

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**DESARROLLO Y ESTUDIO DE UN RECUBRIMIENTO
COMESTIBLE A BASE DE CARRAGENINA PARA PIÑA DE IV
GAMA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

NATHALY FERNANDA MALDONADO TAÍPE
nathaly.maldonado@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. SILVIA AZUCENA VALENCIA CHAMORRO, Ph.D.
silvia.valencia@epn.edu.ec

Quito, marzo 2016

© Escuela Politécnica Nacional 2016
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo Nathaly Fernanda Maldonado Taipe, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Nathaly Fernanda Maldonado Taipe

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Nathaly Fernanda Maldonado Taípe bajo mi supervisión.

Ing. Silvia Valencia Chamorro, Ph.D.
DIRECTORA DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la Virgen Auxiliadora, cómplice de mis logros. Le doy gracias por haberme guiado hasta donde estoy y presentarme a las personas y los momentos idóneos para culminar mi carrera universitaria.

A la Escuela Politécnica Nacional, por las oportunidades y facilidades ofrecidas durante mis años universitarios, así como por permitirme conocer que la ciencia abre las puertas al mundo.

A la doctora Silvia Valencia por brindarme su conocimiento y orientación, pero sobre todo por su tiempo. Gracias por sus consejos.

A mis profesores, a mis amigos/as, a mis compañeros/as y a todos quienes formaron parte de mi vida durante estos años. Todos aportaron para hacer de mi vida universitaria una experiencia maravillosa. Un agradecimiento destacado a mis compañeros/as del Laboratorio de Poscosecha por su aporte a este proyecto.

El agradecimiento más especial a mis padres, por su esfuerzo diario de toda la vida. El esfuerzo y la dedicación puestos en este proyecto son para ustedes. Gracias por ser mi motivación.

A mi compañero de juegos y peleas,

mi cocinero,

mi hermano,

Fabricio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Tratamientos poscosecha de frutas	1
1.1.1 Factores involucrados en el deterioro poscosecha	1
1.1.1.1 Factores biológicos	2
1.1.1.2 Factores ambientales	3
1.1.2. Tratamientos convencionales	4
1.1.2.1 Tratamientos químicos	4
1.1.2.2 Tratamientos térmicos	5
1.1.3. Tratamientos no convencionales	6
1.2. Recubrimientos comestibles	7
1.2.1 Componentes	9
1.2.1.1 Polisacáridos	10
1.2.1.2 Proteínas	12
1.2.1.3 Lípidos y resinas	13
1.2.1.4 Emulsificantes	14
1.2.1.5 Aditivos	15
1.2.2 Propiedades de los recubrimientos comestibles	16
1.2.3 Métodos de aplicación	19
1.3 Poscosecha y procesamiento mínimo de la piña	19
1.3.1 Poscosecha de la piña	20
1.3.1.1 Madurez y cosecha	20
1.3.1.2 Operaciones en empacadora	21
1.3.2. Procesamiento mínimo de la piña	22
1.3.2.1 Operaciones unitarias en el procesamiento mínimo de la piña	22
1.3.2.2 Factores que influyen en el deterioro de la piña de IV gama	25
1.3.2.3 Evaluación de la calidad	25
2 PARTE EXPERIMENTAL	27
2.1 Desarrollo de emulsiones a base de carragenina y lípido	27
2.1.1 Determinación de la concentración de la solución de carragenina	27
2.1.2. Determinación de la concentración de cera de abeja en la emulsión	28
2.2 Determinación del efecto de la concentración de un emulsificante y un	29

saborizante en las propiedades físicas y químicas de las emulsiones	
2.2.1 pH y viscosidad	30
2.2.2 Estabilidad	30
2.2.3 Tamaño y distribución de partícula	31
2.2.4 Análisis estadístico	31
2.3 Estudio del efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de carragenina en la calidad poscosecha de la piña de IV gama	31
2.3.1 Preparación de la materia prima	31
2.3.1.1 Selección de las piñas	33
2.3.1.2 Procesamiento	33
2.3.2 Aplicación del recubrimiento	33
2.3.3 Evaluación de la calidad poscosecha	34
2.3.3.1 Análisis físicos	35
2.3.3.2 Análisis químicos	35
2.3.3.3 Análisis microbiológicos	36
2.3.3.4 Análisis sensoriales	37
2.3.3.5 Análisis estadísticos	37
2.4 Estimación de los costos de implementación del recubrimiento como tratamiento poscosecha	38
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1 Desarrollo de emulsiones a base de carragenina y lípido	39
3.1.1 Determinación de la concentración de la solución de carragenina	39
3.1.2 Determinación de la concentración de cera de abeja en la emulsión	44
3.1.3 Selección de una emulsión estable	46
3.2 Determinación del efecto de la concentración de un emulsificante y un saborizante en las propiedades físicas y químicas de las emulsiones	46
3.2.1 pH	48
3.2.2 Tamaño y distribución de partícula	49
3.2.3 Viscosidad	52
3.2.4 Estabilidad	53
3.2.5 Selección del recubrimiento	55
3.3 Estudio del efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de carragenina en la calidad poscosecha de la piña de IV gama	57
3.3.1 Pérdida de peso	57
3.3.2 Firmeza	60
3.3.3 Sólidos solubles totales	63
3.3.4 Acidez titulable	65
3.3.5 pH	66
3.3.6 Análisis microbiológicos	67
3.3.6.2 Aerobios totales	68
3.3.6.3 Mohos y levaduras	69
3.3.6.1 Coliformes totales	70

3.3.7	Análisis sensoriales	71
3.4	Estimación de los costos de implementación del recubrimiento como tratamiento poscosecha	77
3.4.1	Costos del tratamiento	77
3.4.2	Costos de la cámara de refrigeración	80
3.4.3	Elaboración del flujo de caja y cálculo de los índices financieros	80
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
4.1	Conclusiones	85
4.2	Recomendaciones	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
	ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 3.1.	Concentraciones de las soluciones de CR estudiadas y su caracterización (25 °C)	40
Tabla 3.2.	Composición de BW en las emulsiones de CR-BW (CR 1%) y su estabilidad (% de separación de las fases)	45
Tabla 3.3.	Contenido de AE y SB en las emulsiones de CR, BW, AE y SB	48
Tabla 3.4.	pH ,tamaño de partícula y viscosidad de las emulsiones E, F, H e I	49
Tabla 3.5.	Estabilidad de las emulsiones de CR, BW, AE y SB (% de separación de las fases)	54
Tabla 3.6.	SST (°Brix) de piña de IV gama con tratamiento R y C a los 0, 4 y 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)	64
Tabla 3.7.	Acidez titulable (% de ácido cítrico) de piña de IV gama con tratamiento R y C a los 0, 4 y 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)	65
Tabla 3.8.	pH de piña de IV gama con tratamiento R y C a los 0, 4 y 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)	66
Tabla 3.9.	Recuento de aerobios totales (AT) y mohos y levaduras (YM) (log UFC·g ⁻¹) en piña de IV gama con tratamiento C y R, a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa)	67
Tabla 3.10.	Costo de equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento comestible como tratamiento poscosecha en piña de IV gama	78
Tabla 3.11.	Costos estimados para la aplicación del recubrimiento comestible como tratamiento poscosecha en piña de IV gama	79
Tabla 3.12.	Capacidad, dimensiones y carga calórica para la cámara de refrigeración para piña de IV gama	81
Tabla 3.13.	Flujos de efectivo (USD) (horizonte de 5 años) para la inclusión del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama	82
Tabla AV.	Número de respuestas correctas necesarias, según el número de panelistas (n), para obtener resultados significativos (α), en una prueba triangular y en un <i>two-sample test</i>	108

Tabla AVI.	Costos de mantenimiento de equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama	109
Tabla AIX.	Costos estimados de la cámara de refrigeración para piña de IV gama	115
Tabla AX.	Costos fijos de la implementación del recubrimiento como tratamiento poscosecha en piña de IV gama recubierta	116
Tabla AXI.	Depreciación de los equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama	117
Tabla AXII.	Amortización del préstamo (USD 10 000) para un periodo de 5 años y tasa de interés de 11,83% anual	118

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Intensidad de dispersión (q) (medida mediante difracción de rayos X) en función de la concentración de CR (%) en solución acuosa. Valores superiores a 1,5% de CR determinan intensidades mayores, propias de hélices dobles de CR	12
Figura 1.2.	Diagrama de flujo del proceso de producción de piña entera y piña de IV gama	23
Figura 2.1.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de piña de IV de gama recubierta	32
Figura 2.2.	Procesamiento de la piña con un cortador semi-manual, 1: corte de una rodaja por la parte de la corona, 2: inserción giratoria del cortador, 3: desprendimiento vertical de la pulpa, 4: obtención de rodajas de piña de tamaño uniforme	34
Figura 3.1.	Apariencia de (a) una solución caracterizada como viscosa y (b) una solución caracterizada como formadora de gel	40
Figura 3.2.	Resultados visuales de la caracterización de las soluciones de CR. De izquierda a derecha 1, 2, 3, 4, 5 y 6, junto con sus duplicados	41
Figura 3.3.	Apariencia de la solución 2. Las flechas indican el rastro observado en las paredes del recipiente	42
Figura 3.4.	Separación de fases de las soluciones (a) 3 y (b) 4. Las flechas indican el límite de las fases	43
Figura 3.5.	Microfotografía de la emulsión CBd (100 X), las estructuras esféricas representan la fase discontinua (BW)	46
Figura 3.6.	Histograma de distribución de los tamaños de partícula (nm) de la emulsión I, medidos por dispersión de luz láser. En el eje vertical se muestra la intensidad radiante (potencia por unidad de ángulo sólido)	51
Figura 3.7.	Histograma de distribución de los tamaños de partícula (nm) de la solución de CR 1%, medidos por dispersión de luz láser. En el eje vertical se muestra la intensidad radiante (potencia por unidad de ángulo sólido)	51
Figura 3.8.	Esquema de la interacción del AE y SB (a) caracteriza la variación significativa de la estabilidad respecto al AE con SB constante (sin variación en tamaño de partícula) y (b) caracteriza la variación	55

	significativa de la estabilidad respecto al SB con AE constante (tamaño de partícula incrementa)	
Figura 3.9.	Microfotografía de la emulsión I (100 X), las estructuras esféricas representan la fase discontinua (BW y SB)	56
Figura 3.10.	Pérdida de peso (%) de piña de IV gama en función del tiempo de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa) con tratamiento C y R. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media (n=10) del experimento con una réplica	58
Figura 3.11.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor tratamiento para la pérdida de peso de piña de IV de gama almacenada hasta 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)	58
Figura 3.12.	Firmeza (N) de piña de IV gama con tratamiento C y R, a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa). Las barras verticales representan la desviación estándar de la media (n=15) del experimento con una réplica	61
Figura 3.13.	Gráfico de medias e intervalos LSD del factor tratamiento para la firmeza de piña de IV gama almacenada hasta 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)	61
Figura 3.14.	Resultados de la evaluación de la apariencia visual (3: bueno, 2: aceptable y 1: malo) de piña de IV gama para el tratamiento C y R, a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento 4°C y 90% de humedad relativa	72
Figura 3.15.	Resultados de la evaluación de la apariencia del recubrimiento (3: bueno, 2: aceptable y 1: malo) aplicado en piña de IV gama a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa)	73
Figura 3.16.	Piña de IV gama (<i>Ananas comosus</i> L. var. <i>comosus</i>) luego de 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa) (a) recubierta y (b) sin recubrimiento	74
Figura 3.17.	Procesos incluidos en la estimación de costos	78
Figura AI.	Tabla de color de la piña (<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. var. <i>comosus</i>)	103
Figura AII.1.	Mesa de ensayo para la evaluación de la concentración de CR por el método de inversión de tubo	104
Figura AII.2.	Muestra de solución de CR invertida sobre la mesa de ensayo	104
Figura AIII.1.	Formato de la evaluación de la apariencia general de las muestras de piña de IV gama	105

