sandía control y los recubiertos en cuanto al uso de las diferentes



concentraciones, mientras que en la aplicación de grenetina con respecto a la carragenina si existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el pH de los fragmentos de sandía, sin embargo, ambos no presentan diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) de este parámetro con los trozos de sandía control.

Los resultados del presente estudio coinciden con Trejo-Márquez *et al.* (2007), en donde no se registró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en los valores de pH entre las fresas recubiertas con grenetina y los controles; así como también el recubrimiento con quitosano no afectó el pH del melón mínimamente procesado (Pereira-Moreira *et al.*, 2014), por lo que los valores para todas las muestras control y recubiertas se mantuvieron constantes a finales del estudio. Por otro lado en estudios realizados por Azarakhsh *et al.* (2014a), indican que el pH mostró ligeros cambios durante los 16 días de almacenamiento, por lo que el pH de las muestras recubiertas a base de gelana (3.84) fue más bajo con un 4.7% menos que el pH de las muestras no recubiertas (4.03).

Por el contrario, en trabajos con plátano mínimamente procesado el pH aumentó tanto en las muestras control como en las recubiertas con carragenina (Bico *et al.*, 2009), sin embargo, al final de almacenamiento los valores de pH del plátano recubierto estuvieron por debajo de los control (lo opuesto al presente estudio). Los autores expresaron que no hubo una relación directa entre el pH y la acidez debido a la variación de la capacidad de amortiguación de los ácidos orgánicos presentes en la muestra, aunque en general, más altos niveles de ácido en la fruta a menudo se asocian con un menor valor de pH y viceversa. Esto se fundamentó en la maduración de las frutas debido a que los ácidos orgánicos de reserva presentes en las vacuolas, son transformados por la célula a azúcares que serán utilizados para la respiración celular, lo que ocasiona una disminución de la acidez del medio y con ello un aumento del pH (Álvarez-Arenas *et al.*, 2013).





Los resultados revelaron que el tratamiento con grenetina (0.5 y 1.0%) no modificó el pH de sandía mínimamente procesada por lo que conservó las mismas características que los trozos de sandía control.

### 5.2.1.7 Acidez.

En la Figura 47 se puede apreciar que la acidez de la sandía mínimamente procesada control (0.0159-0.0214 mg de ácido málico/100g de sandía) así como de los recubiertos con grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0% (0.0158-0.0187 y 0.0159-0.0201 mg de ácido málico/100g de sandía) adquirieron un incremento del 25.7, 15.5, 20.9% respectivamente, por lo cual se observó una tendencia ascendente del día 0 hasta el día 15 de estudio.

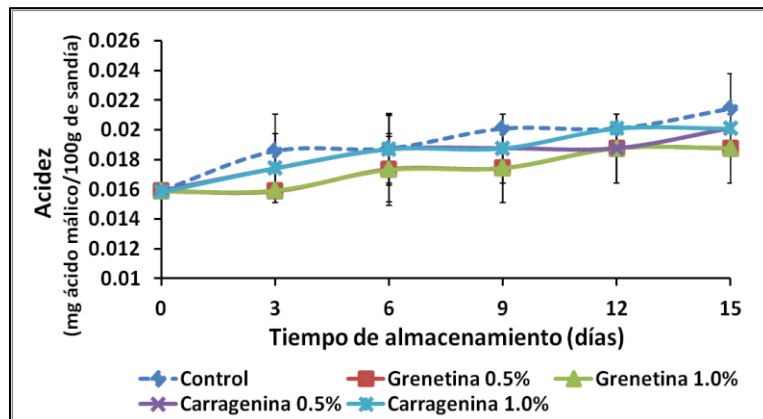


Figura 47. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en la acidez de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del almacenamiento los fragmentos de sandía control indicaron 12.6 y 6.1% mayor acidez en relación a los trozos de sandía recubiertos por grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0% respectivamente, a pesar de esto, durante los 15 días de evaluación no existió diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la acidez de los cubos de sandía control con respecto los recubiertos en cuanto al tipo de matriz y concentración utilizada.



Los resultados obtenidos de la presente investigación son semejantes con los estudios realizados por Dussan-Sarria *et al.* (2014), con mango mínimamente procesado recubierto con almidón de yuca donde se encontró que los valores de acidez de las muestras recubiertas eran menores que las no recubiertas, por lo que al final del período de almacenamiento ambas mostraron valores elevados de acidez debido a la disminución de la intensidad respiratoria o consecuentemente menor consumo de ácidos orgánicos (etapa de senescencia).

Por otro lado Chong *et al.* (2015), trabajó con melón mínimamente procesado y encontró que la acidez de las muestras control fue mayor comparada con las recubiertas con quitosano ya que estas sólo aumentaron ligeramente su acidez durante los 13 días de almacenamiento. Dichos autores sugirieron que el aumento de acidez pudo ser causado por el incremento de la respiración y la producción de altos niveles de CO<sub>2</sub>, lo que afectó a los sistemas de enzimas glucolíticas y dio lugar a acumulación de ácidos.

De acuerdo con lo anterior se infiere que no hay un efecto en la acidez por el empleo de los recubrimientos comestibles formados con grenetina y carragenina (0.5 y 1.0%) ya que los trozos de sandía con recubrimiento presentaron el mismo comportamiento que los cubos de sandía control, por lo que probablemente su sabor característico también fue semejante.

### **5.2.2 Parámetros microbiológicos de sandía mínimamente procesada con recubrimiento comestible.**

El crecimiento de los microorganismos se ve favorecido por la ruptura de las paredes celulares en las operaciones como el pelado, troceado, etc., y la consiguiente liberación de nutrientes al exterior (Lobo y González, 2003).



### 5.2.2.1 Coliformes totales.

La inocuidad es uno de los factores más importantes a considerar para la conservación de alimentos mínimamente procesados (Bico *et al.*, 2009), debido a su efecto directo sobre la salud del consumidor (Narsaiah *et al.*, 2015).

El comportamiento de los microorganismos presentes en la sandía mínimamente procesada control y recubierta se ilustra en la Tabla 17, en la cual se observa que a partir del día 6 de estudio hubo presencia de 2.15 log UFC/g de coliformes totales en los trozos de sandía control, por el contrario los recubiertos con grenetina y carragenina a 0.5 y 1.0% presentaron UFC/g después de este día, por lo que hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de los trozos de sandía control con respecto al resto de los tratamientos en relación al polímero y concentración utilizada.

Tabla 17. Recuento de coliformes totales en sandía mínimamente procesada con diferentes recubrimientos comestibles.

Log UFC/g de Coliformes totales			
Tratamiento	Tiempo almacenamiento (días)		
	0	6	12
Control	<10	2.15±0.21 <sup>*b, °b</sup>	2.30±0.0 <sup>*b, °b</sup>
Grenetina 0.5%	<10	<10 <sup>*a, °a</sup>	2.15±0.21 <sup>*a, °b</sup>
Grenetina 1.0%	<10	<10 <sup>*a, °a</sup>	<10 <sup>*a, °a</sup>
Carragenina 0.5%	<10	<10 <sup>*a, °a</sup>	2.38±0.12 <sup>*c, °b</sup>
Carragenina 1.0%	<10	<10 <sup>*a, °a</sup>	3.60±0.03 <sup>*c, °a</sup>

<10 en la dilución 10<sup>-2</sup>.

\*= significancia con respecto a la matriz empleada.

°= significancia con respecto a la concentración utilizada.

Al día 12 de almacenamiento los cubos de sandía recubiertos con grenetina a 0.5% presentaron 2.15 log UFC/g de coliformes totales, es decir 6.5% menos carga microbiana que los fragmentos de sandía control, mientras que los trozos de sandía tratados con carragenina 0.5 y 1.0% manifestaron 2.38 y 3.60 log UFC/g de coliformes totales, indicando más microorganismos con un 3.4 y 36.1% respectivamente. Por el contrario los cubos de sandía recubiertos por grenetina a



1.0% siguieron sin presentar carga microbiana; por lo que en el empleo de la matriz como de la concentración existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de los trozos de sandía en todos los tratamientos.

Al igual que en el presente estudio Sipahi *et al.* (2013), trabajó con sandía mínimamente procesada pero utilizando un recubrimiento de alginato, el cual demostró que fue efectivo ( $p \leq 0.05$ ) en la inhibición de la población inicial de coliformes y para el día 12 la aplicación del recubrimiento inhibió significativamente el crecimiento de coliformes en aproximadamente 1.5 log UFC/g en comparación con el control (5.85 log UFC/g). De igual modo Bico *et al.* (2009), encontró que al final del almacenamiento los lotes de plátano mínimamente procesado control presentaron la mayor cantidad de microorganismos, mientras que los recubiertos con carragenina presentaron un recuento bajo de UFC/g (resultados contrarios al presente trabajo).

Por otra parte en investigaciones realizadas con fresas recubiertas con grenetina (Trejo-Márquez *et al.*, 2007), se observó que al inicio del almacenamiento las fresas con recubrimiento a diferentes concentraciones no manifestaron presencia de coliformes, mientras que las fresas sin recubrimiento presentaron 270 UFC/g, por lo que sugirieron que la efectividad de la desinfección en las fresas tratadas logró inhibir el crecimiento microbiano atribuyéndole mayor calidad e inocuidad al producto listo para su consumo prolongando su vida útil, y a su vez, el recubrimiento logró aislar al fruto ya limpio y desinfectado, haciendo un efecto físico de barrera impidiendo la contaminación del producto.

Acorde a lo anterior se puede indicar que el empleo de un recubrimiento comestible elaborado con grenetina a 1.0% fue efectivo en la sandía mínimamente procesada, ya que no manifestó presencia microorganismos a los 12 días de almacenamiento.



### 5.2.2.2 Mesófilos aerobios.

En la Tabla 18 se puede observar que para el día 6 de estudio la sandía mínimamente procesada control y recubierta con grenetina a 0.5% manifestó 3.69 y 2.53 log UFC/g de mesófilos aerobios, mientras que los cubos recubiertos con grenetina a 0.5% y carragenina a 0.5 y 1.0% no tuvieron presencia de microorganismos; de modo que por el polímero y la concentración utilizada se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de la sandía mínimamente procesada en todos los tratamientos.

La sandía mínimamente procesada recubierta con grenetina a 1.0% a los 12 días de estudio siguió sin presentar carga microbiana, por otro lado los recubiertos por grenetina a 0.5% y carragenina a 0.5 y 1.0% presentaron 23.9, 30.7 y 0.48% menos log UFC/g de mesófilos aerobios en comparación a los trozos de sandía control. Para este día el análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de la sandía mínimamente procesada en todos los tratamientos en cuanto a la matriz y concentración aplicada.

Tabla 18. Recuento de mesófilos aerobios en sandía mínimamente procesada con diferentes recubrimientos comestibles.

Log UFC/g de Mesófilos aerobios			
Tratamiento	Tiempo almacenamiento (días)		
	0	6	12
Control	<10	3.69±0.06 <sup>*c, °c</sup>	4.10±0.0 <sup>*c, °c</sup>
Grenetina 0.5%	<10	2.53±0.08 <sup>*b, °b</sup>	3.12±0.06 <sup>*a, °b</sup>
Grenetina 1.0%	<10	<10 <sup>*b, °a</sup>	<10 <sup>*a, °a</sup>
Carragenina 0.5%	<10	<10 <sup>*a, °b</sup>	2.84±0.0 <sup>*b, °b</sup>
Carragenina 1.0%	<10	<10 <sup>*a, °a</sup>	4.12±0.0 <sup>*b, °a</sup>

<10 en la dilución 10<sup>-2</sup>.

\*= significancia con respecto a la matriz empleada.

°= significancia con respecto a la concentración utilizada.

Los resultados del presente trabajo coinciden con las investigaciones de Sipahi *et al.* (2013), con sandía mínimamente procesada recubierta con alginato donde se encontró que la población de mesófilos aerobios aumentó con el tiempo de



almacenamiento en las muestras de sandía mínimamente procesada tanto control como en las recubiertas, debido principalmente al alto contenido de humedad de sandía, aunque el recubrimiento (1 y 2 g/100g de alginato) inhibió de manera efectiva su crecimiento al día 15.

De manera análoga el trabajo efectuado por Raybaudi-Massilia *et al.* (2008), con melón recién cortado recubierto con alginato se observó un crecimiento más rápido de mesófilos aerobios en el melón no recubierto en comparación con el recubierto. Del mismo modo ocurrió en estudios realizados por Rojas-Graü *et al.* (2008), con recubrimientos a base de alginato y gelana en donde el recubrimiento comestible aplicado sobre las manzanas recién cortadas tuvo un marcado efecto en la reducción de los recuentos de mesófilos aerobios en comparación con los trozos de manzana sin recubrimiento. Así mismo los recubrimientos con alginato y pectina en piña recién cortada (Mantilla *et al.*, 2013), inhibieron el crecimiento de microorganismos aerobios por 2.7 log UFC/g en comparación con el no recubierto (5 log UFC/g) al final de la conservación.

Conforme a los resultados obtenidos se puede inferir que tanto la sandía mínimamente procesada recubierta con gretina y carragenina a 0.5 y 1.0% como las muestras control estuvieron dentro del límite de aceptación (6 log UFC/g) para productos listos para su consumo (Narsaiah *et al.*, 2015). No obstante, cabe señalar que la aplicación de recubrimiento comestible a base de gretina a 1.0% inhibió el crecimiento de microorganismos durante 12 días de almacenamiento.

### **5.2.2.3 Mohos y levaduras.**

Las frutas recién cortadas tienen una alta tasa de deterioro debido a que no hay protección de la piel tras la eliminación de la epidermis, durante el procesamiento mínimo se pierden las barreras físicas y químicas contra los microorganismos de putrefacción, mohos y levaduras, lo que resulta en una mayor tasa de



descomposición acortándose en gran medida la vida útil de frutas (Chong *et al.*, 2015).

En la Tabla 19 se puede ver el crecimiento exponencial de los microorganismos presentes en la sandía mínimamente procesada tanto control como la recubierta, dicho comportamiento indica que para el día 6 de evaluación los trozos de sandía control mostraron 2.47 log UFC/g de mohos y levaduras, mientras que los fragmentos recubiertos con grenetina a 0.5% y carragenina a 1.0% ambos presentaron 1.0 log UFC/g de mohos y levaduras, es decir 59.5% menor carga microbiana en comparación a los trozos de sandía control. Por el contrario los cubos de sandía recubiertos con grenetina 1.0% y carragenina 0.5% no tuvieron presencia de microorganismos. En cuanto a los polímeros y concentraciones aplicadas a la sandía mínimamente procesada recubierta, el análisis estadístico presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de los trozos de sandía control con respecto a los trozos de sandía recubierta.

Tabla 19. Recuento de mohos y levaduras en sandía mínimamente procesada con diferentes recubrimientos comestibles.

Log UFC/g de Mohos y levaduras			
Tratamiento	Tiempo almacenamiento (días)		
	0	6	12
Control	<10	2.47±0.0 <sup>b, °b</sup>	2.65±0.06 <sup>b, °a</sup>
Grenetina 0.5%	<10	1.0±1.41 <sup>a, °a</sup>	2.38±0.12 <sup>a, °b</sup>
Grenetina 1.0%	<10	<10 <sup>a, °a</sup>	2.0±0.0 <sup>a, °b</sup>
Carragenina 0.5%	<10	<10 <sup>a, °a</sup>	3.86±0.02 <sup>c, °b</sup>
Carragenina 1.0%	<10	1.0±1.41 <sup>a, °a</sup>	4.24±0.0 <sup>c, °b</sup>

<10 en la dilución 10<sup>-2</sup>.

\*=significancia con respecto a la matriz empleada.

°= significancia con respecto a la concentración utilizada.

A los 12 días de evaluación la sandía mínimamente procesada recubierta con carragenina a 0.5 y 1.0% (3.86 y 4.24 log UFC/g de mohos y levaduras) presentaron 31.3 y 37.5% mayor carga microbiana respectivamente en comparación a los trozos de sandía control (2.65 log UFC/g de mohos y



levaduras), y en relación a los fragmentos de sandía recubiertos con grenetina a 0.5 y 1.0% (2.38 y 2.0 log UFC/g de mohos y levaduras) mostraron respectivamente 10.2 y 24.5% menos microorganismos. Por lo que para este día se encontró que el polímero utilizado provocó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de la sandía mínimamente procesada en todos los tratamientos. Con respecto a las diferentes concentraciones empleadas en los recubrimientos de la sandía mínimamente procesada el análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la carga microbiana de los cubos de sandía control con relación a los trozos de sandía recubierta.