Figura AIII.2.	Formato de la evaluación de la apariencia del recubrimiento de las muestras de piña de IV gama	106
Figura AIV.	Formato de la evaluación del aroma de las muestras de piña de IV gama, prueba triangular	107
Figura AVII.	Pérdidas (%) en el proceso de elaboración de piña mínimamente procesada (IV gama) calculadas respecto al peso de las piñas enteras	110

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Tabla de color de la piña (<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. var. <i>comosus</i>)	103
ANEXO II Fotografías del experimento realizado con el método de inversión de tubo	104
ANEXO III Cuestionario para la evaluación de la apariencia visual de la piña de IV gama	105
ANEXO IV Cuestionario para la evaluación de aroma de la piña de IV gama, prueba triangular	107
ANEXO V Tabla de interpretación de resultados del análisis sensorial de aroma en piña de IV gama	108
ANEXO VI Costos de mantenimiento de equipos	109
ANEXO VII Pérdidas en el proceso de elaboración de piña mínimamente procesada (IV gama)	110
ANEXO VIII Cálculos y aproximaciones para la determinación de la carga calórica	111
ANEXO IX Costos de fabricación de la cámara	115
ANEXO X Costos fijos para el flujo de caja	116
ANEXO XI Depreciación de equipos	117
ANEXO XII Amortización del préstamo	118

GLOSARIO

Etileno autocatalítico: Tipo de etileno que induce y controla una reacción química sobre sí mismo para producir más etileno (DeEll, Prange y Peppelenbos, 2003, p. 472).

Etileno exógeno: Tipo de etileno que se aplica de una fuente externa ajena al fruto u hortaliza (DeEll et al., 2003, p. 474).

Senescencia: Proceso de envejecer, se relaciona a los cambios generados por el paso del tiempo (Real Academia Española, 2015).

RESUMEN

Se desarrolló y estudió un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama. La formulación del recubrimiento incluyó carragenina (CR), cera de abeja (BW), ácido esteárico (AE) y saborizante de piña (SB). Para esto se determinaron las concentraciones de los componentes de la emulsión. La concentración de CR se determinó por el método de inversión de tubo, para la concentración de BW se analizó la estabilidad de las emulsiones CR-BW, y para la concentración de AE y SB se analizaron el pH, la viscosidad, el tamaño y la distribución de partícula, y la estabilidad de las emulsiones. La formulación del recubrimiento seleccionada para su aplicación en piña de IV gama fue la siguiente: CR 1,00%, BW 0,60%, AE 0,07% y SB 1,25% (base húmeda).

Para estudiar el efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de carragenina en la calidad poscosecha de la piña de IV gama, la materia prima se seleccionó por su contenido de sólidos solubles totales (SST) y grado de madurez. Posteriormente, las piñas se procesaron (pelado, cortado y troceado) y se recubrieron por inmersión durante 15 s. Las muestras se secaron y la piña mínimamente procesada se almacenó en envases de poliestireno (PS) transparente y rígido durante 8 días a 4°C y 90% de humedad relativa. Se realizaron análisis físicos (pérdida de peso y textura), químicos (sólidos solubles totales, acidez titulable y pH), microbiológicos y sensoriales.

La aplicación del recubrimiento en piña de IV gama disminuyó la pérdida de firmeza en un 22% y la pérdida de peso en un 14% en relación al producto sin recubrir. Las características químicas de la piña (SST, pH y acidez titulable) se mantuvieron durante todo el almacenamiento. El recubrimiento no alteró visualmente el producto a lo largo del almacenamiento. El resultado de un análisis sensorial triangular indicó que el producto recubierto se diferencia del producto sin recubrir. Esta diferencia favoreció al producto recubierto, cuyas evaluaciones sensoriales incluyeron comentarios como “más dulce”, “sabor más intenso” y “olor más agradable”.

Se realizó una estimación de costos relacionados con la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha y el almacenamiento de los frutos recubiertos. Esta estimación permitió conocer que la aplicación del recubrimiento implica un incremento de 13% del costo total de los equipos y de 1% de los costos variables, en relación a los costos de piña de IV gama sin recubrir. El proyecto de inclusión de la línea de recubrimiento, almacenamiento y empaque de piña de IV gama resultó rentable (TIR 12,44%). Se obtuvo un valor positivo del VAN, es decir que además de recuperar la inversión, se obtendría utilidad. Esta utilidad sería de USD 1 540 anuales.

INTRODUCCIÓN

Los productos de IV gama (mínimamente procesados) surgen de la necesidad de proveer alimentos frescos, saludables y listos para consumir (Moros, 2010, p. 26; Rico, Martín-Diana, Barat y Barry-Ryan, 2007, p. 373). Los productos de IV gama son más sensibles a afecciones que los productos frescos debido a las operaciones empleadas en el procesamiento mínimo (Artés y Allende, 2005, p. 679; Francis et al., 2012, p. 595).

Las características de deterioro que se presentan mayoritariamente en productos de IV gama son decoloración, ablandamiento y pérdida de peso. Los consumidores esperan que el producto sea nutritivo, de buen aspecto, sin modificación en el sabor y la textura esperados. Los recubrimientos comestibles tienen gran potencial para cubrir estas exigencias (Artés y Allende, 2005, p. 679; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, p. 212).

En años recientes, los trabajos científicos en este campo se han orientado al uso de recubrimientos comestibles para mejorar la calidad y extender la vida útil de frutos frescos y mínimamente procesados (Vargas, Pastor, Chiralt, McClements y González, 2008, p. 501). El uso de recubrimientos en productos cortados provee beneficios a la economía y al consumidor ya que genera nuevos productos que proporcionan valor agregado.

Las propiedades funcionales de los recubrimientos comestibles dependerán de la composición (polisacáridos, proteínas, lípidos u otros compuestos) y de la estructura de sus componentes, además de las condiciones de almacenamiento y el proceso de elaboración. La inclusión de cualquier aditivo modifica las propiedades de los recubrimientos, por lo que es necesario formular el recubrimiento de acuerdo a la aplicación de destino (Quezada-Gallo, 2009, p. 324).

Los recubrimientos comestibles pueden mantener ingredientes activos dentro de su estructura. Estos ingredientes pueden ser agentes antimicrobianos, saborizantes, colorantes y nutrientes (Dhall, 2013, p. 446). Un material capaz de alojar estos componentes es la carragenina (Yuguchi, Thuy, Urakawa y Kajiwara, 2002, p. 521).

La adición de saborizantes a los recubrimientos comestibles incursiona en un campo que lidera el desarrollo de sistemas que buscan mejorar la calidad de los alimentos. Gran cantidad de saborizantes no son solubles en agua pero pueden ser inmovilizados en los recubrimientos, en este caso se requerirán emulsificantes (Kramer, 2009, p. 132).

Esta investigación tuvo el objetivo de desarrollar y estudiar un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama. Para esto se definieron los siguientes objetivos específicos: desarrollar emulsiones a base de carragenina y lípido, determinar el efecto de la concentración de un emulsificante y un saborizante en las propiedades físicas y químicas de las emulsiones, estudiar el efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de carragenina en la calidad poscosecha de la piña de IV gama, y estimar los costos de implementación del recubrimiento como tratamiento poscosecha.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. TRATAMIENTOS POSCOSECHA DE FRUTAS

Las necesidades y demandas de los consumidores en cuanto a productos alimenticios son variables. Esta variabilidad ha determinado la evolución de los productos de la I a la IV gama. La I gama está constituida por las frutas y verduras en fresco, enteras; la II gama se constituye de productos en conserva; la III gama se compone de productos congelados de caducidad media; y finalmente la IV gama está compuesta por productos mínimamente procesados. Los productos de IV gama, por lo general se presentan sellados en empaques semipermeables, requieren de almacenamiento en refrigeración y tienen una vida útil corta (Moros, 2010, p. 25; Rico et al., 2007, p. 373).

Las frutas de IV gama o mínimamente procesadas se originan de productos frescos en los que se ha realizado operaciones de pelado, cortado, lavado, rallado y/o triturado. Estas operaciones unitarias causan la destrucción de células de la superficie y exponen el citoplasma. Estas condiciones hacen a los productos mínimamente procesados sensibles a afecciones causadas por los factores involucrados en el deterioro poscosecha. Estas afecciones pueden ser minimizadas con tratamientos poscosecha convencionales y no convencionales (Francis et al., 2012, p. 595).

1.1.1. FACTORES INVOLUCRADOS EN EL DETERIORO POSCOSECHA

Una vez cosechada la fruta, no hay posibilidad de mejoras adicionales en la calidad del producto, puesto que con la cosecha se retira el abastecimiento de agua y nutrientes. El procesamiento mínimo incrementa la sensibilidad de estos productos debido a la ruptura de las células. Las principales características de deterioro que se presentan en frutas de IV gama son decoloración, pardeamiento,

ablandamiento y pérdida de peso. Estos trastornos se deben a factores biológicos y ambientales (Artés y Allende, 2005, p. 679; Francis et al., 2012, p. 595).

1.1.1.1. Factores biológicos

Entre los factores biológicos se encuentran la respiración, la transpiración, los cambios metabólicos y el factor patológico (Artés y Allende, 2005, p. 683).

La respiración es un proceso de consumo de las reservas energéticas de la fruta. Durante la respiración se produce energía mediante la oxidación de carbohidratos. Este proceso produce pérdidas en la calidad de sabor (dulzor), valor nutricional y textura. En productos de IV gama la respiración es mayor que en productos frescos. Esto debido al incremento de la producción de etileno provocado por las operaciones del procesamiento (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 657). El etileno es una hormona de maduración y se relaciona a la velocidad de envejecimiento de las frutas y hortalizas (DeEll et al., 2003, pp. 472-474).