Los resultados obtenidos de la presente investigación son análogos a los estudios con piña recién cortada recubierta con gelana (Azarakhsh *et al.*, 2014a), y alginato (Azarakhsh *et al.*, 2014b), en donde se mostró que el recuento de mohos y levaduras aumentó significativamente ( $p \leq 0.05$ ) durante el almacenamiento para ambas muestras con y sin recubrimiento. Por el contrario en sandía mínimamente procesada recubierta con alginato (Sipahi *et al.*, 2013), tuvo un efecto drástico en el crecimiento de mohos y levaduras, el control tuvo significativamente ( $p \leq 0.05$ ) recuentos más altos (5.45 log UFC/g) en comparación con todas las muestras recubiertas, con una reducción de casi 4.0 log UFC/g.

De acuerdo al Instituto de la Ciencia y Tecnología en Alimentos (siglas en inglés, IFST 1999), el criterio microbiológico para considerar las frutas procesadas y refrigeradas como aceptables, es que el conteo de levaduras no debe ser mayor a 6 log UFC/g (Álvarez-Arenas *et al.*, 2013). Por lo que se concluye que tanto los recubrimientos aplicados a la sandía mínimamente procesada como el control están dentro de lo permitido. A pesar de esto, el recubrimiento de grenetina a 1.0% ofreció mayor efectividad en el control de los microorganismos.





### 5.2.3 Parámetros sensoriales de la sandía mínimamente procesada con recubrimiento comestible.

Los recubrimientos comestibles se consumen generalmente en frutas recién cortadas, por lo tanto, la calidad sensorial es esencial para determinar el éxito del uso de recubrimiento comestible en el mercado (Azarakhsh *et al.*, 2014a). Por lo que se evaluó la aceptabilidad del producto mínimamente procesado mediante un análisis sensorial apoyado en una escala hedónica verbal en los días: 0, 6 y 12 de estudio (Figura 48).

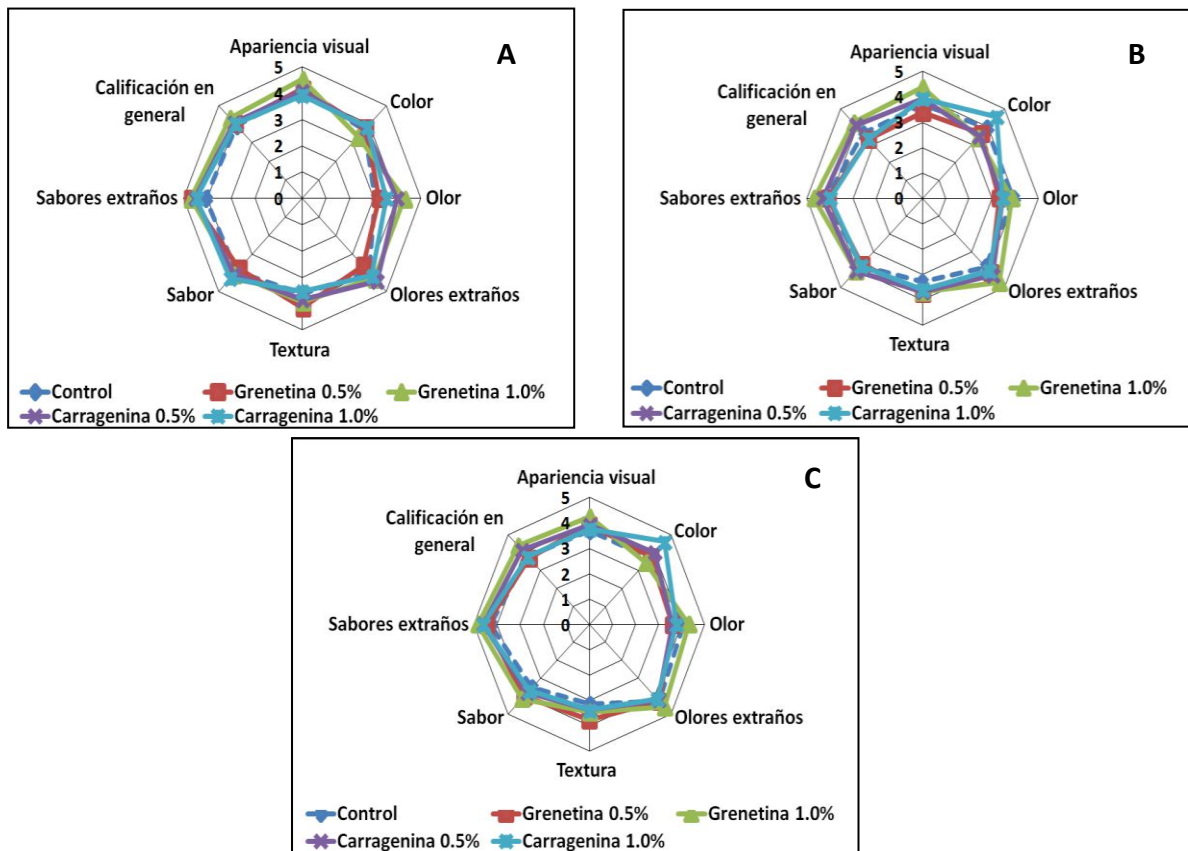


Figura 48. Efecto de diferentes recubrimientos comestibles en los parámetros sensoriales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 12 días. A) Día 0. B) Día 6. C) Día 12.

Al final del almacenamiento (Figura 48C) se ilustra el nivel de aceptación de los panelistas por cada atributo, sin embargo, los parámetros que se consideraron más relevantes fueron color, sabor, textura y calificación en general.



Por lo que se obtuvo que la sandía mínimamente procesada recubierta con carragenina a 1.0% mostró 20.0, 18.4, 25.0 y 13.2% mayor intensidad de color que los cubos de sandía control y los inmersos en gnetina a 0.5% y 1.0% y carragenina a 0.5% respectivamente. En relación al polímero empleado existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el color de los cubos de la sandía recubiertos con carragenina con respecto al control y a los recubiertos con gnetina. En cuanto a la concentración utilizada no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el color de la sandía mínimamente procesada con los diferentes tratamientos.

Por otra parte los cubos de sandía control e inmersos en gnetina a 1.0% y carragenina a 0.5 y 1.0% manifestaron respectivamente 16.2, 8.0 y 10.1% menor textura que los recubiertos con gnetina a 0.5%, en cuanto a la aplicación del polímero quedaron en dos grupos, el primero conformado por el control que presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la textura con el segundo grupo que lo conformaron los cubos de sandía recubiertos con gnetina y ambos grupos no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con los cubos de sandía inmersos en carragenina. Con respecto a la concentración empleada ocurre lo mismo ya que el control es el primer grupo el cual presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la concentración de 0.5% que viene siendo el segundo grupo, pero ambos grupos no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con la concentración de 1.0%.

En cuanto al sabor la sandía mínimamente procesada inmersa en gnetina a 1.0% presentó 15.0, 3.6, 8.2 y 11.1% mejor sabor que los cubos de sandía control, los recubiertos con gnetina a 0.5% y carragenina a 0.5 y 1.0% respectivamente. El análisis estadístico mostró que los cubos de sandía control mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el sabor con los cubos de sandía inmersos con concentraciones de 0.5 y 1.0% usadas. Con relación a la matriz empleada la sandía mínimamente procesada recubierta con gnetina presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el sabor con el control, pero ambas no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con los cubos de sandía inmersos en carragenina.



Con respecto a la matriz y concentración empleada en la sandía mínimamente procesada no existió diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la calificación en general, sin embargo, los cubos de sandía recubiertos con grenetina a 1.0% mostraron 14.2, 15.8, 5.3 y 14.2% mayor calificación que el control, los inmersos en grenetina a 0.5% y carragenina a 0.5 y 1.0% respectivamente.

Con base a los resultados obtenidos durante los diferentes días de evaluación el tratamiento que aportó un efecto benéfico en los parámetros sensoriales fue el recubrimiento de grenetina a 1.0%, debido a que conservó el color (rojo) y no se intensificó durante el almacenamiento, así mismo la textura se mantuvo firme (grenetina a 0.5 y 1.0%), también presentó mejor sabor (al día 12) y una calificación en general de 4-5 (muy buena) en la escala hedónica.

### **5.3 Caracterización de películas comestibles a base de grenetina a 1.0%.**

Es importante la evaluación de las propiedades físicas y de hinchamiento de los recubrimientos comestibles en forma de película para saber cómo éstas influyen en las características inherentes de los productos a los que se les aplicó dicho recubrimiento.

#### **5.3.1 Propiedades físicas (color, espesor y transparencia) de películas a base de grenetina a 1.0%.**

Entre las propiedades físicas más importantes para los recubrimientos comestibles se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases ( $O_2$ ,  $CO_2$  y etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Morales-Reyes, 2011). Las propiedades físicas de películas de grenetina dependen de la materia prima de donde proceden y de los procesos y condiciones de obtención. También dependen de los parámetros del proceso de elaboración de las películas: ingredientes de la formulación, de la adición o no de plastificantes y de la temperatura y tiempo de secado (Acosta-Dávila, 2014).



La evaluación del color es un parámetro de calidad importante para las posibles aplicaciones industriales de las películas comestibles, debido a que los consumidores a menudo asocian la calidad de los alimentos con aspectos como el brillo y color, los cuales pueden ser afectados por los recubrimientos y películas comestibles (Andrade-Pizarro, 2014). Entre los cuales se evaluó la luminosidad, tono y croma.

La luminosidad o brillo de las películas está ligado a la morfología de su superficie (Sánchez-González *et al.*, 2010), y en general, cuanto más lisa, menos irregular y menos rugosa es la superficie, más brillante es la película (Acosta-Dávila, 2014). En estudios efectuados por Andrade-Pizarro (2014), se encontró que conforme se incrementaba la concentración de gretina se producía una disminución en el parámetro de luminosidad debido a la mayor cantidad de sólidos que contienen las películas a medida que aumenta la concentración de gretina. Por otro lado en investigaciones realizadas por Alanis-López (2012), con películas de gretina al 8% (glicerol al 3%) reportó valores de luminosidad de 86-89%. Por lo que el presente trabajo no coincide con dichos datos ya que se obtuvieron valores de luminosidad (46.10%) muy por debajo de estos (Tabla 20).

Con respecto al tono y croma, Herrera-Vázquez *et al.* (2015), trabajó con películas de gretina al 3% (suero lácteo 10%, glicerol 3%, inulina 4%) las cuales presentaron un color amarillo claro, el cual se reflejó en los valores de °Hue entre 95.3-96.5 y croma de 6.0-9.3, mientras que en el presente estudio el °Hue fue de 86.07 y en cuanto a la saturación fue de 2.31, por lo que el valor obtenido fue menor con respecto a lo reportado por dicho autor. En un estudio realizado por Salinas-Salazar *et al.* (2015), menciona que las películas que presentan valores bajos de cromaticidad indican un color menos saturado y por lo tanto, se caracterizan por sus colores grisáceos, lo que podría afectar la apariencia visual del producto hortofrutícola al que se aplicaran en forma de recubrimiento.



Tabla 20. Propiedades físicas de películas a base de grenetina a 1.0%.

<b>Parámetro</b>	
<b>Luminosidad (%)</b>	46.10 ± 2.56
<b>Tono (°Hue)</b>	86.07 ± 2.11
<b>Croma</b>	2.31 ± 0.70
<b>Espesor (mm)</b>	0.0667 ± 0.0127
<b>Transparencia (nm/mm)</b>	29.16 ± 0.7475

Los valores muestran la media de treinta replicas ± desviación estándar.

La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica. El espesor de las películas influye significativamente sobre las propiedades de las mismas (Blanquicet-Macea *et al.*, 2015), por lo que su medición es importante ya que afecta las propiedades mecánicas y de barrera de las películas. Se ha encontrado una relación dependiente positiva entre la permeabilidad al vapor del agua y el espesor de los recubrimientos. Se considera que a medida que el espesor de los recubrimientos aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa. Otros autores atribuyen el efecto del espesor a cambios en la estructura del recubrimiento ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en el polímero (Morales-Reyes, 2011).

En investigaciones hechas por Aguilar-Méndez (2005), con grenetina-almidón a 1.0% (glicerol 0.5%); Patarroyo-Torres y Cárdenas-Rojas (2014), con grenetina a 2 y 4% y goma gelana a 0.5% (glicerol a 0.1%, tween 80 a 0.25%, aceite de canola a 0.025%, natamicina a 5mg/ml y caseína miscelar a 0.1% y 0.5%); Cozmuta *et al.* (2015), con grenetina a 4% (glicerol 0.6% y lecitina de soya 0.6%) y Alanis-López (2012), con grenetina a 8% (3% glicerol), obtuvieron un espesor de 0.0250, 0.0645, 0.182 y 0.232 mm respectivamente. De acuerdo a lo anterior el espesor del presente trabajo 0.0667mm se aproxima al segundo autor mencionado.



La transparencia de las películas presenta un impacto relevante en la apariencia del material donde se va aplicar (Ibargüen *et al.*, 2015). Este parámetro se cuantifica como transmitancia, porcentaje de intensidad lumínica que atraviesa la muestra. O sea que un material presenta transparencia cuando la transmitancia es alta ya que deja pasar fácilmente la luz (Miramont, 2012). La exposición a la luz visible y ultravioleta produce el deterioro oxidativo de los alimentos envasados, lo que lleva a la pérdida de nutrientes (vitaminas A, C y riboflavina), alteración del color y volatilización de sabores. Por ello, es necesario verificar la barrera a la luz que presentan las películas a longitudes de onda entre 350 y 600 nm, donde se presenta el mayor deterioro en los productos exhibidos en estanterías (Granada-Restrepo *et al.*, 2014).

El resultado obtenido difiere con el de Salinas-Salazar *et al.* (2015), quien trabajó con grenetina 0.5% (tween 0.9%, glicerol 0.5%, ácido oleico 0.5% y aceite esencial de tomillo 0.2 %) ya que obtuvo valores de transparencia de 1.20 nm/mm y el valor arrojado en la presente investigación fue de 29.16 nm/mm.

### **5.3.2 Hinchamiento.**

El porcentaje de hinchamiento revela el nivel de absorción de agua de las películas, el grado de hinchamiento de los materiales poliméricos depende en gran medida de la cantidad y la naturaleza de las interacciones intermoleculares de la cadena (Blanquicet-Macea *et al.*, 2015). Este parámetro nos dice cuánta agua pueden absorber las películas del ambiente o del alimento que recubren (Herrera-Vázquez *et al.*, 2015).

Cabe resaltar que el hinchamiento se encuentra relacionado con el grosor de la película, ya que entre más delgada sea esta, hay menos moléculas hidrofílicas disponibles para la absorción de moléculas de agua, de manera que el hinchamiento de estas ocurre mucho más rápido que en películas de mayor grosor, en donde hay un mayor número de moléculas hidrofílicas disponibles para



absorber la misma masa de moléculas de agua (Patarroyo-Torres y Cárdenas-Rojas, 2014).

En el trabajo desarrollado por Mu *et al.* (2012), con películas hechas de una mezcla con grenetina a 10% y carboximetilcelulosa a 1% (glicerol 0.5%) presentó un mínimo de hinchamiento de 151% (en 3 min), mientras que en la presente investigación fue de 118% (en 15 min) (Figura 49). Por otra parte en un estudio realizado por Aguilar-Lara (2006), menciona que es usual que los grados de hinchamiento de los hidrogeles aumenten en tiempos cortos y alcancen un hinchamiento máximo para tiempos largos.

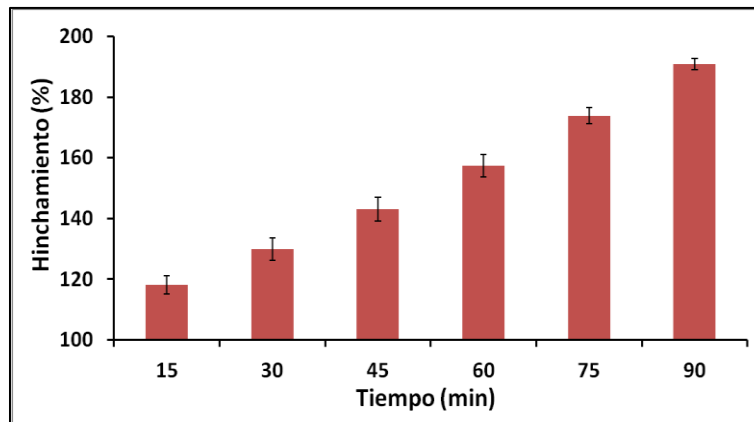


Figura 49. Caracterización de porcentaje de hinchamiento de películas comestibles de grenetina a 1.0%. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

El porcentaje de hinchamiento del recubrimiento en forma de película se puede relacionar con los parámetros de liberación de líquido y pérdida de peso debido a que dentro de los cubos de sandía se formó una red tridimensional entre la solución de recubrimiento a base de grenetina y el jugo del fruto; por lo que al encapsular el jugo disponible tanto al momento de la inmersión como durante el almacenamiento esto favoreció a que el porcentaje de liberación de líquido fuera menor y así evitar que el líquido desprendido se escapara en forma de vapor de agua por medio del envase y por tanto la pérdida de peso fuera menor.



## 5.4 Efecto del empleo de diferentes atmósferas modificadas en los parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada.

### 5.4.1 Parámetros de calidad de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas.

#### 5.4.1.1 Color.

##### 5.4.1.1.1 Luminosidad.

En la Figura 50 se observa que la luminosidad de la sandía mínimamente procesada envasada con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS mostró una tendencia decreciente durante los 15 días de evaluación, mostrando así una disminución del 11.1, 13.8, 19.8 y 15.3% respectivamente con relación del día 0 al 15 de estudio.

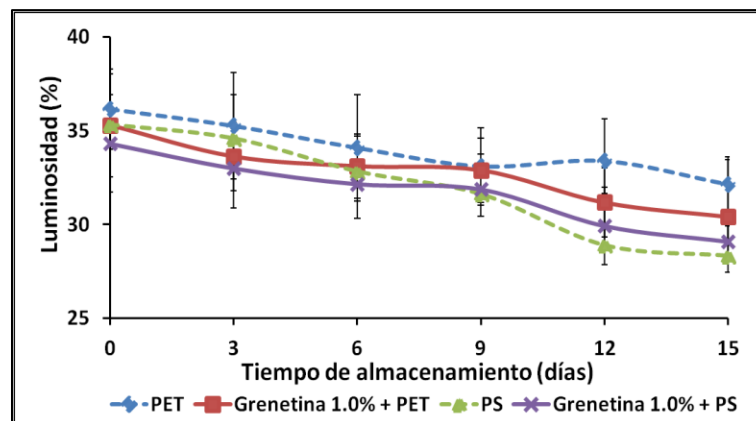


Figura 50. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la luminosidad de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

En el día 15 de evaluación la sandía mínimamente procesada envasada con PET (32.14%) mostró 5.4% mayor luminosidad que los trozos de sandía envasados con recubrimiento más PET, por el contrario los trozos de sandía envasados con PS presentaron 2.6% menor luminosidad que los envasados con recubrimiento más PS. Por otra parte los trozos de sandía envasados con PS y con recubrimiento más PS indicaron una diferencia de 11.9 y 9.5% menos luminosidad en relación a los trozos de sandía envasados con PET. Para este día el análisis estadístico





presentó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la luminosidad de los trozos de sandía de los diferentes tipos de envasado.

Los resultados del presente estudio concuerdan con Amaro *et al.* (2012), Dussán-Sarria *et al.* (2014), y Waghmare y Annapure (2013), quienes trabajaron con melón, mango y papaya mínimamente procesada respectivamente, donde se encontró que la luminosidad de los trozos de fruta disminuyó durante el almacenamiento tanto en la muestras control como en las tratadas.

Así mismo en el estudio de Dussán-Sarria *et al.* (2014), el mango mínimamente procesado control y recubierto con almidón de yuca y cera de carnaúba envasado con PET presentó los mayores valores de luminosidad durante el almacenamiento y el tratamiento que evidenció mayor pérdida de luminosidad fue el de mango acondicionado en bandeja de poliestireno (PS) con cloruro de polivinilo (PVC) sin recubrimiento comestible. Dicho comportamiento se lo atribuyen a que los recubrimientos comestibles a base de polisacáridos son una buena barrera a los gases, y con su utilización se logra disminuir la tasa de respiración y las actividades metabólicas, logrando así un retraso efectivo en el pardeamiento.

Con base en los resultados anteriores es posible indicar que la sandía mínimamente procesada envasada con PET con y sin recubrimiento presentó la mayor luminosidad durante los 15 días de estudio, especialmente los trozos envasados únicamente con PET, sin embargo, los trozos de sandía envasados con recubrimiento más PET se asemejaron a la tendencia de los trozos sin recubrimiento ya que preservó mejor el brillo que el resto de los tratamientos.

#### **5.4.1.1.2 Tono (°Hue).**

El tono de la sandía mínimamente procesada mostró un comportamiento decreciente durante los 15 días de estudio (Figura 51) indicando una disminución



de 26.8, 34.6, 31.4 y 25.0% del °Hue para los cubos de sandía envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS respectivamente.

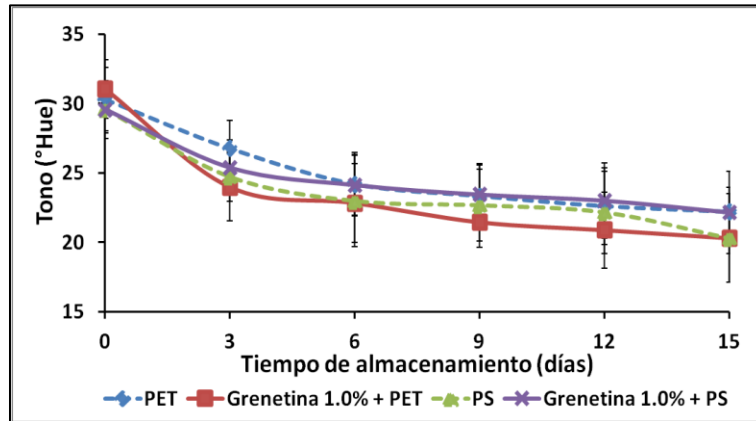


Figura 51. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en el tono de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del periodo de estudio los cubos de sandía envasados con PET (22.18 °Hue) y con recubrimiento más PS (22.17 °Hue) presentaron 8.5% mayor °Hue con respecto a los envasados con PS (20.30 °Hue) y con recubrimiento más PET (20.30 °Hue) por lo que existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el tono de los cubos de sandía de los primeros tratamientos con respecto a los últimos.

Lo anterior no concuerda con las investigaciones realizadas por Dussán-Sarria *et al.* (2014), con mango mínimamente procesado ya que los valores obtenidos de tono fueron muy cercanos y constantes en todos los tratamientos durante el almacenamiento, siendo el mango mínimamente procesado envasado bandeja de poliestireno (PS) más PVC el que menores valores del °Hue exhibió durante el almacenamiento con respecto al mango mínimamente procesado control y recubierto (almidón de yuca y cera de carnaúba) envasado con PET.

Acorde a lo anterior se puede expresar que los trozos de sandía envasados con PET y recubrimiento más PS presentaron menor desarrollo de pigmentaciones



oscuras durante el periodo evaluación por lo que sus valores de °Hue están por encima del resto de los tratamientos.

### 5.4.1.1.3 Croma.

Las variaciones en la pureza de la sandía mínimamente procesada se pueden ver en la Figura 52 en la cual se observa un descenso del 14.3, 31.4, 32.6 y 24.2% de la saturación en los fragmentos de sandía envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS respectivamente del día 0 al 15 de evaluación.

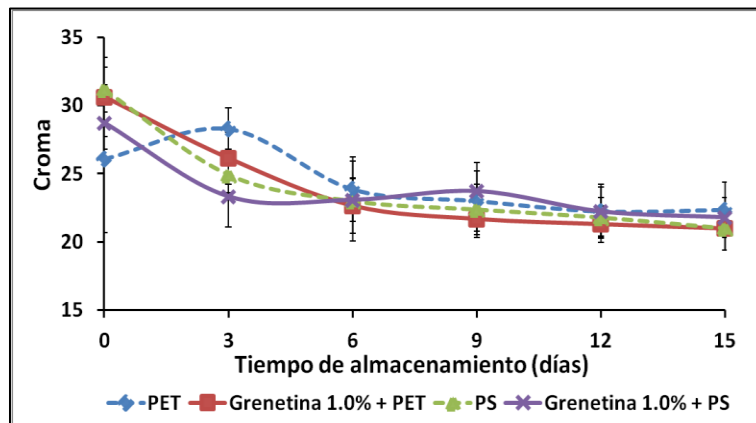


Figura 52. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en el croma de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Para el día 0 de almacenamiento el análisis estadístico mostró diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los fragmentos de sandía envasados con PS (31.15) y recubrimiento más PET (30.62) en relación a los envasados con recubrimiento más PS (28.72) y PET (26.08), ya que para este día manifestaron 7.8, 16.3% mayor pureza en los fragmentos de sandía de los primeros tratamientos con respecto a los últimos.

Al final del almacenamiento los trozos de sandía envasados con PET (22.35) mostraron 2.5 y 6.1% mayor pureza en relación a los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS (21.78), PS (20.99) y recubrimiento más PET (20.99)



respectivamente, por lo que para este día la pureza de los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET y PS presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la pureza de los trozos envasados con PET y recubrimiento más PS.

En el trabajo realizado por Dussán-Sarria *et al.* (2014), con mango mínimamente procesado se observó que los valores de croma se mantuvieron constantes con algunas variaciones durante el tiempo de almacenamiento sin presentar diferencia estadística entre los recubiertos (almidón de yuca y cera de carnaúba) y el control, destacando que el mango mínimamente procesado envasado en la bolsa de polietileno seguido por el PET con y sin recubrimiento comestible presentaron los mayores valores de croma durante todo el periodo de almacenamiento en comparación al resto de los tratamientos.

De acuerdo con lo anterior se infiere que fragmentos de sandía envasados en PET y los envasados con recubrimiento más PS presentaron los mayores valores de pureza con respecto al resto de los tipos de envasado, por lo que se ve reflejada una menor incidencia de pardeamiento.

Con el fin de que lo discutido anteriormente de forma individual tenga relación con las imágenes mostradas y sea más fácil de visualizar el comportamiento de los valores arrojados de luminosidad, tono y croma, en la Tabla 21 se ilustra la evolución del color de los fragmentos de sandía en los diferentes materiales de envases a lo largo del periodo de evaluación.



Tabla 21. Seguimiento fotográfico de la sandía mínimamente procesada en diferentes atmósferas modificadas.

Días	PET	Grenetina 1.0% + PET	PS	Grenetina 1.0% + PS
0				
3				
6				
9				
12				
15				

Debido a la naturaleza de la sandía la cual no es homogénea en el color de un mismo fruto no se logra percibir una diferencia como tal en el color, así mismo se puede apreciar que el desprendimiento de líquido se encuentra controlado, ya que tampoco se puede distinguir, lo cual se corrobora con dicha prueba más adelante.



### 5.4.1.2 Firmeza.

La pérdida de textura es el cambio más notable que se produce en frutas y verduras durante el almacenamiento prolongado, lo que está relacionado con los cambios metabólicos y contenido de agua (Rojas-Graü *et al.*, 2008).

La firmeza de la sandía mínimamente procesada envasada con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS presentó una tendencia decreciente con respecto al tiempo de almacenamiento, debido a que tal pérdida de firmeza fue de 14.4, 14.5, 13.7 y 9.0% respectivamente del día 0 al día 15 de estudio (Figura 53).

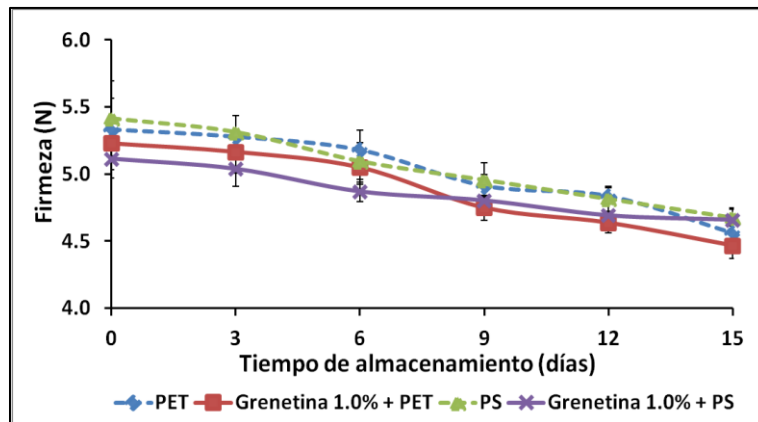


Figura 53. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la firmeza de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al inicio del almacenamiento los trozos de sandía que presentaron mayor firmeza fueron los envasados en PS (5.41 N) presentando 1.5, 3.5 y 5.5% trozos más firmes que los envasados con PET, recubrimiento más PET y recubrimiento más PS respectivamente. Para este día hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de los trozos de sandía envasados con recubrimiento más PS y recubrimiento más PET con respecto a los envasados con PS y PET.



Al final del estudio (día 15) se puede observar que los trozos de sandía envasados con PS (4.67 N) y PET (4.56 N) mostraron ligeramente (0.4% y 2.2%) mayor firmeza que los envasados con recubrimiento más PS (4.65 N) y recubrimiento más PET (4.46 N), sin embargo, los envasados con PS (con y sin recubrimiento) no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la firmeza de los trozos de sandía, por otra parte los envasados con PET y recubrimiento más PET sí mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de los trozos de sandía. También se puede ver que los trozos de sandía envasados con PS (con y sin recubrimiento) presentaron 2.2 y 4.3% mayor firmeza que los envasados con PET y recubrimiento más PET respectivamente mostrando una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la firmeza de los trozos de sandía del primer tratamiento con respecto a los segundos.

El presente trabajo no coincide con Dussán-Sarria *et al.* (2014), ya que en su estudio el tratamiento que mejor conservó la firmeza del mango mínimamente procesado (recubierto con almidón de yuca y cera de carnaúba) fue el envasado en PET, dicho autor indicó que esto pudo ser debido a la aplicación previa de cloruro de calcio, ya que el calcio incorporado a los tejidos del producto tuvo un efecto importante y positivo sobre los valores de la firmeza en el mango mínimamente procesado envasado en PET. Así mismo en el estudio realizado por Reyes-Chavarría *et al.* (2015), se observó que la papaya mínimamente procesada (recubierta con alginato y cloruro de calcio) envasada en PET (atmósfera pasiva) presentó mayor firmeza durante los 25 días del periodo de estudio en comparación con la papaya (sin recubrimiento) envasada con un film con alta barrera al oxígeno (atmósfera activa).

De acuerdo a los resultados obtenidos la sandía mínimamente procesada envasada con recubrimiento más PS fue la que mostró mayor retención de la firmeza durante el estudio en comparación con los demás tipos de envasado.



### 5.4.1.3 Pérdida de peso.

Los productos recién cortados son altamente susceptibles a la pérdida de peso debido a que los tejidos internos están expuestos y carecen de la piel (Steiner *et al.*, 2006). La pérdida de peso es casi similar a la pérdida de agua debido a otros componentes, como productos gaseosos de la respiración, aroma o sabor son prácticamente indetectables en términos de peso (Azarakhsh *et al.*, 2014a).

En la Figura 54 se ilustra el comportamiento ascendente de la pérdida de peso de los cubos de sandía envasados en PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS, los cuales mostraron un incremento del 1.30, 1.13, 0.37 y 0.27% respectivamente durante los 15 días del período de evaluación.