La transpiración es un proceso en el que el producto pierde agua hacia la atmósfera. La principal afectación de este proceso biológico en la calidad poscosecha es la pérdida de peso, lo que deriva en pérdidas cuantitativas (pérdida de peso comercial). La pérdida de agua también provoca alteraciones en la apariencia: marchitez, arrugamiento y flacidez (Kader, 2011, p. 46).

Los cambios metabólicos que se dan durante el desarrollo y maduración del fruto en la planta pueden continuar luego de la cosecha. Estos cambios, cuando no son deseados, son factores responsables de deterioro. Por ejemplo, la degradación de las pectinas junto con otros polisacáridos resulta en el ablandamiento de las frutas. Los cambios en ácidos orgánicos, proteínas, aminoácidos y lípidos pueden influir en el sabor del producto. Un deterioro de la calidad nutricional se puede dar por pérdida de vitaminas, en especial de Vitamina C (Kader, 2011, pp. 44, 45).

Las frutas pueden sufrir deterioro patológico, consecuencia de ataques de bacterias y hongos. Todos los productos se infectan en mayor o menor grado durante el almacenamiento, pero los productos de IV gama tienen especial sensibilidad al ataque microbiológico debido a su alta actividad de agua (Francis et al., 2012, p. 595).

1.1.1.2. Factores ambientales

Los principales factores ambientales involucrados en el deterioro poscosecha son temperatura, humedad relativa y oxígeno ambiental. Dentro de estos, la temperatura es el factor que más influye en la velocidad de deterioro poscosecha, con un incremento de 10°C sobre la temperatura óptima, la velocidad de deterioro aumenta hasta tres veces (Kader, 2011, p. 47).

La disminución de temperatura contribuye a la conservación de la calidad poscosecha de las frutas. La respiración y transpiración son las variables que se ven directamente afectadas por la temperatura. El ataque microbiológico también se relaciona a la temperatura. Cada fruta tiene una temperatura óptima de almacenamiento y de transporte poscosecha. Estas temperaturas dependen del tipo y presentación del producto (entero, pelado, cortado, etc.). El valor óptimo de temperatura para frutas mínimamente procesadas oscila entre 4 y 5 °C (Cáceres, Mulkay, Rodríguez y Paumier, 2010, pp. 5, 7).

Las bajas temperaturas pueden provocar efectos negativos. Estos efectos se denominan daño por frío y se originan por un aumento en la rigidez de la membrana celular. Los síntomas del daño por frío incluyen anomalías del desarrollo (madurez incompleta), depresiones de la piel e incremento de la susceptibilidad al ataque microbiano (Artés y Artés-Hernández, 2003, pp. 2, 4).

Junto con las temperaturas bajas se utilizan humedades relativas altas, ya que en condiciones de baja humedad relativa la transpiración se incrementa y provoca una elevada pérdida de agua. Esto puede derivar en la aparición de arrugas y

ablandamiento de tejidos. La humedad relativa óptima para un determinado producto dependerá de su relación superficie-volumen (a mayor valor de esta relación, mayor transpiración). Los valores de humedad relativa óptimos para productos de IV gama están entre 85 y 95 % (Cáceres et. al, 2010, pp. 5, 7).

El oxígeno molecular que se encuentra en el ambiente provoca pardeamiento enzimático, que es una reacción de oxidación catalizada por la enzima polifenoloxidasas. El pardeamiento enzimático se presenta tras un daño mecánico en frutas enteras, y debido al corte de los tejidos en frutas mínimamente procesadas (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 657).

1.1.2. TRATAMIENTOS CONVENCIONALES

Los efectos negativos producidos por los factores de deterioro, tanto biológicos como ambientales, pueden ser disminuidos significativamente con tratamientos poscosecha. Algunas de estas prácticas que buscan mantener la calidad, se realizan de manera habitual y se denominan convencionales. Tal es el caso de los tratamientos químicos y térmicos (Rico et al., 2007, p. 374).

1.1.2.1. Tratamientos químicos

El objetivo principal de la aplicación de productos químicos es la reducción de la carga microbiana. Los tratamientos químicos se realizan mayoritariamente con compuestos de cloro como el hipoclorito y con ácidos orgánicos. Además se utilizan otros compuestos como calcio y fungicidas (Spadoni, Neri y Mari, 2015, pp. 94, 95).

La aplicación de un tratamiento químico con cloro se realiza con desinfectantes a base de cloro con valores de pH entre 6,0 y 7,5 para reducir al mínimo la corrosión de equipos. Los compuestos de cloro se utilizan generalmente en concentraciones desde 50 a 200 ppm. Los ácidos orgánicos que se pueden

utilizar en tratamientos químicos son ácido cítrico, acético, láctico y tartárico. La función antimicrobiana de estos ácidos orgánicos responde a su acción sobre la membrana celular de los microorganismos o a la reducción del pH del entorno (Rico et al., 2007, pp. 376, 377). El calcio estabiliza las paredes celulares y las hace más resistentes a las enzimas liberadas por hongos. La aplicación de calcio también inhibe la acción del etileno en las membranas celulares, lo que retrasa el inicio de la senescencia (Madani y Forney, 2015, p. 20).

La aplicación de fungicidas es un tratamiento químico utilizado para minimizar el crecimiento fúngico. El tipo y tiempo de aplicación de este tratamiento depende de la fruta y del compuesto activo del fungicida (Arrebola, 2015, pp. 270, 271).

1.1.2.2. Tratamientos térmicos

La herramienta más efectiva para mantener la calidad poscosecha de productos hortofrutícolas es el manejo de la temperatura. Como tratamientos térmicos se puede considerar la refrigeración, el escaldado y el choque térmico (Kader, 2011, pp. 47, 48; Rico et al., 2007, p. 380).

La refrigeración poscosecha debe realizarse para remover rápidamente el calor de campo. Para esto se puede utilizar hidrogenfriamiento, enfriamiento por evaporación, enfriamiento al vacío o la utilización de un cuarto frío. Paralelamente a la refrigeración se debe controlar la humedad relativa. Esto se realiza con el uso de humidificadores, con la regulación del movimiento de aire y ventilación, y con el uso de barreras contra la humedad para aislar las paredes de los cuartos de almacenamiento y vehículos de transporte (Kader, 2011, pp. 47, 48).

Los tratamientos térmicos con adición de calor se realizan para el control de enfermedades y buscan la inactivación microbiana. Su efecto depende de la temperatura y tiempo del tratamiento (Rico et al., 2007, p. 380; Spadoni et al., 2015, p. 90). Los tratamientos térmicos con adición de calor en frutas

mínimamente procesadas pueden reducir el pardeamiento enzimático (Spadoni et al., 2015, p. 90).

Los tratamientos térmicos son el escaldado y choque térmico. El escaldado consiste en el calentamiento a temperaturas entre 70 y 80 °C durante pocos segundos (menos de 1 min). Mientras que en el choque térmico se tiene una temperatura entre 45 y 60 °C durante menos de 5 min. Generalmente el choque térmico se combina con un tratamiento químico. Estos tratamientos regularmente se realizan con agua, ya sea por inmersión o por aspersion; aunque también pueden realizarse con vapor (Rico et al., 2007, p. 380).

1.1.3. TRATAMIENTOS NO CONVENCIONALES

Se han incrementado las actividades de investigación y desarrollo relacionados con tecnología poscosecha. Por lo que hoy existen varias alternativas no convencionales para reducir las pérdidas poscosecha (Rico et al., 2007, p. 374). Algunos de estos tratamientos son atmósferas modificadas, aplicación de 1-MCP, tratamiento con ozono e irradiación.

Las atmósferas modificadas consisten en la modificación de los gases que rodean al producto hortofrutícola con el objetivo de producir una composición diferente a la del aire. Esta modificación lleva a bajos niveles el O₂ y a altos niveles el CO₂, y reduce la tasa de respiración de los productos; por lo tanto retrasa la senescencia. Un decremento excesivo en el nivel de O₂ podría favorecer procesos fermentativos. Las concentraciones recomendadas de estos gases dependen del producto. Las frutas mínimamente procesadas son más tolerantes a altas concentraciones de CO₂ que las frutas frescas (Rico et al., 2007, p. 379).

La aplicación del 1-metilciclopropano (1-MCP), que es un inhibidor del etileno, se realiza para mantener la calidad en aspectos relacionados al color y producción de volátiles. El 1-MCP puede retrasar la pérdida de clorofila y proteínas. Los efectos del 1-MCP se relacionan con la especie, variedad y estado de madurez

del producto. Estos efectos dependen de la concentración y tiempo de exposición (Watkins, 2015, pp. 118, 122). En piña mínimamente procesada tratada con 1-MCP se redujo la pérdida de Vitamina C y la tasa de respiración (Budu y Joyce, 2003, pp. 179-180).

El tratamiento con ozono busca reducir la carga microbiana. El ozono es un oxidante potente capaz de causar daño a los microorganismos y en algunos casos es más eficiente que el cloro, además, se descompone rápidamente en oxígeno sin dejar residuos. Las desventajas de este tratamiento son la mayor corrosividad del ozono y su costo (en comparación al cloro) (Arrebola, 2015, p. 268; Rico et al., 2007, p. 378). Este tratamiento ha sido aplicado con éxito en frutas enteras y de IV gama (Beltrán, Selma, Marín y Gil, 2005, p. 5662; Rico et al., 2007, p. 373)

El tratamiento con irradiación constituye un medio físico de conservación que elimina bacterias, hongos y levaduras. Consiste en exponer al producto a niveles controlados de radiación durante un tiempo determinado. Su mecanismo de acción es la ruptura de cadenas de ADN. La efectividad del tratamiento depende de la dosis, distribución, y calidad inicial de la fruta. Este tratamiento podría provocar trastornos fisiológicos si se producen radicales libres originados de los productos radiolíticos del agua (Arrebola, 2015, pp. 247, 248). Esta tecnología se ha probado en frutas mínimamente procesadas en combinación con otros métodos como desinfección con cloro y atmósferas modificadas (Spadoni et al., 2015, p. 93).

1.2. RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Los recubrimientos comestibles se consideran un tratamiento poscosecha no convencional. Los recubrimientos comestibles tienen gran potencial para cumplir las exigencias de los consumidores: frutas y vegetales nutritivos, de buen aspecto y con una larga vida útil, sin diferencias en el sabor y la textura esperados (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, p. 212).

Los recubrimientos comestibles se definen como matrices continuas que contienen proteínas, polisacáridos, lípidos o una combinación de los anteriores. Un recubrimiento comestible se diferencia de una película comestible en la forma de aplicación como cobertura. Las películas comestibles son estructuras independientes aplicadas como una estructura preformada alrededor del alimento y los recubrimientos son una forma particular de películas que se forman luego de su aplicación directa a la superficie del alimento (Zaritzky, 2011, p. 631).