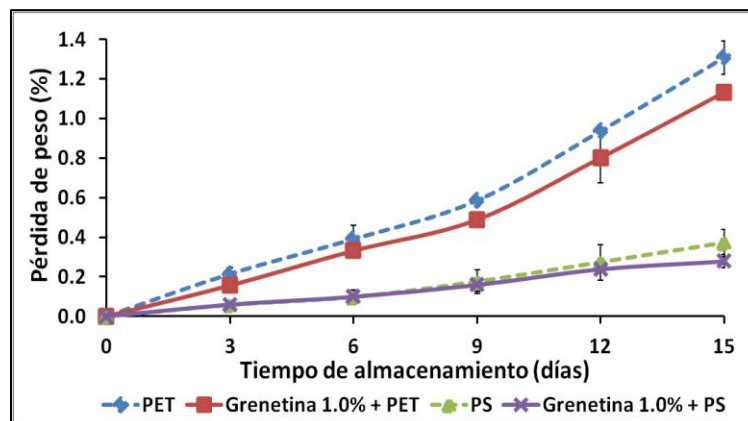


Figura 54. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la pérdida de peso de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Para el final del período de evaluación se nota claramente que la sandía mínimamente procesada envasada con PET (1.3%) mostró 71.5% mayor pérdida de peso que los envasados con PS (0.37%), por lo cual existió una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso, así mismo los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET (1.13%) presentaron 75.4% mayor pérdida de este parámetro que los envasados con recubrimiento más PS (0.27%)





presentando también diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de peso de los cubos de sandía envasados con estos materiales.

Por otra parte entre el mismo material empleado para envasar los cubos de sandía hubo una diferencia de 13.1% menos pérdida de peso en los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET que en los que solo se utilizó PET, por lo que existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la pérdida de este parámetro. De igual forma ocurrió con los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS ya que indicaron 24.9% menor pérdida de este parámetro en relación a los cubos envasados únicamente con PS. Sin embargo, entre estos no existió diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la pérdida de peso de la sandía mínimamente procesada.

En investigaciones realizadas por Vargas *et al.* (2010) con Pitahaya mínimamente procesada en atmósferas modificadas pasivas encontró que la pérdida de peso fue afectada significativamente por las atmósferas creadas y por los días de almacenamiento; aunque fue muy pequeña en todos los casos, ya que osciló en el rango de 0.42 y 0.39% para polietileno de baja densidad (PEBD) y polipropileno (PP) respectivamente, sin que diera lugar a una disminución significativa de la calidad de las rebanadas de Pitahaya, sin embargo fue en las rebanadas mantenidas en cloruro de polivinilo (PVC) donde se dio la mayor pérdida de peso, lo cual el presente autor concluyó que estaba asociado con la deshidratación debido la alta humedad relativa durante el almacenamiento y probablemente a la alta permeabilidad del PVC al vapor de agua. De igual forma comentó que en general, la pérdida de peso se incrementó progresivamente con el tiempo de almacenamiento, siendo mayor en las frutas empacadas con películas de PVC seguida del PEBD debido a una mayor actividad metabólica.

Acorde a lo anterior se puede indicar que los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS son la mejor opción para retener el vapor de agua y así



evitar la deshidratación del producto ya que manifestaron menor pérdida peso en relación a los envasados con PS y PET (con y sin recubrimiento).

#### 5.4.1.4 Liberación de líquido.

La sandía mínimamente procesada envasada con los diferentes materiales manifestó un incremento del 49.0, 45.4, 46.0 y 42.5% de liberación de líquido para los envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS respectivamente del día 0 hasta el 15 de evaluación (Figura 55).

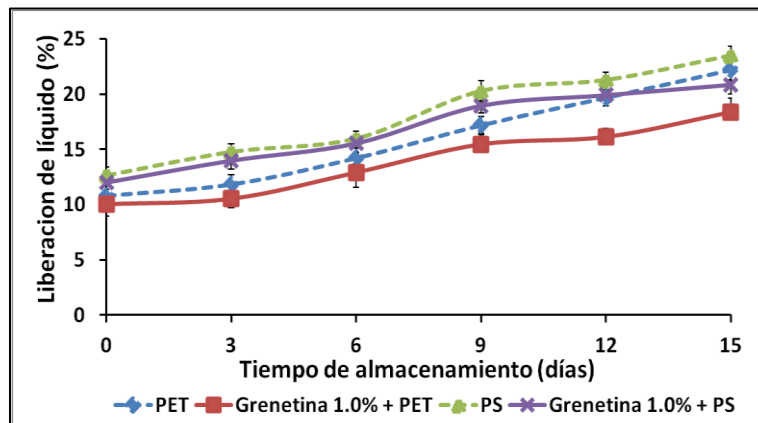


Figura 55. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la liberación de líquido de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Los cubos de sandía evaluados en el día 0 revelaron que los envasados con PS (12.7%) tuvieron 5.4, 14.8 y 21.0% mayor liberación de líquido comparados con los envasados con recubrimiento más PS (12.0%), PET (10.8%) y recubrimiento más PET (10.0%) respectivamente. Por lo que el análisis estadístico no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la liberación de líquido entre los cubos de sandía envasados con PET (con y sin recubrimiento), así como tampoco mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con los cubos de sandía envasados con PS (con y sin recubrimiento), de igual forma no existió diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre los cubos de sandía envasados con recubrimientos más PS y con PET, pero si



hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la liberación de líquido de los cubos de sandía de los primeros tratamientos con relación a los segundos y a los últimos.

Al final de la evaluación los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET mostraron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con el resto de los diferentes tipos de envasado ya que presentó 13.4, 21.9 y 11.7% menor liberación de líquido que los cubos de sandía envasados con PET, PS y recubrimiento más PS respectivamente.

Los resultados del presente estudio son análogos con Reyes-Chavarría *et al.* (2015), quién observó que la liberación de líquido de la papaya mínimamente procesada (recubierta con alginato y cloruro de calcio) envasada con un film con alta barrera al oxígeno (atmósfera activa) mostró 159% mayor liberación de líquido que la envasada en PET (atmósfera pasiva) al final del almacenamiento. El efecto que se tuvo en la atmósfera pasiva ayudo a reducir la pérdida de líquido debido a la barrera creada por los polímeros usados, ya que tiene un mayor efecto en la prevención de la pérdida de agua.

Con base en los resultados obtenidos se puede decir que la sandía mínimamente procesada envasada con recubrimiento más PET manifestó la menor liberación de líquido durante el período de estudio y por efecto las características del producto se beneficiaron.

#### **5.4.1.5 Sólidos solubles totales (SST).**

Los sólidos solubles totales son un atributo intrínseco de la calidad de las frutas el cual depende estrechamente de los niveles de sacarosa presentes en la fruta entera, en la cosecha sufre poco o ningún cambio después del procesamiento mínimo y almacenamiento (Amaro *et al.*, 2012).



Los SST de los cubos sandía envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS revelaron un aumento del 16.2, 11.0, 25.3 y 27.9% de SST respectivamente durante los 15 días del período de estudio (Figura 56).

A los 12 días de estudio los SST llegan a su máximo incremento con valores de 10.0, 10.11, 11.88 y 12.0°Brix para los cubos de sandía envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS respectivamente, ya que posterior a este día comenzaron a ir en declive y para el día 15 se obtuvieron valores de 9.55, 9.11, 11.0 y 11.55°Brix correspondientemente indicando un respectivo descenso de 4.5, 9.9, 7.4 y 3.7% del día 12 con relación al último día de estudio. Para el día 12 los cubos de sandía envasados con PET (con y sin recubrimiento) presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los SST en relación a los cubos de sandía envasados con PS (con y sin recubrimiento).

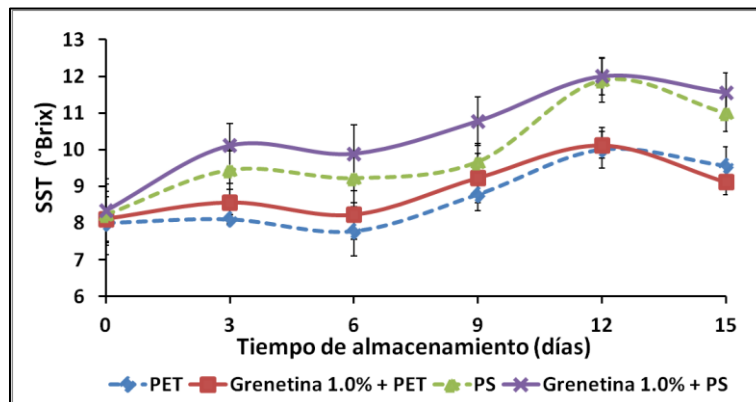


Figura 56. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en los sólidos solubles totales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del estudio se puede apreciar que los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS (11.55°Brix) presentaron una diferencia 4.8% más SST con respecto a los que se envasaron con PS (11.0°Brix), mostrando una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los SST de la sandía mínimamente procesada envasada con este material. En cuanto a los cubos de sandía envasados con PET (9.55°Brix) estos presentaron 4.6% mayor contenido de SST con relación a los



cubos de sandía con recubrimiento más PET (9.11°Brix), sin embargo, no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en los SST de los cubos de sandía envasados con dicho material.

También se puede observar que los cubos de sandía envasados con PS y recubrimiento más PS manifestaron 13.2 y 21.1% mayor concentración de SST en relación a los cubos de sandía envasados con PET y recubrimiento más PET respectivamente, existiendo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los SST de los cubos de sandía envasada con PET (con y sin recubrimiento) con respecto a los envasados con PS y a los envasados con recubrimiento más PS.

La tendencia ascendente del contenido de SST del presente trabajo no concuerda con los estudios realizados por Rojas-Ávila *et al.* (2008), en donde el contenido de SST de la sandía envasada en bolsas de polipropileno (PP) disminuyó durante la vida de anaquel, indicando que el empleo de la atmósfera modificada en los cubos de sandía aportó un efecto positivo, ya que disminuyó el metabolismo respiratorio de la fruta, lo cual se vio reflejado en su vida de anaquel.

Por otro lado Waghmare y Annapure (2013), encontraron que el contenido de SST de la papaya mínimamente procesada envasada en atmósfera modificada pasiva aumentó durante el almacenamiento (25 días), lo que sugiere la solubilización y la síntesis de hidratos de carbono. Los SST están estrechamente relacionados con la maduración de la fruta.

A partir de los datos obtenidos se concluye que el efecto del envasado con recubrimiento más PET para conservar los cubos de sandía fue benéfico ya que el aumento de los SST no fue tan pronunciado como en el resto de los tratamientos.



### 5.4.1.6 pH.

En la Figura 57 se muestra el comportamiento ascendente del pH de los fragmentos de sandía envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS por lo que se puede apreciar un incremento del 5.0, 5.8, 1.6 y 3.6% respectivamente al cabo de un periodo de 15 días de almacenamiento.

Para los 9 días de almacenamiento los fragmentos de sandía envasados con PS (5.84) y recubrimiento más PS (5.66) revelaron su máximo valor de pH, por lo que indicaron 5.3 y 2.3% mayor pH con relación a los envasados con PET (5.53) y recubrimiento más PET (5.53) respectivamente. Para este día existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el pH de los fragmentos de sandía envasados con PS con respecto al resto de los tratamientos.

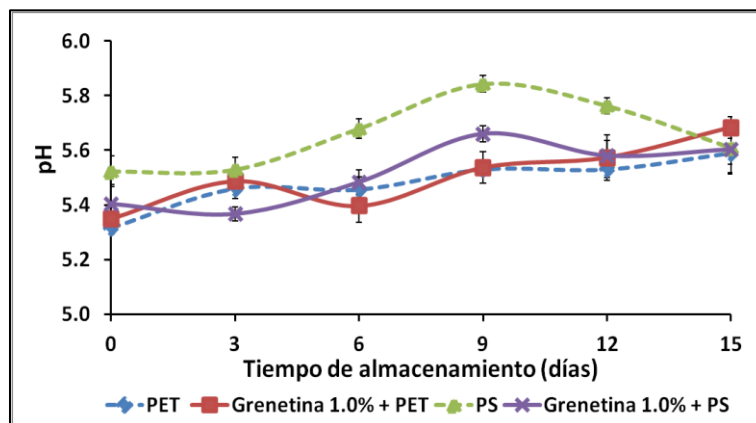


Figura 57. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en el pH de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al final del almacenamiento la sandía mínimamente procesada envasada con recubrimiento más PET (5.68) manifestó 1.6, 1.4 y 1.2% mayor valor de pH que los envasados con PET (5.59), recubrimiento más PS (5.60) y PS (5.61) respectivamente, sin embargo, el análisis estadístico no mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en el pH de los fragmentos de sandía envasados tanto en PET como en PS (con y sin recubrimiento).



Los resultados del presente trabajo concuerdan con Rojas-Ávila *et al.* (2008), ya que los valores de pH de las rebanadas de sandía fue incrementando ligeramente de 5.12 a 5.66 al inicio del tratamiento, para después descender brevemente hasta un valor de 5.26 al séptimo día de almacenamiento; alcanzando al final del tratamiento (21 días) valores de pH similares a los del inicio. Por el contrario Waghmare y Annapure (2013), encontraron que el pH de la papaya mínimamente procesada envasada en atmósfera modificada pasiva disminuyó durante los 25 días almacenamiento. Los cambios en los valores de pH durante el período de almacenamiento pueden estar asociados con el crecimiento de los microorganismos y la posterior producción de ácidos orgánicos.

De acuerdo con lo anterior se infiere que el pH de la sandía mínimamente procesada envasada en PET (con o sin recubrimiento) mantuvo dicho parámetro durante el almacenamiento por lo que se observó que el envase de PET no modificó el pH pese al empleo de recubrimiento.

#### **5.4.1.7 Acidez.**

La acidez de la sandía mínimamente procesada mostró una tendencia descendente en los tipos de envasado por lo que del día 0 al 15 de estudio hubo 20.4, 8.4, 4.2 y 7.0% menor ácido en los trozos de sandía envasados con PET, recubrimiento más PET, PS y recubrimiento más PS respectivamente (Figura 58).

Al final de la evaluación la acidez de los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET y PS (0.0184 mg de ácido málico/100g de sandía) manifestaron 5.4 y 13.0% mayor acidez que los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS (0.0174 mg de ácido málico/100g de sandía) y PET (0.0160 mg de ácido málico/100g de sandía) respectivamente. A lo largo del período de estudio (día 0 al 15) no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la acidez de los cubos de sandía envasados con cualquier material ya sea PET o PS (con y sin recubrimiento).

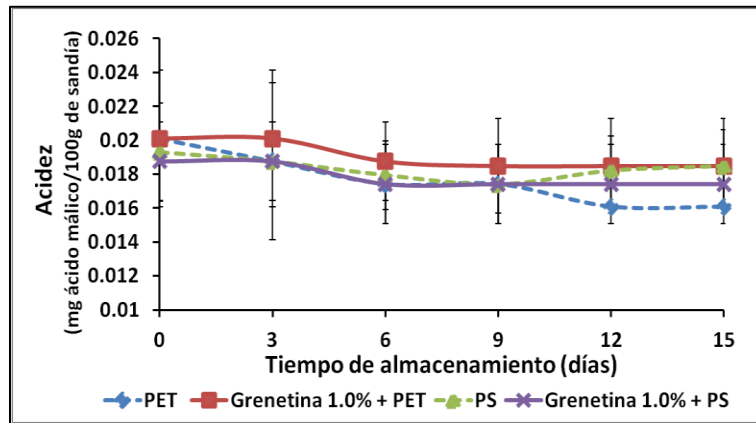


Figura 58. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la acidez de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Los resultados del presente estudio coinciden con Rojas-Ávila *et al.* (2008), ya que la acidez de la sandía mínimamente procesada envasada en bolsas de PP fue disminuyendo a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, por lo que dicho comportamiento lo atribuye a la utilización de ácidos orgánicos por el metabolismo ya que ocasiona una disminución en el contenido de acidez, así mismo indica que se considera una ventaja la disminución lenta en el contenido de ácidos orgánicos en productos almacenados en atmósferas modificadas.

Acorde a lo anterior se puede expresar que la acidez de la sandía mínimamente procesada no mostró un efecto por el uso o no de recubrimientos o del empleo de PET o PS para el envasado.

#### 5.4.2 Parámetro fisiológico de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas.

##### 5.4.2.1 Contenido de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

Las frutas y verduras consumen oxígeno y producen dióxido de carbono mientras está envasado, dando lugar a una modificación de la composición del gas del espacio de cabeza. La respiración del producto y la permeabilidad al gas de la





película influyen en el cambio en la composición gaseosa del medio ambiente que rodea al producto (Mastromatteo *et al.*, 2011).

En la Figura 59 se ilustra el comportamiento descendente del contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza de los diferentes envases durante los 15 días de almacenamiento, observándose que la sandía mínimamente procesada envasada con PET (tereftalato de polietileno), grenetina 1.0% + PET, PS (poliestireno) y grenetina 1.0% + PS presentaron un descenso del 9.6, 13.7, 17.6 y 17.0% del contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza respectivamente.

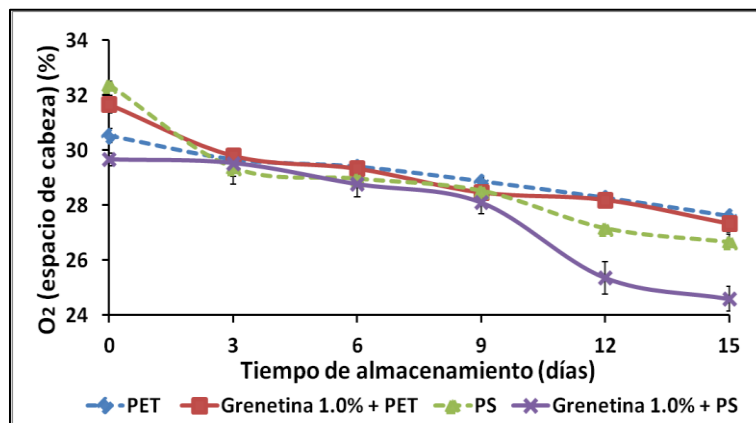


Figura 59. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en la composición atmosférica de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 15 días. Las barras verticales representan  $\pm$  desviación estándar.

Al inicio del almacenamiento (día 0) el contenido de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza de los envases evaluados fue semejante, no obstante, la sandía mínimamente procesada con recubrimiento (grenetina a 1.0%) más envase de PET (31.6%) presentó 3.6% mayor concentración de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza que los trozos de sandía envasados solo con PET (30.5%) y en cuanto a los envasados únicamente con PS (32.3%) mostraron 8.3% mayor concentración de O<sub>2</sub> en el espacio de cabeza que los tratados con recubrimiento más PS (24.6%), por lo que para este día hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en la concentración de O<sub>2</sub> entre los diferentes tipos de envasado para la sandía mínimamente procesada.



Se puede observar que al final del almacenamiento (día 15) la sandía mínimamente procesada envasada con recubrimiento más PET (27.3%) mostró 1.0% menor contenido de O<sub>2</sub> que los envasados solamente con PET (27.6%), y en cuanto a los trozos de sandía envasados con recubrimiento más PS (24.6%) presentaron 7.7% menor contenido de O<sub>2</sub> que los envasados solamente con PS (26.6%), así mismo se puede observar que los trozos de sandía envasados con PS con y sin recubrimiento mostraron 6.3 y 4.6% menores valores de O<sub>2</sub>, destacando a los recubiertos más PS comparados con los envasados con PET con y sin recubrimiento. Por lo que el análisis estadístico mostró que hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de O<sub>2</sub> de los trozos de sandía envasados con PET (con y sin recubrimiento) con respecto a los envasados con PS y recubrimiento más PS.

Con respecto al contenido de CO<sub>2</sub> en el espacio de cabeza, no se presentó ningún cambio ya que tuvo un valor constante de 0.5% CO<sub>2</sub> durante los 15 días de estudio (resultados que no se muestran).

La tendencia descendente de la concentración de oxígeno del presente trabajo coincide con estudios realizados por Rojas-Ávila *et al.* (2008), con sandía mínimamente procesada empacada en bolsas de polipropileno (PP) donde la sandía tratada con 0.75% de ácido cítrico y la sandía control presentaron una disminución de la concentración de oxígeno durante los 21 días de almacenamiento, sin embargo, menciona que las concentraciones de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> variaron muy poco durante el periodo de almacenamiento. Así mismo indica que las concentraciones recomendadas para la sandía mínimamente procesada es de 3% de O<sub>2</sub> y 15% de CO<sub>2</sub>; también señala que algunos autores han establecido un rango de 10 a 17.3% de O<sub>2</sub> y 3.3 a 10% de CO<sub>2</sub>, con el fin de retrasar el cambio en algunos atributos de calidad de la sandía.



Por otro lado en investigaciones con papaya mínimamente procesada envasada en atmósfera modificada pasiva (Waghmare y Annapure, 2013), almacenada durante 25 días, la concentración de  $O_2$  disminuyó rápidamente durante los primeros días y después de que se formó la concentración de gas adecuada permaneció en estado estacionario, sin embargo, los cambios en la concentración de gas fueron más pronunciados en los no tratados en comparación con las muestras tratadas con químicos (cloruro de calcio 1.0% y ácido cítrico 2.0%). En dicha investigación se menciona que los productos frescos cortados generalmente tienen tasas de respiración más altas que los productos intactos, probablemente debido a la mayor área de superficie expuesta a la atmósfera y al aumento de la actividad metabólica de las células dañadas, por lo tanto, la respiración del fruto recién cortado y la permeabilidad del material de envasado podría ser la razón de la disminución de la concentración de  $O_2$  y aumento de la concentración de  $CO_2$ .

Por otra parte en trabajos con kiwi mínimamente procesado (Mastromatteo *et al.*, 2011), también se observó una disminución en la concentración de  $O_2$  en el espacio de cabeza durante los 15 días de almacenamiento, en particular, la disminución más rápida en la concentración de  $O_2$  en el espacio de cabeza fue en el control en comparación con las muestras recubiertas con alginato (en combinación con la inmersión en una solución hidroalcohólica) por lo que el tratamiento con recubrimiento pudo reducir la actividad respiratoria del kiwi mínimamente procesado ya que al formarse una capa sobre el fruto la difusión del  $O_2$  del espacio de cabeza se ralentizó por la resistencia de  $O_2$  en el recubrimiento. Así mismo indican que los recubrimientos con permeabilidad selectiva a los gases son capaces de disminuir el intercambio de  $O_2$  y  $CO_2$  entre la fruta recubierta y el medio ambiente, lo que frena el metabolismo por la disminución de la concentración de  $O_2$  interno y el aumento de la concentración de  $CO_2$ .

A partir de los datos obtenidos se concluye que el empleo del envase de PS (con y sin recubrimiento) en los trozos sandía presentó menores concentraciones de  $O_2$



en el espacio de cabeza durante el almacenamiento y principalmente del día 9 al 15, destacando los envasados con recubrimiento más PS.

**5.4.3 Parámetros microbiológicos de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas.**

En la Tabla 22 se muestran los log de UFC/g obtenidas de las pruebas microbiológicas adquiridas de la sandía mínimamente procesada envasada con PET, PS (con y sin recubrimiento), en la cual podemos observar que a partir del día 12 de estudio se presentaron 1.0 y 2.0 log de UFC/g de coliformes totales respectivamente, mientras que los cubos envasados con recubrimiento más PET no mostraron presencia de microorganismos, sin embargo, para este día no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) en la carga microbiana de los cubos de sandía envasados con cualquier material ya sea PET o PS (con y sin recubrimiento).

Tabla 22. Recuento de coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas.

Log de UFC/g de Microorganismos					
Tratamiento Día		PET	Grenetina 1.0% + PET	PS	Grenetina 1.0% + PS
Coliformes totales	0	<10	<10	<10	<10
	6	<10	<10	<10	<10
	12	1.0±1.41 <sub>a</sub>	<10	2.0±0.0 <sub>a</sub>	2.0±0.0 <sub>a</sub>
Mesófilos aerobios	0	<10	<10	<10	<10
	6	<10	<10	<10	<10
	12	2.0±0.0 <sub>a</sub>	1.0±1.41 <sub>a</sub>	2.30±0.0 <sub>a</sub>	2.15±0.21 <sub>a</sub>
Mohos y levaduras	0	<10	<10	<10	<10
	6	<10	<10	<10	<10
	12	2.15±0.21 <sub>a,b</sub>	2.0±0.0 <sub>a</sub>	2.47±0.0 <sub>b</sub>	2.38±0.12 <sub>b</sub>

<10 en la dilución 10<sup>-2</sup>.

Los valores dentro de una fila seguida de una letra de subíndice igual, indica que los valores son significativamente diferentes ( $p \geq 0.05$ ).

Lo mismo ocurre con los log de UFC/g de mesófilos aerobios ya que hubo presencia hasta los 12 días de estudio y tampoco hubo diferencia significativa



( $p \geq 0.05$ ) en los microorganismos presentes en los cubos de sandía envasados con PET o PS (con y sin recubrimiento), a pesar de ello, los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET manifestaron 50.0, 53.0 y 56.0% menor carga microbiana que los envasados con PET, recubrimiento más PS y PS respectivamente.

En el caso de los mohos y levaduras también se manifestaron a los 12 días de estudio mostrando que los cubos de sandía envasados con PS tuvieron 3.6, 13.0 y 19.0% más log UFC/g de mohos y levaduras que los envasados con recubrimiento más PS, PET y recubrimiento más PET respectivamente, por lo que para este día hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los microorganismos presentes en los cubos de sandía del primer tratamiento con respecto a los envasados con recubrimiento más PET.

Los resultados del presente estudio son semejantes con Reyes-Chavarría *et al.* (2015), quién observó que a los 24 días del período de evaluación la papaya mínimamente procesada envasada con un film con alta barrera al oxígeno (atmósfera activa) presentó 4.11 log UFC/g de mesófilos aerobios y 4.07 log UFC/g de mohos y levaduras en comparación con la papaya (recubierta con alginato y cloruro de calcio) envasada en PET (atmósfera pasiva) que no tuvo carga microbiana durante el almacenamiento, de modo que notó que la sinergia del recubrimiento más el envase de PET mostró un efecto positivo en el producto de modo que inhibió el crecimiento microbiano.

Así mismo menciona que la composición de  $O_2$  y  $CO_2$  puede estar relacionada con la carga microbiana, ya que se presentó una concentración de gases adecuada para inhibir el crecimiento microbiano. Por otra parte la ausencia de coliformes en la papaya durante el almacenamiento se la atribuyó a que el producto se realizó con la higiene requerida, además de que la baja presencia de mesófilos al final del estudio resaltó la efectividad del método de desinfección.



Por otro lado Rojas-Ávila *et al.* (2008), indicó que en alimentos mínimamente procesados el recuento de los microorganismos debe estar entre 5 y 7 log UFC/g, al momento de cumplirse la fecha de vencimiento; por lo que las cuentas microbianas a los 21 días de almacenamiento presentaron 2.39 log UFC/g de bacterias y 1.41 log UFC/g de levaduras por lo que las fracciones de sandía conservada en atmósferas modificadas (bolsas de PP) estuvo por debajo de este límite.

De acuerdo a los resultados obtenidos el empleo de cualquier tipo de envase estuvo dentro de los límites establecidos para los productos mínimamente procesados, sin embargo, el envase de recubrimiento más PET fue el que menos favoreció al crecimiento de microorganismos en la sandía mínimamente procesada y en el caso de los coliformes totales inhibió su desarrollo a los 12 días de evaluación.

#### **5.4.4 Parámetros sensoriales de la sandía mínimamente procesada con diferentes atmósferas modificadas.**

La principal característica de las frutas y vegetales frescos es que al consumirse son tejidos vivos, y por lo tanto respiran; esto último afecta profundamente el tiempo de vida útil de estos productos, así como su estabilidad durante el almacenamiento (Rojas-Ávila *et al.*, 2008). Así mismo la apariencia es un criterio importante para determinar la aceptabilidad de los productos. Esta es utilizada como un indicador de frescura y calidad en los productos MP (Dussán-Sarria *et al.*, 2014). De acuerdo a lo anterior y con el propósito de determinar la aceptabilidad comercial del PMP se realizó un análisis sensorial basado en una escala hedónica verbal en los días: 0, 6 y 12 de almacenamiento (Figura 60).

En la Figura 60A y 60C se puede ver que en el aspecto de calificación en general de la sandía mínimamente procesada fue evaluada como buena y no se mostró diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre el empleo de los diferentes tipos de envases.



En la Figura 60B se aprecia que el aspecto mencionado anteriormente fue evaluado como aceptable como límite de consumo y tampoco hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ).

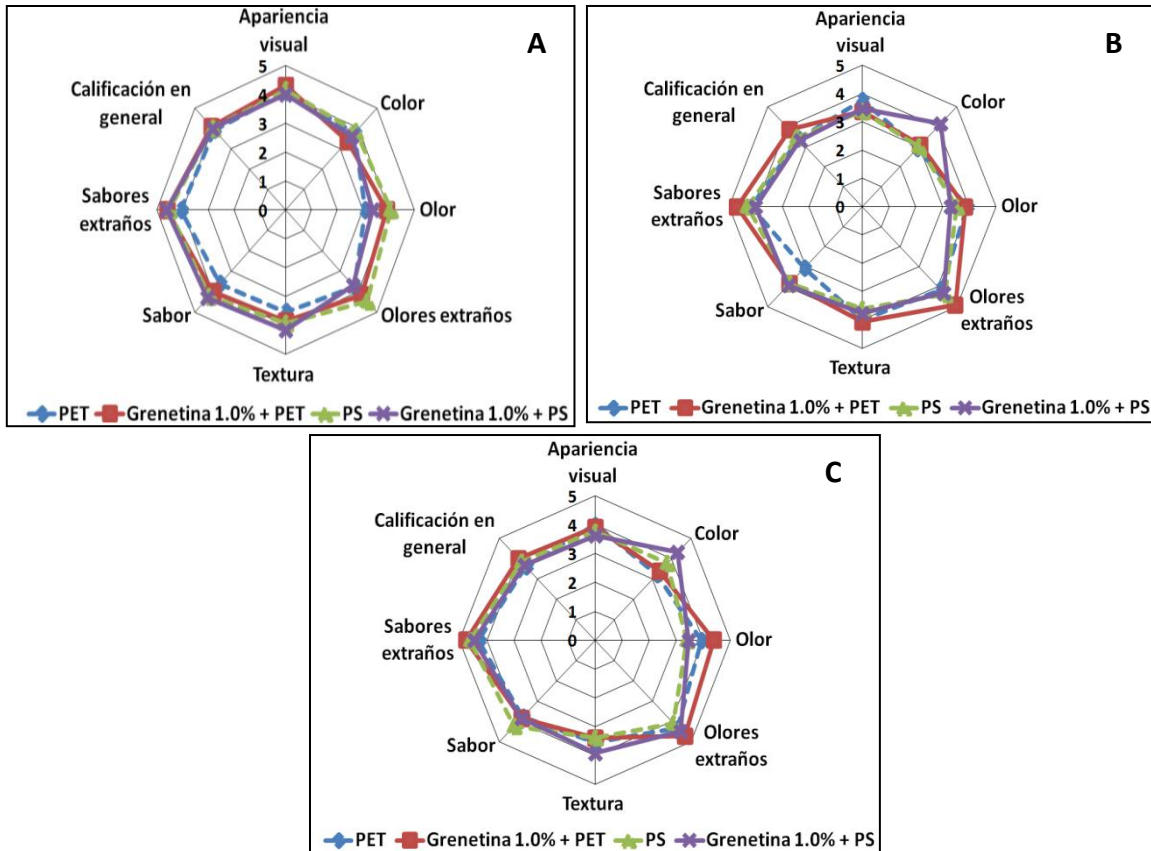


Figura 60. Efecto de diferentes atmósferas modificadas en los parámetros sensoriales de sandía mínimamente procesada almacenada a 4°C durante 12 días. A) Día 0. B) Día 6. C) Día 12.

En la Figura 60C se puede observar que el color de los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS presentaron 12.5, 21.4 y 24.9% mayor intensidad de color que los envasados con PS, recubrimiento más PET y PET respectivamente por lo que los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) con los envasados en PET con y sin recubrimiento pero no presentaron diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con los envasados en PS. Con respecto a la textura también hubo diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PS con



relación a los envasados con PS y recubrimiento más PET ya que presentaron 13.8% menor firmeza, pero no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) con los envasados con PET ya que presentaron 10.0% menor firmeza que el primer tratamiento.