En poscosecha, la funcionalidad de los recubrimientos comestibles se da en dos aspectos: mecánicos y de barrera. Por el lado mecánico, se busca proteger al producto hortofrutícola de daños causados por impactos, presión, vibraciones, entre otros. Como barrera, los recubrimientos comestibles regulan la transferencia de gases y vapor de agua, es decir que pueden regular la transferencia de masa entre componentes del producto y entre el producto y el medio externo, lo que podría extender su vida útil (Pavlath y Orts, 2009, p. 16). En general, las características deseables de los recubrimientos comestibles incluyen: estabilidad física y química, altas eficiencias como barrera mecánica y a gases y atributos sensoriales neutrales o favorables al producto (Debeaufort y Voilley, 2009, p. 135).

Las propiedades funcionales de un recubrimiento comestible dependerán de la composición y estructura de sus componentes, además de las condiciones de almacenamiento y el proceso de elaboración. Estas propiedades deben mantenerse durante las condiciones de procesamiento, transporte y almacenamiento de una fruta u hortaliza en particular (Dhall, 2013, p. 446).

El uso de recubrimientos en frutas y verduras a nivel comercial se realiza con ceras, pero el desarrollo de recubrimientos comestibles que combinan hidrocoloides y los lípidos es de gran interés, ya que se dan un aspecto más natural que las ceras (Pérez-Gago y Rhim, 2014, p. 344). En productos de IV gama, los recubrimientos comestibles se aplican para regular la transferencia de agua y compuestos aromáticos, así como para conservar su firmeza (Olivas y

Barbosa-Cánovas, 2005, p. 659; Trejo-Márquez, Ramos-López y Pérez-Guillén, 2007, p. 236).

Un gran número de trabajos científicos se han orientado al uso de recubrimientos comestibles para mejorar la calidad de las frutas frescas y mínimamente procesadas y extender su vida útil (Vargas et al., 2008, p. 501). Se han desarrollado y caracterizado nuevos materiales a partir fuentes naturales (Dhanapal et al., 2012, p. 9).

Las películas y recubrimientos comestibles surgen también como alternativa de elección a los empaques alimenticios tradicionales. Estos pueden ser consumidos con el producto y son biodegradables. Esta última característica es importante debido al interés en reducir los envases sintéticos no biodegradables (Dhanapal et al., 2012, p. 9). Otros usos de los recubrimientos comestibles incluyen su utilización en carnes, confitería, panadería y cereales (McHugh y Avena-Bustillos, 2012, pp. 297, 301,302; Nieto, 2009, p. 98, 99,102).

1.2.1. COMPONENTES

Existe una gran diversidad de materiales usados en películas y recubrimientos comestibles, y dentro de una clasificación general, estos pueden ser polisacáridos, proteínas o lípidos. Los hidrocoloides son un gran grupo de materiales que incluyen los polisacáridos y proteínas. Los lípidos incluyen ácidos grasos, resinas y ceras (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, p. 228; Pérez-Gago y Rhim, 2014, p. 326,327). Otros compuestos añadidos a las formulaciones incluyen plastificantes y emulsificantes, la adición de estos compuestos se realiza con el objetivo de modificar las propiedades funcionales o físicas de las películas y recubrimientos comestibles (Han, 2014, p. 214, 330).

Para frutas mínimamente procesadas, los recubrimientos comestibles se formulan mayoritariamente con hidrocoloides y lípidos (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 661). La adición de ingredientes hidrofóbicos en matrices de polisacáridos mejora

la barrera a la humedad mientras mantiene las ventajas de permeabilidad al oxígeno, a otros gases y solutos que ofrece el uso de polisacáridos (Nieto, 2009, p. 107). Estos recubrimientos (formados por una combinación de materiales hidrofílicos e hidrofóbicos) toman el nombre de recubrimientos comestibles compuestos y se pueden elaborar como una emulsión o una bicapa (Zaritzky, 2011, p. 639). En una emulsión, el lípido se dispersa en la matriz de polisacárido o proteína y en una bicapa, el lípido forma una capa sobre otra del hidrocoloide (Pérez-Gago y Krochta, 2005, p. 385).

1.2.1.1. Polisacáridos

Los polisacáridos son hidrocoloides de altos pesos moleculares y solubles en agua. Los polisacáridos se usan en la formulación de recubrimientos comestibles debido a sus propiedades de estabilización, el espesamiento y gelificación. Estas propiedades se muestran cuando hay interacción con el agua, mediante la construcción de una red tridimensional de cadenas interconectadas. En solución, las moléculas del polímero pueden ordenarse de la manera que atrapan agua dentro de la asociación molecular (Nieto, 2009, p. 58).

Los polisacáridos como material para recubrimientos comestibles, poseen buenas propiedades de adhesión al producto y de permeabilidad al oxígeno, incluso se utilizan con el único objetivo de proteger al producto de la oxidación (Pavlath y Orts, 2009, p. 15; Nieto, 2009, p. 59). Pero en general, su limitación es su bajo desempeño como barrera al vapor de agua. Las diferentes estructuras, cargas y grado de hidrofobicidad de los polisacáridos, derivan en variaciones en sus propiedades físico químicas, así como en la capacidad de formar recubrimientos comestibles (Vargas et al., 2008, p. 497).

Los polisacáridos más usados en recubrimientos comestibles son el almidón, celulosa y derivados, gomas, quitosano, pectina, alginatos y carrageninas. La variedad y la versatilidad de estos polímeros proporcionan una amplia selección

de materiales para la formulación de recubrimientos comestibles (Nieto, 2009, p. 97).

La carragenina es un polisacárido utilizado como matriz en recubrimientos comestibles. El nombre carragenina se deriva de las especies *Chondrus crispus* de algas (*Rhodophyceae*). Comercialmente se encuentran combinaciones de estos hidrocoloides enfocados a su aplicación para suspensiones o estabilizantes. Su estructura primaria se basa la repetición alternada de β -D-galactosa enlazada en la posición 3, y α -Dgalactosa con enlace en la posición 4 (Abdou y Sorour, 2014, p. 190; Prajapati, Maheriya, Jani y Solanki, 2014, p. 98).

Las estructuras químicas y propiedades de las carrageninas dependen de la posición y cantidad de los grupos sulfato. Así se da la denominación kappa, iota y lambda. El contenido de sulfato en peso en kappa (κ -carragenina) es 20%, en iota (i-carragenina) 33%, y 41% en lambda (λ -carragenina). (Hambleton, Debeaufort, Beney, Karbowski y Voilley, 2008, p. 1059).

La carragenina se utiliza en recubrimientos comestibles por sus propiedades de gelificación y espesamiento. Estas propiedades conllevan la generación de una red tridimensional por asociación de algunos segmentos del biopolímero mediante calentamiento. El proceso empieza cuando el sistema presenta una estructura original, que luego de ser calentada se rompe y libera las cadenas del hidrocoloide. Cuando la temperatura disminuye el sistema se reorganiza y se lleva a cabo la formación de redes tridimensionales (Yuguchi et al., 2002, p. 515).

La CR en solución acuosa y luego de enfriarse, forma cadenas simples o hélices dobles dependiendo de la concentración de CR. Las cadenas simples resultan en una solución viscosa y las hélices dobles resultan en la formación de un gel. Este comportamiento de las soluciones de CR se observa en la Figura 1.1, que muestra un ejemplo de la formación de cadenas simples con una concentración de CR inferior a 1,5 % y la formación de hélices dobles con una concentración de CR superior a 1,5 % (Yuguchi et al., 2002, p. 520).

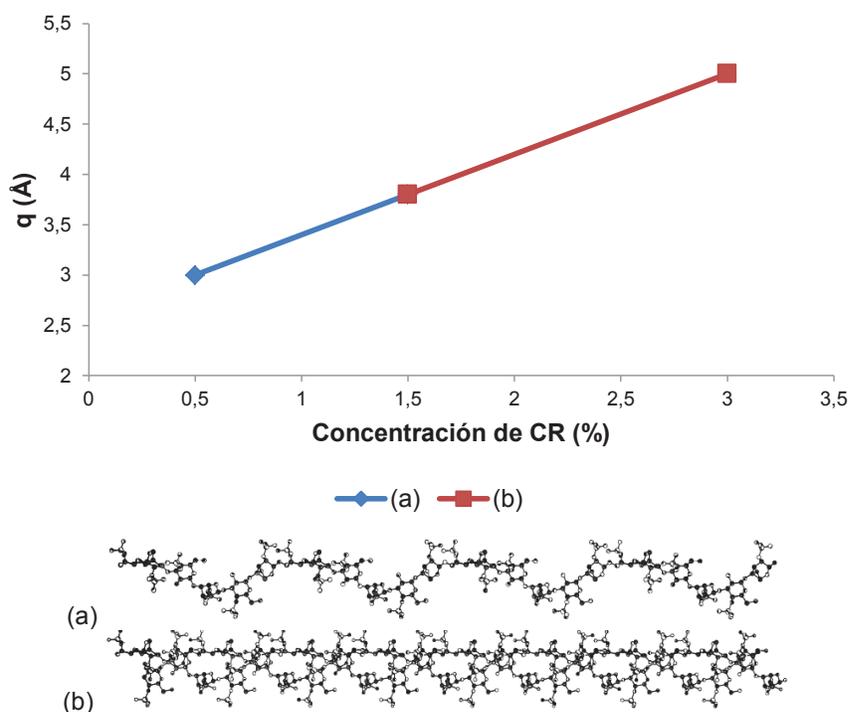


Figura 1.1. Intensidad de dispersión (q) (medida mediante difracción de rayos X) en función de la concentración de CR (%) en solución acuosa. Valores superiores a 1,5% de CR determinan intensidades mayores, propias de hélices dobles de CR
(Adaptado de Yuguchi et al., 2002, p. 520)

Los recubrimientos comestibles de carragenina presentan ventajas interesantes: buenas propiedades mecánicas, estabilización de emulsiones y reducción en la transferencia de oxígeno. Además, la *i*-carragenina se reconoce como una buena matriz para albergar compuestos bioactivos. Su microestructura, composición e interacciones permiten la retención de compuestos aromáticos en recubrimientos comestibles. La inclusión de lípidos como la cera de abeja, permite una mejor protección del aroma albergado (Hambleton, Fabra, Debeaufort, Dury y Voilley, 2009, p. 88).

1.2.1.2. Proteínas

Las proteínas se han usado por varias décadas como material para recubrimientos comestibles y su mayor ventaja es la estabilidad física (Pavlath y Orts, 2009, p.15). Los recubrimientos comestibles de proteínas pueden actuar

como vehículos para los compuestos activos, tales como antimicrobianos o nutrientes. La limitación de estos compuestos es la baja resistencia al vapor de agua. Esta limitación podría superarse con modificaciones químicas o enzimáticas en su estructura (Vargas et al., 2008, p. 497).