Con respecto al sabor los cubos de sandía envasados con PS mostraron 9.2% mejor sabor en relación a los envasados con recubrimiento más PS y recubrimiento más PET y 11.1% más sabor que los envasados en PET, sin embargo, no hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre los diferentes tipos de envases. En cuanto a la calificación en general tampoco hubo diferencia significativa ( $p \geq 0.05$ ) entre los tratamientos pese a que los cubos de sandía envasados con recubrimiento más PET mostraron 9.7, 7.7 y 4.0% mayor calificación que los envasados con PET, recubrimiento más PS y PS respectivamente.

En investigaciones realizadas por Rojas-Ávila *et al.* (2008), encontró que el sabor de la sandía mínimamente procesada presentó mayor estabilidad en los primeros 15 días, obteniéndose una calificación de 3.6 al día 21, que lo ubicó en el rango ni me gusta ni me disgusta. Por lo que indicó que las fracciones de sandía almacenados en atmósferas modificadas pasivas empleando bolsas de polipropileno (PP) pueden mantenerse en buenas condiciones por 10 días.

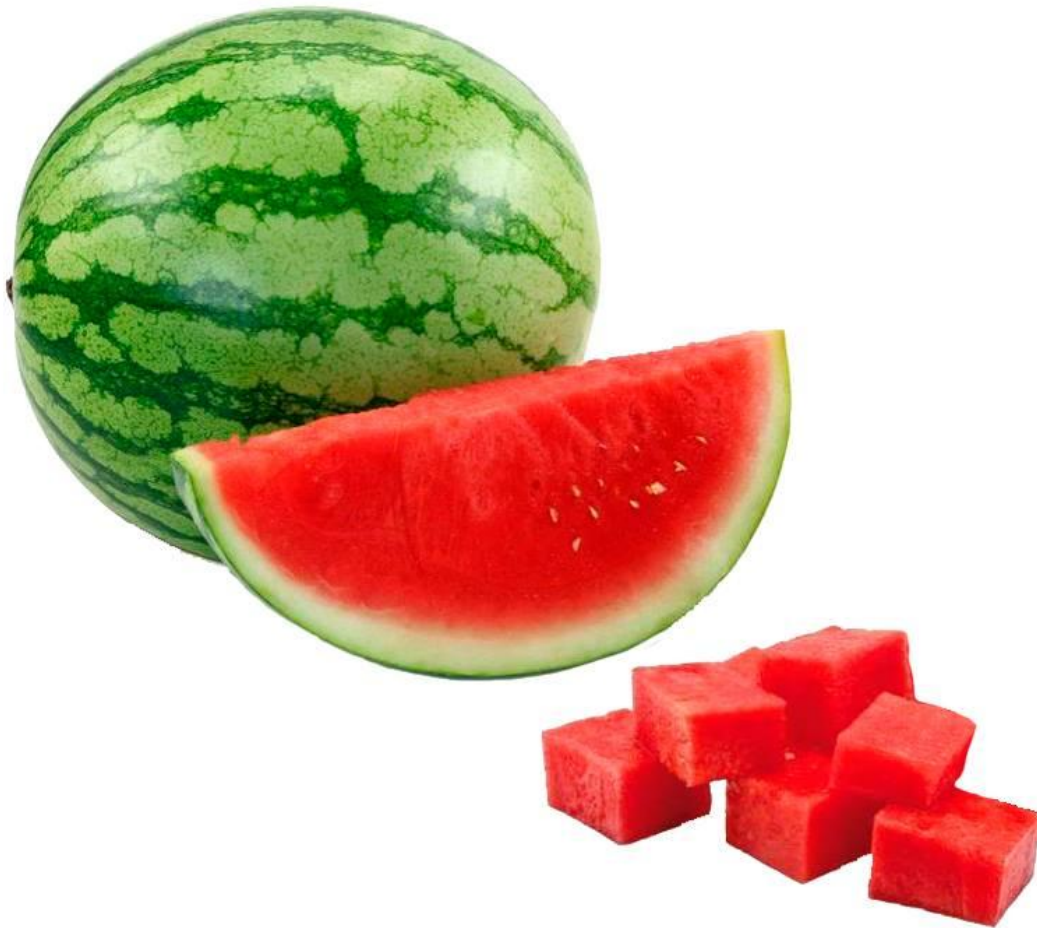
Por otra parte en los resultados obtenidos de Reyes-Chavarría *et al.* (2015), halló que los panelistas al evaluar la intensidad de color, apariencia, olor, sabor y textura de las papayas conservadas en atmósferas modificadas fueron de calificaciones de 4-5 (muy buenas) en la escala hedónica, lo cual indicó que la aplicación de las atmósferas resultó satisfactoria ya que fueron similares a un control, sin presentar diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) en los diferentes parámetros evaluados. También menciona que el uso de las atmósferas favoreció a que hubiera menor pérdida de firmeza, mejor apariencia y sabor debido a que retrasó





el ablandamiento de los tejidos ya que esto limita la vida útil y conduce al rechazo de los consumidores de los productos mínimamente procesados.

Con base en los resultados anteriores es posible indicar que el color de los cubos de sandía envasados con PS (con y sin recubrimiento) mostraron mayor intensidad de color (rojo intenso) por lo que esto podría afectar en la calidad del producto ya que podría estar asociado con el desarrollo de pardeamiento, por lo que la opción más viable son los envasados con PET (con y sin recubrimiento). Con respecto a la textura los cubos de sandía que mantuvieron la firmeza fueron los envasados con recubrimiento más PS. Por otra parte los panelistas no percibieron ninguna diferencia en los productos evaluados en el aspecto de sabor y calificación en general por lo que se podría elegir el envase con relación al que tuvo un efecto positivo en los atributos durante los diferentes días de evaluación por lo que sería el envase con recubrimiento más PET.



# Conclusiones



## Conclusiones.

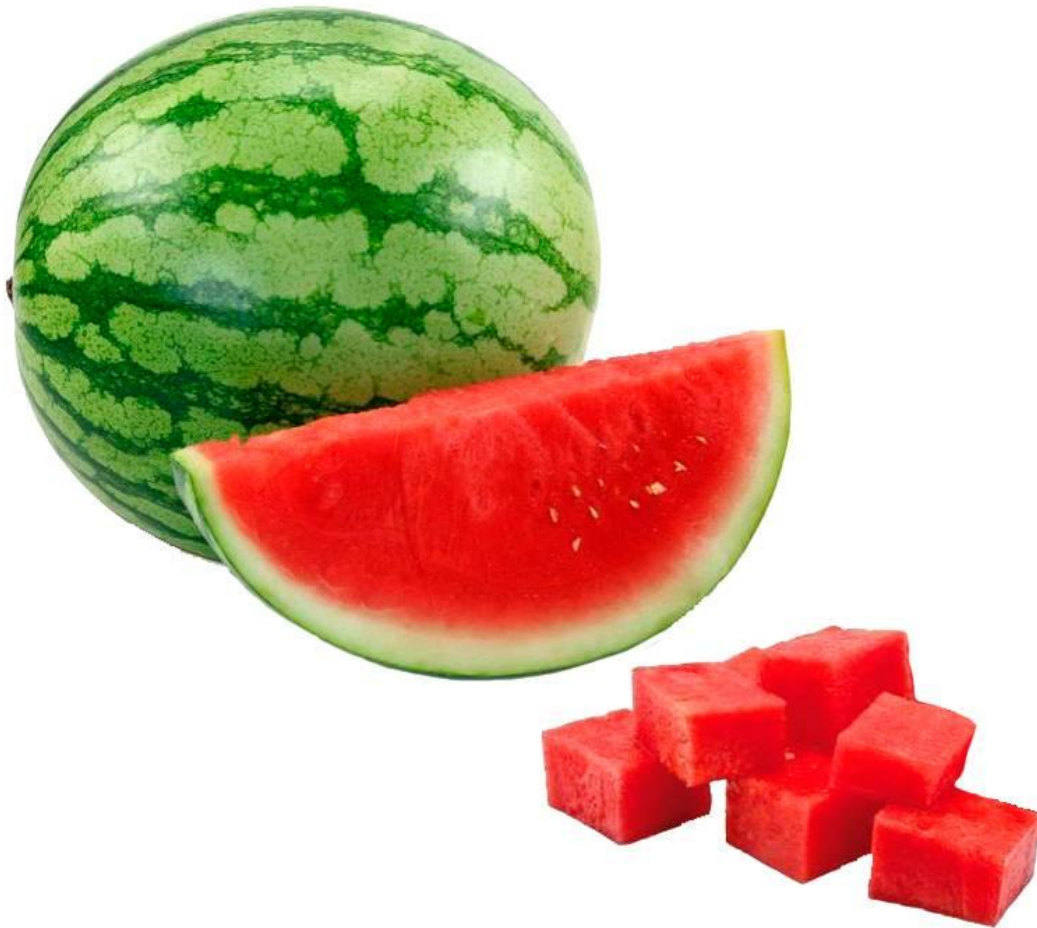
Con base en los resultados obtenidos del presente trabajo se puede concluir que:

- ④ El empleo de los diferentes tiempos de desinfección con luz UV-C por 2.5, 3.75 y 5 min mostraron ser efectivos para el control del crecimiento microbiano de acuerdo a la normatividad de productos mínimamente procesados, sin embargo, los fragmentos de sandía expuestos a la luz UV-C por 2.5 min fue el tratamiento más efectivo para el control de microorganismos (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras) así como también generó un menor daño en el producto y por ende mantuvo sus parámetros de calidad (color, firmeza, liberación de líquido, sólidos solubles totales y acidez) y fisiológico (contenido de O<sub>2</sub>).
- ④ La aplicación de recubrimiento comestible a base de grenetina a 1.0% en la sandía mínimamente procesada mostró un efecto benéfico en los parámetros de calidad (color, firmeza, pérdida de peso, liberación de líquido y pH) así como en lo microbiológico (coliformes totales, mesófilos aerobios, mohos y levaduras) y por lo tanto permitió que el producto tuviera una mayor aceptabilidad sensorial (color, olor, sabor y sin presencia de olores o sabores extraños).
- ④ Las características como: espesor, transparencia, color e hinchamiento son propiedades físicas que se le determinaron a la película de grenetina (1.0%) ya que los valores de dichos parámetros pueden afectar en el uso del recubrimiento, así como también pueden predecir si el recubrimiento en estudio es apto para la aplicación que se realiza y sí podría ser útil o no para otros frutos.
- ④ El uso de los diferentes materiales de envase (tereftalato de polietileno, recubrimiento a base de grenetina a 1.0% más tereftalato de polietileno,



poliestireno y recubrimiento a base de grenetina a 1.0% más poliestireno) para la conservación de la sandía mínimamente procesada benefició al parámetro fisiológico (contenido de  $O_2$ ) y algunos parámetros de calidad (principalmente pérdida de peso y liberación de líquido) dependiendo del envase utilizado.

- ④ El envase con grenetina a 1.0% más poliestireno presentó menores niveles de  $O_2$  en el espacio de cabeza de la sandía mínimamente procesada durante el almacenamiento, así como también manifestó menor desarrollo de pigmentaciones oscuras, mayores valores de pureza, mejor retención de la firmeza y menor pérdida peso con respecto al resto de los tipos de envasado.
- ④ El envase con grenetina a 1.0% más tereftalato de polietileno benefició a la sandía mínimamente procesada mostrando mayor luminosidad, menor liberación de líquido, el aumento de los SST no fue tan pronunciado, no modificó el pH, fue el que menos favoreció al crecimiento de microorganismos en la sandía mínimamente procesada y en el caso de los coliformes totales inhibió su desarrollo a los 12 días de evaluación, así como también tuvo un efecto positivo en los atributos sensoriales (color, olor y sin presencia de olores o aromas extraños) durante los diferentes días de evaluación.
- ④ El envase de PET con recubrimiento a base de grenetina a 1.0% y la desinfección con luz UV-C por 2.5 min en conjunto fueron efectivos para prolongar la vida útil del producto en comparación con los otros métodos de desinfección, recubrimientos y concentraciones, así como los materiales de envase que fueron evaluados. Por lo que el producto a estas condiciones puede durar 9 días en buenas condiciones.



# Recomendaciones



### Recomendaciones.

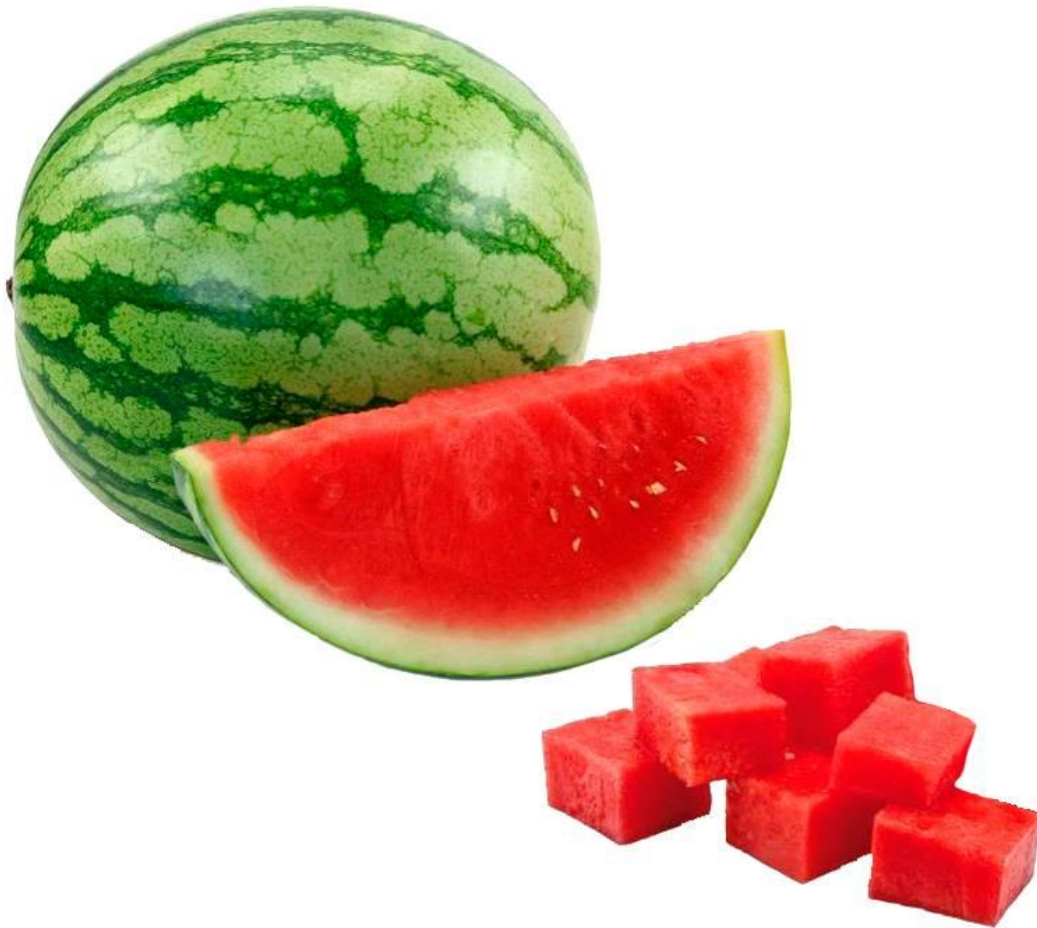
Para continuar con esta misma línea de investigación se recomienda lo siguiente:

- ④ Evaluar el efecto del procesamiento mínimo sobre otras variedades de sandía, así como la estandarización de la madurez del fruto.
- ④ Evaluar parámetros químicos como: Capacidad antioxidante total y contenido de antocianinas totales.
- ④ Evaluar el efecto de los diferentes tiempos de desinfección con luz UV-C en otros microorganismos como: *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, para asegurar la inocuidad de este producto, así como para determinar la efectividad de eliminación ya que son los principales microorganismos presentes en los productos mínimamente procesados.
- ④ Adicionar antioxidantes como: ácido cítrico, ácido ascórbico, la cisteína, entre otros; ya sea solos o en combinación como un tratamiento previo al recubrimiento para minimizar o prevenir las reacciones enzimáticas de pardeamiento, para evitar el problema de oscurecimiento en los trozos de fruta.
- ④ Evaluar un tratamiento previo al recubrimiento con sales de calcio como: lactato de calcio, cloruro de calcio, fosfato de calcio, propianato de calcio y gluconato de calcio para ayudar a mantener la integridad de la pared celular vegetal mediante la interacción con la pectina para formar pectato de calcio.
- ④ Evaluar el efecto de diferentes métodos de desinfección como: ozono gaseoso, agua electrolizada y pulsos de luz; así como también evaluar su comportamiento con distintos tiempos de exposición de la sandía



mínimamente procesada para determinar sus efectos sobre la carga microbiana, parámetros de calidad, fisiológicos y sensoriales.

- ④ Evaluar el efecto de otros recubrimientos comestibles y/o concentraciones e incluso combinaciones de estos como: quitosano, pectinas, proteínas lácteas, proteína de soya, zeína, almidón y goma xantana aplicadas a la sandía mínimamente procesada o algún fruto con características similares para alargar la vida útil y darle valor agregado.
- ④ Evaluar el efecto de otros materiales de envase como: polipropileno (PP), polietileno de baja (LDPE) y alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC) y otros films con baja permeabilidad al  $O_2$  para determinar sus permeabilidades al  $O_2$ ,  $CO_2$  y vapor de agua y conocer que parámetros de calidad y sensoriales de la sandía mínimamente procesada se benefician.



# Referencias





- Acosta-Dávila, S. (2014). Propiedades de films de almidón de yuca y gelatina. Incorporación de aceites esenciales con efecto antifúngico. Tesis de Doctorado. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Aguayo, E., Escalona, V. H., Gómez, P., Artes-Hernández, F., y Artes-Calero, F. (2007). Técnicas emergentes y sostenibles para desinfección de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. Recuperada el 24 de febrero de 2016. Disponible en: <<http://www.phytoma.com/tienda/articulos-editorial/224-189-mayo-2007/8623-tecnicas-emergentes-y-sostenibles-para-la-desinfeccion-de-frutas-y-hortalizas-minimamente-procesadas>>.
- Aguilar-Lara, K. (2006). Estudio del grado de hinchamiento de películas de quitosan compuestas para su aplicación en alimentos. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México.
- Aguilar-Méndez, M. A. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis de Maestría. Tecnología Avanzada. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. IPN. D.F.
- Aguilar-Méndez, M. A., Espinoza-Herrera, N. L., Sánchez-Flores, M., Cruz-Orea, A., y Ramírez-Ortíz, M. E. (2012). Caracterización y aplicación de películas a base de gelatina-carboximetilcelulosa para la preservación de frutos de guayaba. *Superficies y vacío*. 25(10): 1-7.
- Alanis-López, P. C. (2012). Efecto de la fibra de *Agave tequilana* waber en las características de las películas de gelatina y nanopartículas minerales. Tesis de Maestría en Ciencias. Desarrollo de productos bióticos. Centro de desarrollo de productos abióticos. IPN. Yautepec, Morelos.
- Alarcón, E. H. (2013). Pruebas de satisfacción. Recuperada el 3 de marzo de 2016. Disponible en: <<http://avibert.blogspot.com/search/label/Food%20Technology?updated-max=2013-02-12T15:35:00-03:00&maxresults=20&start=116&by-date=false>>.



- Alegre, I., Abadias, M., Anguera, M., Oliveira, M., y Vinñas, I. (2010). Factors affecting growth of foodborne pathogens on minimally processed apples. *Food Microbiology*. 27: 70-76.
- Álvarez-Arenas, C., Fermín, N., García, J., Peña, E., y Martínez, A. (2013). Evaluación del efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible en melones (*Cucumis melo L., var. cantaloupe*) cortados y almacenados en refrigeración. *Saber*. 25(2): 218-226.
- Amaro, A. L., Beaulieu, J. C., Grimm, C. C., Stein, R. E., y Almeida, D. P. F. (2012). Effect of oxygen on aroma volatiles and quality of fresh-cut cantaloupe and honeydew melons. *Food Chemistry*. 130: 49-57.
- Andrade-Cuvi, M. J., Moreno-Guerrero, C., Henríquez-Bucheli, A., Gómez-Gordillo, A., y Concellón, A. (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola L.*) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11(1): 18-27.
- Andrade-Pizarro, R. D. (2014). Películas y recubrimientos comestibles nanocompuestos con matriz de gelatina: caracterización física y comportamiento al impacto en vegetales con diferente energía libre de superficie. Tesis de Doctorado. Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad Tecnológica. Universidad de Santiago de Chile. Santiago-Chile.
- Arnal, N. (2014). Frutas y Verduras Hurtado. Sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://frutashurtado.esy.es/Sandias/>>.
- Artés-Calero, F. (2006). El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 7(2): 61-85.
- Artés, F., Gómez, P., Artes-Hernández, F., y Aguayo, E. (2011). Innovaciones en el mantenimiento de la calidad y seguridad alimentaria de los productos hortícolas mínimamente procesados. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 12(1): 8-18.



- Artes-Hernández, F., Aguayo, E., Gómez, P., y Artés, F. (2009). Innovaciones tecnológicas para preservar la calidad de productos mínimamente procesados o de la “cuarta gama”. *Horticultura internacional*. 69(1): 52-57.
- Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A., y Artés, A. (2010). Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*. 55: 114-120.
- Ávila-Sosa, R., y López-Malo, A. (2008). Aplicación de sustancias antimicrobianas a películas y recubrimientos comestibles. *Temas Selectos de Ingeniería en Alimentos*. 2(2): 4-13.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., y Adzahan, N. M. (2014a). Effects of gellan-based edible coating on the quality of fresh-cut pineapple during cold storage. *Food Bioprocess Technol*. 7: 2144-2151.
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., y Adzahan, N. M. (2014b). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*. 88: 1-7.
- Beltrán, A., Ramos, M., y Álvarez, A. (2010). Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta (UV-C). *Revista tecnológica ESPOL-RTE*. 23(2): 17-24.
- Benítez, S., Soro, L., Achaerandio, I., Sepulcre, F., y Pujolá, M. (2014). Combined effect of a low permeable film and edible coatings or calcium dips on the quality of fresh-cut pineapple. *Journal of Food Process Engineering* 37: 91-99.
- Bico, S.L.S., Raposo, M.F.J., Morais, R.M.S.C., y Morais, A.M.M.B. (2009). Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control* 20: 508-514.



- Blanquicet-Macea, R., Flórez de Hoyos, C., González-Montes, Y., Meza-Fuentes, E., y Rodríguez-Ruiz, J. I. (2015). Síntesis y propiedades de filmes basados en quitosano/lactosuero. *Polímeros*. 25(1): 58-69.
- Bonilla-González, F. J. (2009). Uso de luz ultravioleta en el aire acondicionado. *Tecnología de desinfección UV*. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2009/02/uso-de-luz-ultravioleta-en-el-aire-acondicionado/>>.
- Brasil, I. M., Gomes, C., Puerta-Gómez, A., Castell-Pérez, M. E., y Moreira, R. G. (2012). Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT - Food Science and Technology* 47: 39-45.
- Caamal-Herrera, I. O., Pereira-Pacheco, F. E., y Madera-Santana, T. J. (2011). Caracterización óptica y mecánica de películas comestibles a base de mezclas binarias de almidones de *phaseolus lunatus L*, *Manihot esculenta Crantz* Y *Zea mays L*. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 12(1): 101-109.
- Caloro (2014). Hortalizas. Sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <[http://www.calorseed.com/hortalizas\\_sandia.html](http://www.calorseed.com/hortalizas_sandia.html)>.
- Campuzano, S., Mejía-Flórez, D., Madero-Ibarra, C., y Pabón-Sánchez, P. (2015). Determinación de la calidad microbiológica y sanitaria de alimentos preparados vendidos en la vía pública de la ciudad de Bogotá D.C. *NOVA*. 13(23): 81-92.
- Canales-Cruz, R., Sánchez-Bueno, J. A. (2003). Cadena agroalimentaria de sandía. Caracterización de los eslabones de la cadena e identificación de los problemas y demandas tecnológicas. Recuperada el 22 de febrero de 2016. Disponible en: <<https://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit52.pdf>>.
- Castillo-Acuña, N. (2012). Estudio sobre películas y recubrimientos comestibles utilizados en la conservación en fresco de productos hortofrutícolas: materiales, propiedades y perspectivas de aplicación. Tesis



- de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México.
- Centurión-Yah, A. R., Solís-Pereira, S., Saucedo-Veloz, C., Báez-Sañudo, R. y Sauri-Duch, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*hylocereus undatus*) durante su desarrollo. Revista Fitotecnia. Mexicana. 31(1): 1-5.
  - Chavarrías, M. (2013). El pH de los alimentos y la seguridad alimentaria. Recuperada el 31 de marzo de 2016. Disponible en <<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-yconsumo/2013/09/19/218017.php>>.
  - Chong, J. X., Lai, S., y Yang, H. (2015). Chitosan combined with calcium chloride impacts fresh-cut honeydew melon by stabilising nanostructures of sodium-carbonate-soluble pectin. Food Control 53: 195-205.
  - Contreras-Monzón, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas. Tesis de Doctorado. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
  - Cozmuta, A. M., Turila, A., Apjok, Robert., Ciocian, A., Cozmuta, L. M., Peter, A., Nicula, C., Gali, N., y Benkovi, T. (2015). Preparation and characterization of improved gelatin films incorporating hemp and sage oils. Food Hydrocolloids. 49: 144-155.
  - DICA (2015). Envasado de fruta mínimamente procesada. Recuperada el 22 de febrero de 2016. Disponible en: <[http://www.innovacion.gob.sv/inventa/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8332:envasado-de-fruta-minimamente-procesada&catid=133:alimentos-ybebidas&Itemid=303](http://www.innovacion.gob.sv/inventa/index.php?option=com_content&view=article&id=8332:envasado-de-fruta-minimamente-procesada&catid=133:alimentos-ybebidas&Itemid=303)>.
  - Domínguez-Courtney, M. F. y Jiménez-Munguía, M. T. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. 6(2): 110-121.
  - Dussán-Sarria, S., Torres-León, C., y Hleap-Zapata, J. I. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y de diferentes empaques durante el



- almacenamiento refrigerado de mango *Tommy atkins* mínimamente procesado. Información Tecnológica. 25(4): 123-130.
- Escobar-Hernández, A., Márquez-Cardoso, C. J., Restrepo-Flores, C. E., Cano-Salazar, J. A., y Patiño-Gómez, J. H. (2014). Aplicación de tratamiento térmico, recubrimiento comestible y baño químico como tratamientos poscosecha para la conservación hortalizas mínimamente procesados. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n1/v63n1a01.pdf>>.
  - Fama, L., Rojas, A. M., Goyanes, S., y Gerschenson, L. (2003). Películas comestibles de aplicación industrial. Jornadas sam/conamet/simposio materia. pp. 898-901.
  - FAOSTAT (2015). Producción Mundial de Sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://faostat3.fao.org/browse/T/TP/S>>.
  - Fennema, O. R. (1995). Química de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España. pp. 258.
  - Fernández, C. (2015). Cultivo de sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.plantasdehuerto.com/blog/content/cultivo-de-sandia>>.
  - Figueroa, J., Salcedo, J., Aguas, Y., Olivero, R., y Narvárez, G. (2011). Recubrimientos comestibles en la conservación del mango y aguacate, y perspectiva, al uso del propóleo en su formulación. Revista Colombiana científica Anim. 3(2): 386-400.
  - Fonseca, J. M., y Rushing, J. W. (2006). Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. Postharvest Biology and Technology. 40: 256-26.
  - FRUTAS & HORTALIZAS (2015). Sandía, *Citrullus lanatus* / *Cucurbitaceae*. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-Sandia.html>>.



- García-Méndez, A. D. (2008a). Aplicación de la técnica de IV gama para la elaboración de ensaladas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*. 61(2): 4658-4666.
- García-Méndez, A. D. (2008b). Aplicación de la tecnología IV gama en frutos de melón (*Cucumis melo*) y piña (*Ananas comosus*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 9(1): 34-43.
- Garmendia, G., y Vero, S. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. Recuperada el 24 de febrero de 2016. Disponible en: <[https://www.researchgate.net/publication/28282408\\_Metodos\\_para\\_la\\_desinfeccion\\_de\\_frutas\\_y\\_hortalizas](https://www.researchgate.net/publication/28282408_Metodos_para_la_desinfeccion_de_frutas_y_hortalizas)>.
- González-Cabrera, M. V. (2010). Conservación de mora, uvilla y frutilla mediante la utilización del aceite esencial de canela (*Cinnamomum zeylanium*). Tesis de Licenciatura. Bioquímico Farmacéutico. Facultad de ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador.
- González-Cárdenas, I. A. (2010). Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis de Maestría. Química. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- González-Olmos, M. G., y Guzmán-Morfín, I. (2011). Efecto de películas comestibles formuladas a base de alginato y grenetina en la vida útil del mango cortado listo para consumir. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México.
- Granada-Restrepo, D., Medina-Pineda, Y., Culebras-Rubio, M., y Gómez-Clari, C. (2014). Desarrollo y caracterización de una película activa biodegradable con antioxidantes (alfa-tocoferol) a partir de las proteínas del lactosuero. *Vitae*. 21(1): 11-19.
- Guillén-Román, C. J. (2010). Efecto de la concentración de calcio y extractos polifenólicos de *acacia angustísima* sobre la permeabilidad al vapor de agua de películas de alginato de sodio plastificadas con glicerol.



- XII congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos. Guanajuato, Gto.
- Gutiérrez-Bautista, J. (2012). El control adecuado de la cadena de frío en los alimentos es clave para conservar su calidad y propiedades. Revista cero grados Celsius. Recuperada el 1 de junio de 2015. Disponible en: <http://www.0grados.com/manipulacion-de-alimentos-y-administracion-de-temperatura/>.
  - Herrera-Vázquez, S. E., Dublán-García, O., López-Martínez, L. X., y Gómez-Oliván, L. M. (2015). Caracterización de una película comestible a base de suero de leche, inulina, gretina y glicerol. León, Guanajuato. Mayo 13-15.
  - HORTALIZAS (2008). Sandía sin semillas. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/cultivos/cucurbitaceas/sandia-sin-semillas/>.
  - HORTO-INFO (2011). Informe sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.hortoinfo.es/index.php/informes/cultivos/396-informe-sand-ka>.
  - Ibargüen, A. O., Pinzón, M. I., y Arbelaéz-Arias, L. M. (2015). Elaboración y caracterización de películas comestibles a base del gel de aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller L.). Revista Alimentos Hoy. 23(36): 133-149.
  - Iglesias-García, E., Gago-Cabezas, L., y Fernández-Nuevo, J. L. (2015). Tecnologías de envasado en atmósfera protectora. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: [https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt3\\_tecnologias\\_de\\_ensado\\_en\\_atmosfera\\_protectora.pdf](https://www.madrimasd.org/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/vt/vt3_tecnologias_de_ensado_en_atmosfera_protectora.pdf).
  - INFOAGRO (2015). El cultivo de la sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tradicionales/sandia.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/sandia.htm).
  - Infoalimentación (2011). Aprendiendo a elegir melones y sandías. Recuperada el 20 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.>





[infoalimentacion.com/noticias/2011/5/4795 aprendiendo elegir melones sandias.asp](http://infoalimentacion.com/noticias/2011/5/4795_aprendiendo_elegir_melones_sandias.asp)>.