La habilidad de las proteínas para formar recubrimientos comestibles depende de algunas características: peso molecular, conformación, estabilidad térmica y propiedades eléctricas de la molécula (Vargas et al., 2008, p. 497). Normalmente las proteínas se denaturan por calor o presencia de un ácido o base, esto extiende sus estructuras y permite la formación de recubrimientos. Esta extensión permite que las cadenas de las proteínas se asocien por enlaces hidrogeno, iónicos, covalentes o hidrofóbicos. Cuando las interacciones entre cadenas incrementan resultan en recubrimientos más fuertes pero menos permeables a gases, vapores y líquidos (Dhall, 2013, p. 439).

Varias proteínas, tanto de fuentes vegetales como animales, pueden ser utilizadas como componentes de recubrimientos comestibles. Estas son la zeína, la proteína de soya, el gluten de trigo, el colágeno, la gelatina, la proteína del suero de la leche y la caseína (Dhall, 2013, p. 446).

1.2.1.3. Lípidos y resinas

Los lípidos se incluyen en recubrimientos como lámina simple, como película dispersa en una malla de hidrocoloides (emulsión) o como lámina secundaria sobre una de hidrocoloides (bicapa) (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 662). Por su hidrofobicidad y estructura, los lípidos presentan buena barrera a la migración de vapor de agua y se usan para reducir la respiración de la fruta o vegetal con el objetivo de extender la vida útil del producto. Con el efecto de las ceras y resinas en la transmisión de oxígeno y dióxido de carbono, se podría provocar respiración anaerobia (Baldwin y Hagenmaier, 2012, p. 5; Pavlath y Orts, 2009, p. 16).

La efectividad de los recubrimientos comestibles que incluyen lípidos, depende del tipo de lípido, de sus interacciones con otros componentes, de su estructura y disposición química, polaridad y estado físico (sólido o líquido). Los lípidos en estado sólido resultan en mejores propiedades que en estado líquido, porque la solubilidad del vapor de agua es menor cuando hay más organización molecular del lípido. El tamaño de partícula y la distribución homogénea son los factores más influyentes para lograr una barrera efectiva al vapor de agua y gases (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, p. 234; Pérez-Gago y Rhim, 2014, p. 327).

Las ceras son los lípidos más usados en recubrimientos comestibles. Están compuestas por mezclas de ésteres de alta masa molecular, constituidas por alcoholes monohidroxilados y ácidos grasos. Las resinas son un grupo de sustancias ácidas utilizadas en recubrimientos comestibles, que pueden ser secretadas por ciertas plantas o insectos, o pueden ser fabricadas sintéticamente (Hall, 2012, p. 80; Pérez-Gago y Rhim, 2014, p. 327).

La cera de abeja se ha aplicado comercialmente como recubrimiento en frutas y verduras desde 1930. Para su uso en recubrimientos se refina con tierra de diatomeas y carbón activado, y es blanqueada con permanganatos o bicromatos. El punto de fusión de esta cera se encuentra en el rango desde 60 hasta 65 °C (Hall, 2012, pp. 83,84). En comparación con otras ceras, la cera de abeja es la más eficiente en el control de pérdida de humedad al aplicarse como recubrimiento comestible (Debeaufort y Voilley, 2009, p. 150).

1.2.1.4. Emulsificantes

En recubrimientos comestibles compuestos, donde partículas hidrofóbicas se encuentran dispersas en una matriz hidrofílica, los emulsificantes se utilizan para estabilizar la fase dispersa (Quezada-Gallo, 2009, p. 314). Los emulsificantes son compuestos anfifílicos que actúan en la interfaz sistemas inmiscibles mediante la modificación de la energía superficial. Mediante este mecanismo los

emulsificantes incrementan la estabilidad de los recubrimientos comestibles compuestos (Hall, 2012, p.157).

Los agentes emulsionantes comúnmente utilizados para elaboración de recubrimientos compuestos son las sales de metales alcalinos de ácidos grasos o surfactantes no iónicos (Hall, 2012, p. 89).

1.2.1.5. Aditivos

Los recubrimientos han sido reconocidos por una aplicación innovadora que consiste en incluir componentes funcionales. Estos componentes pueden controlar la pérdida de color, sabor, textura y la generación de sabores no deseados. Los componentes funcionales se adicionan en pequeñas cantidades y no deben afectar a la aceptación del consumidor. La inclusión de aditivos es una práctica creciente en la formulación de recubrimientos comestibles para productos de IV gama (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 659).

La elección del aditivo depende del objetivo deseado, naturaleza del producto y la aplicación específica. La inclusión de un aditivo puede modificar las propiedades de los recubrimientos comestibles, debido a cambios en su estructura, resultado de cambios físico-químicos en las interacciones polímero-polímero. Los cambios dependen de factores como polaridad, tamaño molecular y afinidad del aditivo a las moléculas del polímero (Quezada-Gallo, 2009, pp. 315, 324).

Los compuestos activos más estudiados en su aplicación en recubrimientos comestibles son los agentes antimicrobianos (Valencia-Chamorro, Palou, Del Río y Pérez-Gago, M., 2011, p. 873). Los más usados en este campo son ácido benzoico, benzoato de sodio, sorbato de potasio y/o ácido propiónico. Los aceites esenciales son un grupo importante de agentes antimicrobianos estudiados en recubrimientos comestibles (Quezada-Gallo, 2009, p. 316).

Otros aditivos que se pueden incluir en recubrimientos comestibles son los potenciadores de textura que se añaden para minimizar el ablandamiento durante el almacenamiento de frutas y verduras mínimamente procesadas. Además se pueden añadir antioxidantes (compuestos fenólicos) (Quezada-Gallo, 2009, p. 317).

De entre los compuestos activos estudiados como aditivos en recubrimientos comestibles, los saborizantes pueden llegar a ser los ingredientes más caros de cualquier fórmula. Incluso en pequeñas cantidades tienen altos costos y además son volátiles. La incorporación de pequeñas cantidades de saborizante puede tener una influencia significativa en la calidad y satisfacción del consumidor, así como en el costo del producto final (Madene, Jacquot, Scher y Desobry, 2006, pp. 1, 2).

Los saborizantes generalmente no son miscibles en agua, por lo que dispersarlos en una matriz hidrofílica representa un reto. Estos sabores pueden inmovilizarse como pequeñas gotas en la matriz hidrofílica, es decir, como una emulsión. Para prevenir la coalescencia y cremado de la emulsión se requiere emulsificante y/o homogenización de alta cizalla, así como una alta viscosidad de la solución para frenar la movilidad de las gotas (Kramer, 2009, p. 132). Las definiciones de coalescencia y cremado se detallan en el acápite 1.2.2.

1.2.2. PROPIEDADES DE LOS RECURIMIENTOS COMESTIBLES

Las propiedades de los recubrimientos comestibles compuestos (formados por una combinación de materiales hidrofílicos e hidrofóbicos) se evalúan en una emulsión, antes de aplicarse en el producto. Esto permite predecir su comportamiento una vez aplicado. Una emulsión es una dispersión de un compuesto en una fase líquida continua de composición diferente. En general, las emulsiones pueden ser de agua en aceite (W/O) cuando las gotas dispersadas son de agua, o de aceite en agua (O/W) cuando las gotas de aceite se dispersan en agua (Schramm, 2014, p. 6). Las características de las formulaciones de una

emulsión se determinan por la naturaleza de las interacciones entre el hidrocoloide y el lípido (Pérez-Gago y Krochta, 2005, p. 393).

La estabilidad es una propiedad importante de las emulsiones (Taherian, Fustier y Ramaswamy, 2006, p. 688). Una emulsión de aceite en agua (O/W) es inherentemente inestable debido a la diferencia de gravedad específica entre las gotas y el medio acuoso (Dickinson, 2009, pp. 24, 25). La estabilización de una emulsión resulta de un balance de fuerzas electrostáticas e hidrofóbicas (Pérez-Gago y Krochta, 2005, p. 393).

La formación de una emulsión es un proceso dinámico y termodinámicamente desfavorable. Por lo tanto, después de un tiempo largo o corto, cualquier emulsión se separará. Esto puede suceder por algunos mecanismos:

- Cremado: Surge de la acción de la gravedad sobre las gotas de menor densidad que produce un gradiente vertical de concentración. El proceso induce la formación de una capa de crema en la parte superior y una capa clara de suero en la parte inferior.
- Floculación: Se trata de la agregación de las gotas sin que se produzcan partículas más grandes. El grado de floculación se determina por las fuerzas de atracción entre las partículas lipídicas.
- Coalescencia: Sucede cuando las partículas dispersas en proceso de cremación o floculación producen nuevas partículas más grandes.
- Maduración de Ostwald. Es el crecimiento de las partículas dispersas a expensas de otras más pequeñas por difusión del material a través de la fase continua (Dickinson, 2009, pp. 24, 25).

Otras características de los recubrimientos comestibles se determinan por sus propiedades reológicas. De estas, la viscosidad es un factor crítico que condiciona la aplicación como recubrimiento comestible (Taherian et al., 2006, p. 688). Las propiedades reológicas son importantes en el diseño y evaluación del proceso de manufactura del recubrimiento (Kurt y Kahyaoglu, 2014, p. 53). Influyen en la aceptabilidad del consumidor y se relaciona a parámetros físicos en una

evaluación sensorial (Abdou y Sorour, 2012, p. 190). Un aumento en la viscosidad de la fase acuosa del recubrimiento comestible puede resultar en una menor tasa de floculación y coalescencia, debido a que el movimiento cinético de las gotas de lípido se reduce (Taherian et al., 2006, p. 688).

Las interacciones entre los componentes de la emulsión y la organización entre ellos determinarán las propiedades estructurales de la emulsión. Un análisis microestructural aporta esta información (Pérez-Masiá, Fabra y Talens, 2009, p. 12). Para determinar el tamaño y distribución de partícula se aplica un haz de luz a la emulsión y se mide la cantidad de luz dispersada. Esta técnica se conoce como método de difracción de luz láser (Bravin, Peressini y Sensidoni, 2004, p. 6448).

Otras propiedades importantes de los recubrimientos y películas comestibles son las propiedades mecánicas y de barrera, mismas que se evalúan en las películas comestibles (García, Pinotti, Martino y Zaritzky, 2009, p. 169). Aquellas propiedades que permiten conservar la integridad de la película durante la manipulación corresponden a las propiedades mecánicas. Se estudian en base a la resistencia a la tracción, porcentaje de elongación y módulo de Young, determinados en curvas tensión-deformación (*stress-strain*). Las propiedades de barrera mesurables en películas comestibles incluyen la permeabilidad al vapor de agua, permeabilidad a los gases (O_2 , CO_2), permeabilidad a volátiles y otros solutos. La permeabilidad al oxígeno y dióxido de carbono son importantes en productos de IV gama debido a las reacciones de oxidación (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2009, p. 225).