- King Seeds (2015). Hortalizas. Sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.kingseeds.com.mx/sandia.html>>.
- Knee, M. (ed.) (2007). Bases biológicas de la calidad de la fruta. Zaragoza, España. Acribia. pp. 289.
- Lobo, M. G., y González, M. (2003). Productos hortofrutícolas mínimamente procesados. La Laguna. Santa Cruz de Tenerife. pp 220.
- Lopes-Carvalho, R., Freitas-Cabral, M., Andrade-Germano, T., Moita de Carvalho, W., Montenegro-Brasil, I., Gallão, M. I., Herbster-Moura, C. F., Almeida-Lopes, M. M., y Alcântara de Miranda, M. R. (2016). Chitosan coating with trans-cinnamaldehyde improves structural integrity and antioxidant metabolism of fresh-cut melón. *Postharvest Biology and Technology*. 113: 29-39.
- López-Rubira, V., Artés-Hernández, F., y Artés, F. (2007). Evaluación de la calidad de granadas tratadas con UV-C y almacenadas en atmósfera controlada. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena. España. pp. 137-145.
- Mani-López, E. (2003). Conservación de jugo de sandía aplicando irradiación ultravioleta de onda corta. Tesis de Licenciatura. Ingeniería de Alimentos. Escuela de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla.
- Mantilla, N., Castell-Perez, M.E., Gomes, C., y Moreira, R.G. (2013). Multilayered antimicrobial edible coating and its effect on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *LWT - Food Science and Technology*. 51: 37-43.
- Manzocco, L., Da Pieve, S., Bertolini, A., Bartolomeoli, I., Maifreni, M., Vianello, A., y Nicoli, M. C. (2011a). Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties *Postharvest Biology and Technology*. 61: 165-171.



- Manzocco, L., Da Pieve, S., y Maifreni, M. (2011b). Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 12: 13–17.
- Márquez-Villacorta, L., y Pretell-Vásquez, C. (2013). Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas. *Scientia Agropecuaria*. 4(1): 147-161.
- Márquez-Villacorta, L., Pretell-Vásquez, C., y Minchón-Medina, C. (2012). Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas, y antioxidantes en rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola L.*), variedad Golden Star mínimamente procesada. *Pueblo cont.* 23(2): 353-369.
- Martín-Belloso, O., y Soliva-Fortuny, R. C. (2005). Procesado y comercialización de fruta fresca cortada. *Horticultura Internacional*. 50(1): 34-40.
- Martínez-Navarro, B. E. (2011). Análisis bromatológico del carambolo (*Averrhoa carambola L.*) y determinación de su capacidad antioxidante. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz.
- Mastromatteo, M., Mastromatteo, M., Conte, A., y Del Nobile, M. A. (2011). Combined effect of active coating and MAP to prolong the shelf life of minimally processed kiwifruit (*Actinidia deliciosa cv. Hayward*). *Food Research International*. 44: 1224-1230.
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*. 27(1): 1254-1255.
- Metrología. (2008). Micrómetro. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <http://metrologia.fullblog.com.ar/micrometro-871228131459.html>.
- Miramont, S. (2012). Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: carvacrol y sorbatos. Tesis de Maestría. Tecnología de los Alimentos. Escuela de Posgrado. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.



- Miranda, S. P., Cárdenas, G., López, D., y Lara-Sagahon, A. V., (2003). Comportamiento de películas de quitosán compuesto en un modelo de almacenamiento de aguacate. *Journal of the Mexican Chemical Society*. 47 (4): 331-336.
- Monje-Navarrete, M. (2015). Vicente Peris desarrolla una nueva línea de productos de IV gama. Recuperada el 22 de febrero de 2016. Disponible en: <<https://www.alimarket.es /noticia/179414/vicente-peris-desarrolla-una-nueva-linea-de-productos-de-iv-gama>>.
- Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M.A., y Martín-Belloso, O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*. 50:182-189.
- Montiel-Rosales, M. C. (2009). Mejora de la calidad de piña mínimamente procesada con tratamientos por irradiación UV-C. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México.
- Morales-Reyes, M. A. (2011). Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Ciencia y Tecnología de Alimentos. División de Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., y Cuadrado, C. (2013). Tablas de composición de alimentos. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/sandia.pdf>>.
- Moreno-Pérez, E. C., Martínez-Damián, M. T., Reyes-López, D., Pérez-Mercado, C. A., Peña-Lomelí, A., y Espinosa-Robles, P. (2006). Intensidad de color y contenido de antocianinas en chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 12(1): 135-140.
- Mu, C., Guo, J., Li, X., Lin, W., y Li, D. (2012). Preparation and properties of dialdehyde carboxymethyl cellulose crosslinked gelatin edible films. *Food Hydrocolloids*. 27: 22-29.



- Namensy, A. (2005). Actualidad en fruta de IV gama. *Horticultura*, 188(1): 41-53.
- Namensy, A. (2009). Sandía mínimamente procesada. Un producto con gran potencial de crecimiento. *Horticultura Internacional*. 70(1): 36-37.
- Narsaiah, K., Wilson, R. A., Gokul, K., Mandge, H. M., Jha, S. N., Bhadwal, S., Anurag, R. K., Malik, R.K., y Vij, S. (2015). Effect of bacteriocin-incorporated alginate coating on shelf-life of minimally processed papaya (*Carica papaya L.*). *Postharvest Biology and Technology*. 100: 212-218.
- Natureduca (2015). Agricultura. Horticultura. Sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <[http://www.natureduca.com/agro\\_hort\\_sandia.php](http://www.natureduca.com/agro_hort_sandia.php)>.
- Navarrete, K. (2009). Aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina para preservar la calidad de la zarzamora (*Rubus frocticosus*) almacenada en refrigeración lista para consumir. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México.
- NMX-FF-011-1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Determinación de acidez titulable. Método de titulación. Recuperada el 27 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-011-1982.PDF>>.
- NMX-FF-014-1982. Productos alimenticios no industrializados para uso humano. Fruta fresca. Determinación de la resistencia a la penetración. Recuperada el 27 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-014-1982.PDF>>.
- NMX-FF-015-1982. Productos alimenticios no industrializados, para uso humano. Fruta fresca. Determinación de sólidos solubles totales. Recuperada el 27 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-015-1982.PDF>>.



- NMX-FF-075-1990. Fruta Fresca. Sandía (*Citrullus vulgaris* S.) Especificaciones. Normas Mexicanas. Dirección General de Normas. Recuperado el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-075-1990.PDF>>.
- NMX-F-317-S-1978. Determinación de pH en alimentos. Recuperada el 27 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-317-S-1978.PDF>>.
- NOM-092-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa. Recuperada el 1 de Marzo de 2015. Disponible en: <[http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092\\_ssa14.html](http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/092_ssa14.html)>.
- NOM-111-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Mohos y Levaduras en alimentos. Recuperada el 1 de Marzo de 2015. Disponible en: <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/111ssa14.html>>.
- NOM-113-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de Microorganismos coliformes totales en placa. Recuperada el 1 de Marzo de 2015. Disponible en: <<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/113ssa14.html>>.
- Olivas, G. I., Mattinson, D.S., y Barbosa-Cánovas, G. V. (2007). Alginate coatings for preservation of minimally processed 'Gala' apples. *Postharvest Biology and Technology*. 45: 89-96.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2008). Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of fresh-cut pears. *Postharvest Biology and Technology*. 50: 87-94.
- Ordóñez-Pereda, J. A., Juárez- Iglesias, M., Zurera-Cosano, G., y Otero-Carballeira, A. (2004). Aplicación de radiaciones ionizantes a los alimentos. Recuperada el 24 de febrero de 2016. Disponible en: <[http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad\\_alimentaria/evaluacion\\_riesgos/informes\\_comite/RADIACIONES\\_IONIZANTES\\_ALIMENTOS.pdf](http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_comite/RADIACIONES_IONIZANTES_ALIMENTOS.pdf)>



- Orduz, J. O., León, G. A., Linares, V. M., y Rey, C. A. (2000). Cultivo de la sandía o patilla (*Citrullus lanatus*) en el departamento del meta. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/jspui/bitstream/11348/3765/1/052.pdf>>.
- Ospina-Meneses, S. M., y Cartagena-Valenzuela, J. R. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*. 5(2): 112-123.
- Padrón-Pereira, C. A., y Padrón-León, G. M. (2012). Determinación del color en epicarpios de mango (*Mangifera* sp.) y plátano (*Musa* AAB) en maduración mediante sistema de visión computarizada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(2): 302-318.
- Pan, Y. G., y Zu, H. (2012). Effect of UV-C Radiation on the Quality of Fresh-cut Pineapples. *Procedia Engineering*. 37: 113-119.
- Patarroyo-Torres, C. A., y Cárdenas-Rojas, A. J. (2014). Efecto de recubrimientos comestibles a base goma gellan, gelatina y caseína sobre la cinética de deterioro de la mora de castilla *Rubus glaucus Benth.* Tesis de Licenciatura. Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima. Ibagué.
- Pereira-Moreira, S., Moita de Carvalho, W., Costa Alexandrino, A., Bezerra de Paula, H. C., Passos Rodrigues, M. C., Wilane de Figueiredo, R., Arraes Maia, G., Teixeira de Figueiredo, E. M. A., y Montenegro Brasil, I. (2014). Freshness retention of minimally processed melon using different packages and multilayered edible coating containing microencapsulated essential oil. *International Journal of Food Science and Technology*. 49: 2192-2203.
- Pérez-Pérez, E.P., y López- Malo, A. (2011). Tecnologías involucradas en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. 5(2): 13-27.
- Posada-Izquierdo, G. D. (2013). Estudio y modelización del efecto de procesos de descontaminación y desinfección sobre microorganismos



- patógenos en productos vegetales. Tesis para obtener el título de Doctora. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- Poverenov, E., Rutenberg, R., Danino, S., Horev, B., y Rodov, V. (2014). Gelatin-chitosan composite films and edible coatings to enhance the quality of food products: layer-by-layer vs. blended formulations. *Food Bioprocess Technol.* 7: 3319-3327.
  - Quintero, C. J., Falguera, V., y Muñoz, H. A. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga.* 5(1): 93-18.
  - Rangel-Marron, M., y López-Malo, A. (2012). Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmósfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos.* 6(2): 94-109.
  - Raybaudi-Massilia, R. M., Mosqueda-Melgar, J., y Martín-Belloso, O. (2008). Edible alginate-based coating as carrier of antimicrobials to improve shelf-life and safety of fresh-cut melón. *International Journal of Food Microbiology.* 121: 313-327.
  - Reho, A. I. (2011). Demanda de sandías sin semillas. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.hortalizas.com/semillas/demanda-de-sandias-sin-semillas/>>.
  - Restrepo, J. I., y Aristizábal, I. D. (2010). Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. *Camarosa*) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnaúba. *Vitae.* 17(3): 252-263.
  - Reyes-Chavarría, A. T., Trejo-Márquez, M. A., Lira-Vargas, A. A., y Pascual Bustamante, S. (2015). Conservación de papaya maradol mínimamente procesada en atmósferas modificadas activas y pasivas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha.* 16(2): 287-292.
  - Rivera-Pastrana, D. M., Gardea-Béjar, A. A., Martínez-Téllez, M. A., Rivera-Domínguez, M., y González-Aguilar, G. A. (2007). Efectos



- bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30(4): 361-372.
- Rodríguez-Sauceda, E. N. (2011). Uso de agentes antimicrobianos naturales en la conservación de frutas y hortalizas. *Revista Ra Ximhai*. 7(1): 153-170.
  - Rojas-Ávila, M. R., Vargas-Vargas, L., y Tamayo-Cortez, J. A. (2008). Sandía mínimamente procesada conservada en atmósferas modificadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 9(2): 153-161.
  - Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., y Martín-Belloso, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT*. 41: 139-147.
  - Ruelas-Chacón, X., Reyes-Vega, M. L., Valdivia-Urdiales, B. Contreras-Esquivel, J. C., Montañez-Saenz, J. C., Aguilera-Carbó, A. F., y Peralta-Rodríguez, R. D. (2013). Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. 5(9): 31-37.
  - SAGARPA (2012). México, principal exportador mundial de sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/yucatan/Boletines/Paginas/201206B044.aspx>>.
  - Salinas-Hernández, R. M., Pirovani, M. E., Gardea-Béjar, A. A., y González-Aguilar, G. A. (2010). Cambios fisicoquímicos y sensoriales limitantes de la vida de anaquel de mango fresco cortado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33(3): 215-223.
  - Salinas-Salazar, V. M., Trejo-Márquez, M. A., y Lira-Vargas, A. A. (2015). Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de nopal como alternativa para la aplicación en frutos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 16(2): 193-198.
  - Sánchez-González, L., Cháfer, M., Chiralt, A., González-Martínez, C. (2010). Physical properties of edible chitosan films containing bergamot





- essential oil and their inhibitory action on *Penicillium italicum*. Carbohydrate Polymers. 82: 277-283.
- Sánchez-Soto, A. (2013). Caracterización de películas biodegradables y su aplicación como envase activo en zarzamora (*Rubus fruticosus*) para el control de podredumbre gris. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. UNAM. Cuautitlán, Izcalli. Estado de México.
  - Schenk, M. L. (2010). Preservación de productos frutales mínimamente procesados mediante la aplicación de luz UV y su combinación con otras tecnologías emergentes. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
  - Sgroppo, S.C., y Sosa, C. A., (2009). Zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) fresco cortado tratado con luz UV-C. Revista Facena. 25: 7-19.
  - SIAP-SAGARPA (2015). Cierre de producción agrícola de sandía. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>.
  - Sierra, M. (2004). Fruta de IV gama en los lineales españoles. Horticultura internacional. 44(1):38-45.
  - Sipahi, R.E., Castell-Perez, M.E., Moreira, R.G., Gomes, C., y Castillo, A. (2013). Improved multilayered antimicrobial alginate-based edible coating extends the shelf life of fresh-cut watermelon (*Citrullus lanatus*). LWT - Food Science and Technology. 51(1): 9-15.
  - Steiner, A., Abreu, M., Correia, L., Beirão-da-Costa, S., Leitão, E., Beirão-da-Costa, M. L., Empis, J., y Moldão-Martins, M. (2006). Metabolic response to combined mild heat pre-treatments and modified atmosphere packaging on fresh-cut peach. Eur Food Res Technol. 222: 217-222.
  - Tapia, M. S., Rojas-Graü, M. A., Carmona, A., Rodríguez, F.J., Soliva-Fortuny, R., y Martín-Belloso, O. (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. Food Hydrocolloids. 22: 1493-1503.



- Taringa. (2012). Sandía sin semillas obtenida sin polinizar. Recuperada el 20 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.taringa.net/posts/hazlo-tu-mismo/14239531/Sandias-sin-semillas.html>>.
- Tecnología Ultravioleta (2013). Tecnología de Desinfección UV. Recuperada el 28 de febrero de 2015. Disponible en: <<http://www.lit-uv.com/es/technology/>>.
- Tomás-Callejas, A., Martínez-Hernández, G. B., Spooren, R., Artés, F., Artés-Hernández, F. (2010). La desinfección con agua electrolizada preserva la calidad microbiológica, nutritiva y sensorial de brotes de mizuna mínimamente procesados en fresco. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11(2): 204-213.
- Tovar, B., Ibarra, L. I., García, H. S., y Mata, M. (2000). Some compositional changes in *Kent* mango (*Mangifera indica*) slices during storage. *J. Appl. Hort.* 2(1): 10-14.
- Trejo-Márquez, M. A., Ramos-López, K., y Pérez-Guillén, C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria vesca* L.) almacenada en refrigeración. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. Cartagena. España. pp. 230-239.
- Varela, R. (2012). Conservación de alimentos mediante pulsos de luz. Recuperada el 28 de febrero de 2016. Disponible en: <<http://rvfconsultores.blogspot.mx/2012/07/conservacion-de-alimentosmediante.html>>.
- Vargas, L., Tamayo, J., Centurión, A., Tamayo, E., Saucedo, C., y Sauri, E. (2010). Vida útil de de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11(2): 154-161.
- Vázquez-Briones, M.C., y Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*. México. 7(2): 5-14.



- Vázquez-Maya, M. B. (2013). Conservación de granada mínimamente procesada en atmósfera modificada pasiva y desinfectada con ozono, radiación UV-C, solución de plata coloidal y cloro. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Cuautitlán Izcalli. Estado de México.
- Vidal-Aragón, M. C., y Bernalte-García, M. J. (2003). La IV gama de la fruta. *Horticultura*. 173(1): 44-50.
- Waghmare, R. B., y Annapure, U.S. (2013). Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. *Postharvest Biology and Technology*. 85: 147-153.
- Wang, X., Kong, D., Ma, Z., y Zhao, R. (2015). Effect of carrot puree edible films on quality preservation of fresh-cut carrots. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 54: 64-71.
- Watermelon (2016). Recipes. Recuperada el 21 de febrero de 2016. Disponible en: <<http://www.watermelon.org/Recipes/Category/Breakfast>>.