Las propiedades ópticas incluyen brillo, transparencia y color. Estas propiedades son cruciales en la calidad del producto. El brillo depende de la microestructura del recubrimiento, es decir de la distribución y el diámetro de partícula. La transparencia se puede medir con técnicas basadas en la absorbancia. El color se mide en la superficie de la película usando un colorímetro (Vargas et al., 2008, p. 502; Zaritzky, 2011, p. 635).

1.2.3. MÉTODOS DE APLICACIÓN

Las formulaciones del recubrimiento deben extenderse en su estado líquido sobre la superficie de los alimentos. Para este objetivo existen varios métodos, entre ellos el de inmersión, aspersión, tambor, tornillo y lecho fluidizado. Independientemente del método de aplicación, el proceso continúa con etapas de secado y refrigeración (Debeaufort y Voilley, 2009, p. 141). En los productos de IV gama, los recubrimientos pueden disolverse y absorberse por las superficies húmedas en lugar de secarse (García et al., 2009, p. 174).

En productos mínimamente procesados los métodos más utilizados son inmersión y aspersión (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 664). El método de inmersión consiste en sumergir el producto en el recubrimiento. La técnica de aspersión consiste en aplicar el recubrimiento mediante una boquilla de pulverización. Esta boquilla determina el flujo y el tamaño de las gotas (Debeaufort y Voilley, 2009, p. 144). Si la viscosidad es alta, la solución de recubrimiento no puede ser rociada, por tanto, las mezclas de alta viscosidad sólo permiten técnicas de recubrimiento como la inmersión (Dhanapal et al., 2012, p. 13; Han, 2014, p. 237).

Los métodos de tambor y de tornillo se utilizan en el campo alimenticio para nueces y quesos. El recubrimiento de lecho fluidizado es una técnica que se utiliza para alimentos de baja densidad y tamaño pequeño (Debeaufort y Voilley, 2009, pp. 143, 144).

1.3. POSCOSECHA Y PROCESAMIENTO MÍNIMO DE LA PIÑA

La piña es un fruto múltiple (se genera de una inflorescencia en racimo), se compone de varias bayas fusionadas al corazón del fruto y dispuestas formando un patrón regular alrededor del eje central. El brote de hojas en la parte superior de la piña se llama corona. Esta es una extensión del meristemo original del eje principal de la planta (Kader, Sommer y Arpaia, 2011, p. 441).

Por su forma de reproducción (vegetativa por esquejes), los tipos de cultivo de la piña se llaman clones, y de aquí surgen las diferentes variedades. Estas variedades incluyen a los clones Cayenne, Español, Queen, entre otros. El cultivar de piña más ampliamente producido es la Cayena Lisa que puede representar variedades comerciales como la MD2 (Extra Dulce o *Golden Sweet*) (Kader et al., 2011, pp. 441, 442; Mohammed, 2004, p.7).

1.3.1. POSCOSECHA DE LA PIÑA

1.3.1.1. Madurez y cosecha

Durante el desarrollo en la planta, las piñas aumentan de peso e incrementan sus sólidos solubles totales y acidez en la pulpa. Durante la maduración se dan los siguientes cambios: los sólidos solubles de la pulpa aumentan notablemente; la producción de etileno aumenta sin un pico evidenciable; no hay cambio dramático en la tasa respiratoria (22 mgCO₂/kg·h a 23 °C); los lípidos totales disminuyen; los fosfolípidos y aminoácidos aumentan; y se pierde la clorofila de la cáscara lo que provoca un cambio de color que inicia en la base de la fruta (Paull y Chen, 2002, pp. 255-258). La carta de color que indica el estado de madurez de la piña se observa en el Anexo I.

Los productos hortofrutícolas climatéricos continúan la maduración luego de la cosecha y en estos la senescencia se asocia a un incremento en la producción de etileno autocatalítico. Las frutas no climatéricas, como la piña, no continúan el proceso de maduración luego de la cosecha, por lo que deben ser cosechadas en un estado apropiado para su consumo (DeEll et al., 2003, pp. 472-474).

La cosecha de la piña tiene lugar aproximadamente 110 días luego de la floración, cuando la base de la fruta ha cambiado de verde a amarillo. Por su naturaleza no climatérica, la fruta puede cosecharse antes de cambios notables de color, ya que puede cumplir los requisitos exigidos de calidad aunque dichos cambios no sean notables. Estos requisitos incluyen un contenido mínimo del 12 °Brix de sólidos

solubles totales y una acidez máxima del 1%. Además, es recomendable un porcentaje de translucidez no mayor a 40%. La translucidez es una expresión del color de la pulpa que tiene una apariencia vidriosa (translúcida) cuando aumenta la cantidad de líquido contenido en las células. Este fenómeno incrementa a medida que las frutas maduran (Kader et al., 2011, p. 443; Paull y Chen, 2002, pp. 259, 260).

La cosecha de la piña se realiza a mano, los cosechadores seleccionan la fruta en base al color y/o tamaño y la cortan desde el pedúnculo con un corte limpio de 5 a 20 mm de largo. Las piñas se deben desinfectar luego de un máximo de 3 h para prevenir ataque fúngico. Luego la fruta se traslada hacia el área de procesamiento (piña de IV gama) o de empaque (piña fresca) (Mohammed, 2004, p. 9).

1.3.1.2. Operaciones en empacadora

Para el comercio de la piña fresca, luego de la cosecha se transporta al área de empaque. En el área de empaque la fruta se preenfria en agua para retirar el calor de cosecha. Luego se colocan las piñas en la línea de embalaje y se clasifican en función del tamaño o etapa de madurez. Se realiza una aplicación de fungicida (Tiabendazol o Benomilo) por inmersión o aspersion y se pueden encerar las frutas para prevenir el daño por frío. Después de estos tratamientos las piñas se dejan secar y luego se clasifican nuevamente para el embalaje (De la Cruz y García, 2005, p. 27; Kader et al., 2011, p. 444).

En la piña se puede realizar un tratamiento de desverdización, que cambia únicamente el color mas no cambia otros índices de calidad como el sabor y la firmeza. Es decir, para aplicar el tratamiento de desverdización, la fruta debe cumplir con los índices de madurez requeridos al momento de la cosecha. El tratamiento de desverdización se realiza con etileno exógeno que estimula el cambio de color mediante la síntesis de carotenoides y la degradación de la clorofila (Hernández, Barrera y Melgarejo, 2010, pp. 169, 170).

El embalaje de la piña fresca consiste en colocar cajas de cartón y pesarlas simultáneamente mediante una máquina calibradora (De la Cruz y García, 2005, p. 25). La paletización es esencial para minimizar el daño de la fruta provocado por la manipulación durante en transporte (Mohammed, 2004, p. 12).

Para el almacenamiento y transporte se recomiendan temperaturas en el intervalo de 7,5 a 12 °C y con humedades relativas entre 90 y 95%. A temperaturas por debajo de 7 °C la fruta presenta daño por frío que se evidencia en el oscurecimiento de la pulpa, en especial alrededor del eje central (De la Cruz y García, 2005, p. 29; Kader et al., 2011, p. 444).

La comercialización y distribución física de los productos se realizan en camión cerrado, camión abierto o vehículo refrigerado (De la Cruz y García, 2005, p. 29) Para transporte internacional las piñas se embarcan en contenedores marítimos o por vía aérea. Por vía aérea, la vida poscosecha potencial es de 2 a 4 semanas y por vía marítima es de alrededor de 2 semanas dependiendo del estado de madurez y de la variedad (Kader et al., 2011, p. 444).

1.3.2. PROCESAMIENTO MÍNIMO DE LA PIÑA

1.3.2.1. Operaciones unitarias en el procesamiento mínimo de la piña

Previo a las operaciones de procesamiento mínimo de la piña se debe realizar una preparación de la materia prima. Esta preparación incluye una clasificación por tamaño y/o grado de madurez. También se debe realizar el retiro de la corona (Hepton y Saulo, 2003, p. 284). Los procesos de producción de piña fresca y de IV gama se aprecian en la Figura 1.2.

El procesamiento mínimo de la piña incluye las operaciones unitarias de pelado, cortado, rebanado y/o troceado. El pelado consiste en el retiro de la cáscara, mientras que el rebanado consiste en formar subdivisiones horizontales en la pulpa. La eliminación del corazón se realiza por corte del eje central de la fruta.

Adicionalmente se puede realizar el troceado, que consiste en la formación de trozos cuadrados o triangulares a partir de las rebanadas de piña (Artés y Allende, 2005, pp. 685, 686).

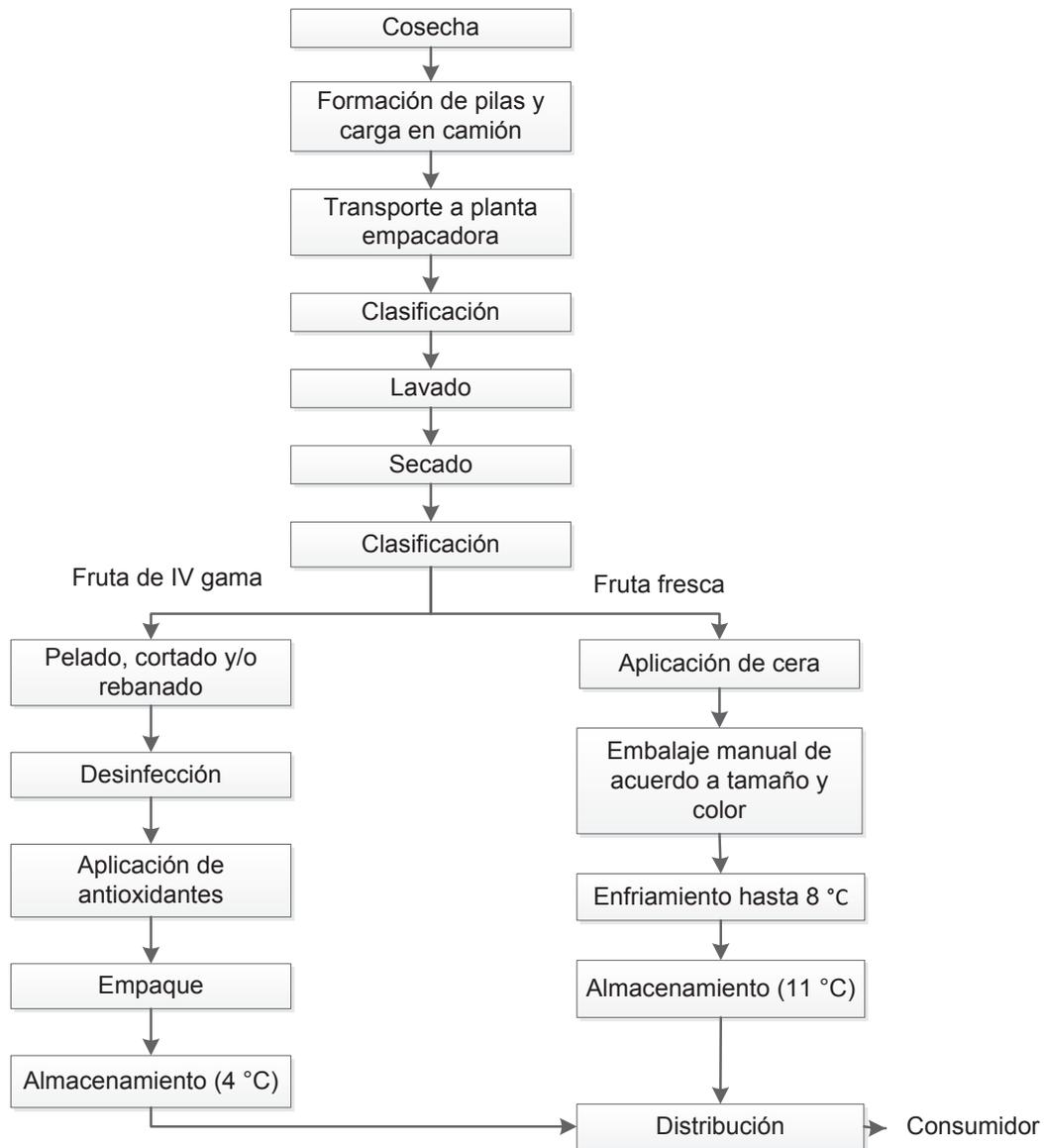


Figura 1.2. Diagrama de flujo del proceso de producción de piña entera y piña de IV gama (Adaptado de Mohammed, 2004, p. 14)

El procesamiento mínimo de la piña se realiza de manera industrial con una tecnología llamada *Ginaca* (Mohammed, 2004, p. 12). Esta tecnología transporta en una banda a las piñas hasta una cuchilla de diámetro ajustable que retira la

cáscara y el corazón. De este proceso sale un cilindro (pulpa) y pasa a un tambor giratorio que rebana la piña. Esta tecnología puede incluir un troceador cuadrangular o triangular automático. Con este proceso se puede procesar una piña en menos de 10 s (Hepton y Saulo, 2003, p. 284).

El lavado de la fruta cortada, en la industria de los productos mínimamente procesados, es crítico. Este lavado se realiza con agua y agentes desinfectantes (Artés y Allende, 2005, p. 687). En piña rebanada y troceada se recomienda utilizar una solución de hipoclorito de sodio 200 ppm durante 3 min. Esta operación requiere escurrir el producto por al menos 5 min. Sin embargo, la operación de lavado puede resultar inconveniente para la aplicación de otros tratamientos no convencionales, como los recubrimientos comestibles. Este inconveniente se presenta debido a que la superficie del producto a recubrir se humedece, lo que disminuye la adherencia del recubrimiento (Montero-Calderón, 2010, pp. 136, 144).

Para el empaque de piña de IV gama se pueden utilizar materiales sólidos o flexibles. Dentro de los materiales sólidos, el poliestireno (PS) transparente y rígido es el material polimérico más adecuado (Montero-Calderón, 2010, p. 137). El envasado en atmósferas modificadas es también una práctica en el envasado de este producto. Marrero y Kader (2006) disminuyeron la decoloración de la piña de IV gama al utilizar atmósferas con niveles de 10% de CO₂ y menos de 8% de O₂ (pp. 165, 166).

Un estudio realizado por Finnegan, Mahajan, O'Connell, Francis y O'Beirne (2013) determinó que, para la variedad MD2 (*Golden Sweet*), las rodajas de 1 cm disminuyen la tasa de respiración, en relación a rodajas de 2,5 y 5 cm. La tasa de respiración también se disminuye utilizando troceado triangular. En el mismo estudio se determinó que el mejor estado de madurez de la piña MD2, para usarla como materia prima en la elaboración de piña de IV gama, es el estado equivalente al 5 de la Figura A1 (Anexo I) (pp. 49, 51).

1.3.2.2. Factores que influyen en el deterioro de la piña de IV gama

Las operaciones unitarias empleadas en el procesamiento mínimo de la piña causan la destrucción de células de la superficie y exponen el citoplasma. Esto hace que los tejidos sufran estrés y proporciona una fuente rica de nutrientes para los microorganismos (Artés y Allende, 2005, p. 679; Francis et al., 2012, p. 595).

Las características de deterioro que se presentan mayoritariamente en piña de IV gama son decoloración, ablandamiento y pérdida de peso. Estos trastornos se deben a los factores respiración y transpiración, temperatura y humedad relativa. Además, la piña de IV gama tiene alta sensibilidad al ataque microbiológico debido a su alta actividad de agua y contenido de azúcares (Artés y Allende, 2005, p. 679; Francis et al., 2012, p. 595).

Otros factores influyentes en la disminución de la calidad de la piña mínimamente procesada son: la calidad de la materia prima, las tecnologías de procesamiento, la calidad de agua, los métodos de empaque y la aplicación o no de tratamientos poscosecha no convencionales (Artés y Allende, 2005, p. 679, 681). La calidad de la materia prima es un factor muy influyente puesto que la piña debe ser cosechada en el estado óptimo de madurez para obtener productos de calidad (Hepton y Saulo, 2003, p. 281).

1.3.2.3. Evaluación de la calidad

El término calidad reúne un conjunto de requisitos que deben ser cumplidos. En un enfoque práctico se compara a la aceptabilidad. En los productos de IV gama la calidad es una combinación de los parámetros textura, sabor, valor nutricional y apariencia (Rico et al., 2007, pp. 374).

Los parámetros de calidad para piña de IV gama, según Hepton y Saulo (2003), son:

- Sabor, olor y presencia de malos sabores y olores.

- Apariencia visual (defectos visibles).
- Pérdida de peso y firmeza.
- Acidez total (porcentaje (%) como ácido cítrico).
- Sólidos solubles totales (°Brix) y porcentaje (%) de sólidos insolubles.
- Contenido de vitamina C.
- pH.
- Carga microbiológica (p. 289).

La calidad de la piña mínimamente procesada puede mantenerse con el uso de recubrimientos comestibles. El uso de estos puede extender la vida útil de la piña de IV gama y generar nuevos productos que proporcionan valor agregado (Vargas et al., 2008, p. 501). En su mayoría estos recubrimientos se componen de una matriz hidrofílica que alberga compuestos hidrofóbicos.

La adición de saborizantes aprovecha la capacidad de los recubrimientos comestibles de albergar ingredientes activos e incursiona en un campo que lidera la búsqueda del mejoramiento de la calidad de los alimentos (Kramer, 2009, p. 132).

Esta investigación tuvo el objetivo de desarrollar y estudiar un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama. Para esto se desarrollaron emulsiones a base de carragenina y lípido, y se determinó el efecto de la concentración de un emulsificante y un saborizante en las propiedades físicas y químicas de las emulsiones. De las emulsiones resultantes se seleccionó una para aplicar como recubrimiento y se estudió el efecto de su aplicación en la calidad poscosecha de la piña de IV gama. Además se estimaron los costos de implementación del recubrimiento como tratamiento poscosecha.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DESARROLLO DE EMULSIONES A BASE DE CARRAGENINA Y LÍPIDO

Para el desarrollo de emulsiones a base de carragenina y lípido se utilizó i-carragenina SeaKem® XP 3633 (FMC Biopolymer, Filadelfia, Estados Unidos) como componente principal de las emulsiones. Se utilizó cera de abeja grado 1 (Fomesa Fruitech S.L., Valencia, España) como componente lipídico.

El desarrollo de emulsiones de carragenina (CR) y cera de abeja (BW) se realizó en dos etapas. En la primera se determinó la concentración de la solución de CR y en la segunda se determinó la de concentración de BW.

2.1.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CARRAGENINA

Para determinar las condiciones de temperatura de dispersión de la CR en agua destilada, se realizaron pruebas preliminares que consistieron en agregar la CR en frío (25 °C) y en caliente (70 °C) (Laaman, 2011, p. 2). Para la preparación de estas soluciones se añadió la CR evitando la formación de grumos. Estas pruebas se realizaron para soluciones de CR 3% (p/p).

Con el valor de temperatura seleccionado se prepararon las soluciones definitivas de CR. Se prepararon soluciones desde 0,5 hasta 3% (p/p) de CR en agua destilada. Para la preparación de estas soluciones se añadió lentamente la CR en el agua caliente, con la agitación activada. Las soluciones de CR se mantuvieron en agitación durante 15 min a 70 ± 1 °C.

Las características de las soluciones de CR se evaluaron por el método de inversión de tubo (Raghavan y Cipriano, 2006, p. 243). El método consistió en

tomar 10 mL de las soluciones calientes y almacenarlas en tubos de ensayo durante 24 horas a 25 °C. Luego las muestras se sacaron de la estufa (modelo: SM 400, Memmert, Schwabach, Alemania) y los tubos de ensayo se invirtieron lentamente hasta la posición vertical sobre una superficie plana. En esta posición, se caracterizaron las soluciones como viscosas (V), formadoras de gel (FG) o con separación de fases (F).

Se caracterizó una solución como formadora de gel (FG) cuando la muestra en posición vertical no fluyó durante al menos 2 min y se caracterizó una solución como solución viscosa (V) cuando la muestra en posición vertical fluyó y dejó un rastro en las paredes del recipiente (Raghavan y Cipriano, 2006, p. 243; Suzuki, Nakajima, Yumoto, Kimura, Shirai y Hanabusa, 2003, p. 8623). Fotografías del experimento se muestran en el Anexo II. De esta primera parte se seleccionó una solución viscosa sin separación de fases.

2.1.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CERA DE ABEJA EN LA EMULSIÓN

Para determinar la concentración del lípido, a la solución de CR seleccionada se le añadió BW en porcentajes desde 30 hasta 60% (del peso de la CR, base húmeda) (Karbowski et al., 2006, pp. 404-409). La adición de BW a la solución de CR se realizó mediante la preparación de emulsiones.

Para la preparación de las emulsiones, la solución de CR se preparó en agitación durante 15 min a 70 ± 1 °C y la BW se calentó simultáneamente, por separado, a 70 °C. La mezcla de BW y CR se realizó al añadir la solución de CR a la BW derretida. Inmediatamente esta mezcla se homogeneizó en un Ultraturrax® (modelo: T50, IKA-Labortechnik, Steufen, Alemania) durante 2 min a 12 000 rpm y a 20 000 rpm durante 2 min. La emulsión obtenida se enfrió en un baño de hielo (con agitación) hasta temperatura ambiente (Marcuzzo et al., 2012, p. 12178; Valencia-Chamorro, 2009, p. 69).

Para evaluar las diferentes concentraciones de BW se determinó la estabilidad de las emulsiones. Para esto se utilizó el método modificado por Taherian et al., (2006). Se colocaron, por duplicado, 60 mL de emulsión en probetas de 100 mL. Las muestras se almacenaron a 25 °C durante 48 h. Luego se calculó el porcentaje de separación de las fases con referencia a la altura total de la emulsión en la probeta según la ecuación 2.1 (p. 689).

$$\text{Estabilidad (\% de separación de fases)} = \frac{\text{fase separada (mm)}}{\text{altura total de la emulsión (mm)}} * 100 \quad [2.1]$$

Las emulsiones preparadas se evaluaron con un diseño experimental de un factor categórico completamente al azar, en busca de la que presentó mayor estabilidad (menor porcentaje de separación de fases) según la ecuación 2.1.

2.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE UN EMULSIFICANTE Y UN SABORIZANTE EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES

En esta etapa se utilizaron las concentraciones de CR y BW seleccionadas anteriormente para preparar emulsiones con adición de emulsificante y saborizante en diferentes concentraciones. Se utilizó ácido esteárico (Laquin Cia. Ltda., Quito, Ecuador) como emulsificante y un saborizante de piña (Laquin Cia. Ltda., Quito, Ecuador). El ácido esteárico (AE) se añadió desde 70:30 (p/p) hasta 90:10 (p/p) (relación BW-AE) y el saborizante (SB) se añadió desde 0,25 % hasta 1,25 % (v/p) de la solución total (Karbowski et al., 2006, p. 401).

Para añadir el AE y el SB a las emulsiones de CR y BW seleccionadas en la etapa anterior, se siguió el siguiente proceso que permitió homogeneizar todos los componentes:

Se preparó una mezcla de BW (porcentaje ya seleccionado), AE y SB. Para esto se calentó a 70 °C la BW y el AE (en conjunto) y luego se añadió el SB. Paralelamente se preparó la solución de CR (porcentaje ya seleccionado) a 70 ± 1

°C, en agitación, durante 15 min. Luego la solución de CR se añadió a la premezcla caliente de BW, AE y SB, y la mezcla resultante se homogeneizó en un equipo Ultraturrax® (T50, IKA-Labortechnik, Steufen, Alemania) durante 2 min a 12 000 rpm y a 20 000 rpm durante 2 min (Karbowski et al., 2006, p. 401). Las emulsiones obtenidas se enfriaron en un baño de hielo, con agitación, hasta temperatura ambiente (Valencia-Chamorro, 2009, p. 69).

En esta experimentación se utilizó un diseño factorial 3^2 , donde las variables de diseño fueron A: concentración de AE y B: concentración de SB. Los niveles del factor A fueron 70:30 (p/p), 80:20 (p/p) y 90:10 (p/p) (relación BW-AE) y los niveles del factor B fueron 0,25 %, 0,75 % y 1,25 % (v/p) de la solución total (Karbowski et al., 2006, p. 401). Para cada formulación se realizaron tres réplicas. Las emulsiones obtenidas fueron evaluadas mediante la determinación de pH, viscosidad, estabilidad, tamaño y distribución de partícula.

2.2.1. pH Y VISCOSIDAD

El pH se determinó por el método AOAC 973.41 con un pH-metro digital (modelo: HANNA Instruments, HI 8424, Madrid, España). La viscosidad se obtuvo con un viscosímetro (modelo: Brookfield DV II, Stoughton, MA) a 20°C y 20 rpm. En la determinación de la viscosidad se utilizó un *spindle* # 1.

2.2.2. ESTABILIDAD

Se determinó por el método modificado por Taherian et al. (2006), que consistió en colocar, por duplicado, 60 mL de emulsión en probetas de 100 mL. Las muestras se almacenaron a 25 °C durante 48 h. Luego se calculó el porcentaje de separación de las fases con referencia a la altura total de la emulsión en la probeta según la ecuación 2.1 (p. 689).

2.2.3. TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA

La determinación de la distribución y tamaño de partícula se realizó con un analizador de tamaño de partícula (modelo: 90 Plus Brookhaven Instruments Corp., Holtsville, NY) que utiliza difracción láser (Pérez-Masiá et al., 2009, p. 5).

2.2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó con el programa STATGRAPHICS Centurion versión XV mediante un análisis de la varianza (ANOVA). Se determinaron los efectos significativos principales y de interacción de los factores. Se buscó seleccionar una emulsión homogénea, estable y con el pH más cercano a la neutralidad, para aplicar como recubrimiento en la siguiente etapa.

2.3. ESTUDIO DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE CARRAGENINA EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA PIÑA DE IV GAMA.

Con la emulsión seleccionada, se realizó el estudio del efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de carragenina en la calidad poscosecha de la piña de IV gama. Este objetivo se realizó en tres etapas: preparación de la materia prima, aplicación del recubrimiento y evaluación de la calidad poscosecha. El proceso utilizado para elaborar la piña de IV gama recubierta se indica en la Figura 2.1.

2.3.1. PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Las piñas (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*) se adquirieron lavadas y desinfectadas en una empresa comercial ubicada en el cantón Rumiñahui,

Pichincha. Seguidamente se transportaron al Laboratorio de Poscosecha del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la Escuela Politécnica Nacional durante aproximadamente 1 h.

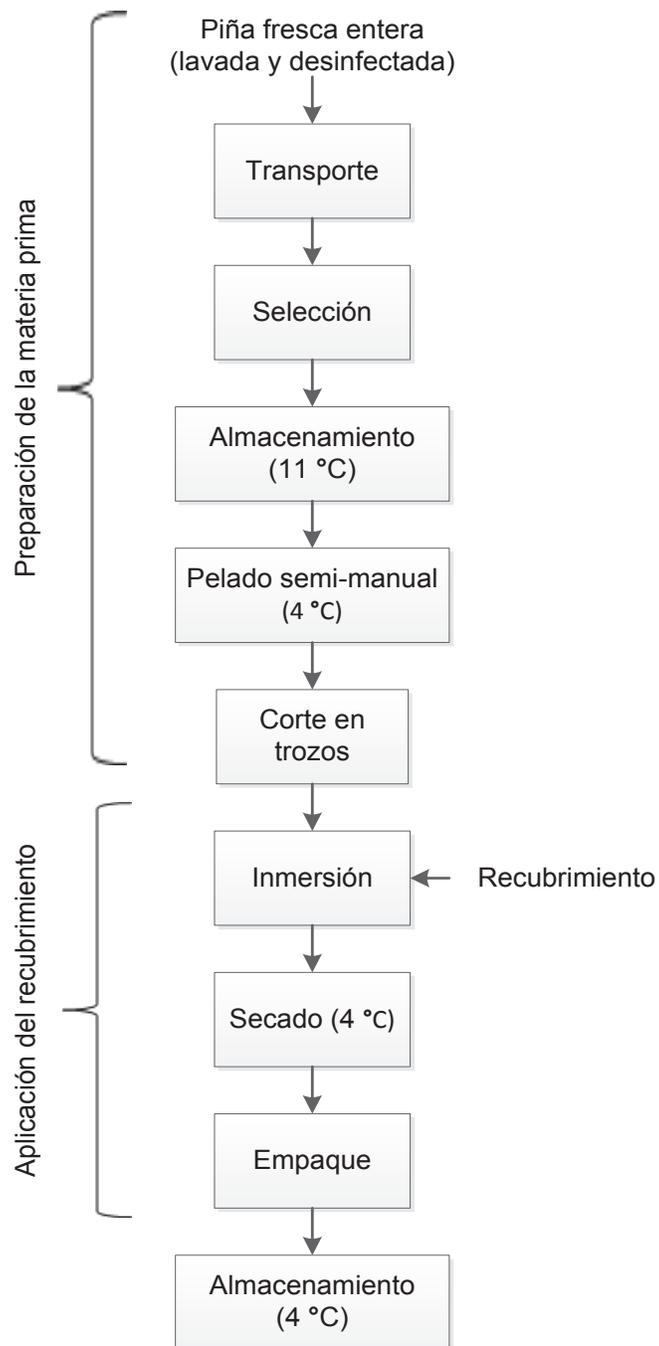


Figura 2.1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de piña de IV de gama recubierta

2.3.1.1. Selección de las piñas

Se realizó una selección de las piñas por su grado de madurez y por su contenido de sólidos solubles totales según el método AOAC 932.12. Se utilizaron las piñas que se encontraban en el grado 5 del estado de madurez, que según la NTE INEN 1 836:2009 corresponden a frutos con color verde cerca de la corona (INEN, 2009, p. 5). El estado de madurez para la selección de las frutas se observa en el Anexo I. Previo al procesamiento se verificó el contenido mínimo de sólidos solubles totales (12 °Brix) (De La Cruz y García, 2005, p. 7). Las piñas enteras seleccionadas se almacenaron en gavetas a 11 °C hasta su procesamiento.

2.3.1.2. Procesamiento

En las piñas seleccionadas se realizó el corte de una rodaja por la parte de la corona, luego la piña se peló y cortó en rodajas de tamaño uniforme (1 cm) con un cortador de piñas semi-manual (modelo: Vacu Vin, GEFU®, Eslohe, Alemania). Las rodajas obtenidas se cortaron manualmente en forma triangular. El funcionamiento del cortador semi-manual se observa en la Figura 2.2.

Todos los utensilios se desinfectaron previo a su uso en una solución 1% de hipoclorito de sodio. Todo el procesamiento se realizó en condiciones higiénicas a 4 °C.

2.3.2. APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

La aplicación del recubrimiento se realizó por inmersión. El recubrimiento se aplicó a los trozos triangulares de piña durante 15 s. Luego se escurrieron y se secaron sobre una malla con ayuda de un ventilador a 4 °C por 30 min. Después la piña mínimamente procesada se empacó en envases de poliestireno (PS) transparente y rígido en presentación de 200 g y se almacenó hasta 8 días a 4 °C. Muestras sin recubrir se utilizaron como control. Las muestras control se

sumergieron 15 s en agua destilada. La temperatura y humedad relativa de la cámara se controlaron con un *data logger* (modelo: HOBO UX90, Bourne, EE.UU.).



Figura 2.2. Procesamiento de la piña con un cortador semi-manual, 1: corte de una rodaja por la parte de la corona, 2: inserción giratoria del cortador, 3: desprendimiento vertical de la pulpa, 4: obtención de rodajas de piña de tamaño uniforme

2.3.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD POSCOSECHA

La evaluación de la calidad poscosecha de la piña de IV gama se realizó mediante análisis físicos (firmeza, pérdida de peso), químicos (contenido de sólidos solubles totales, pH y acidez titulable), microbiológicos y sensoriales. La evaluación de la calidad se efectuó a los 0, 4 y 8 días de aplicado el tratamiento.

La evaluación de la calidad se efectuó en un total de 33 muestras de 200 g por tratamiento (con recubrimiento y sin recubrimiento). Estas muestras se distribuyeron de la siguiente manera:

- 15 muestras para medición de firmeza, contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), pH y acidez titulable (análisis destructivos).
- 10 muestras para pérdida de peso.

- 3 muestras para análisis microbiológicos a los 0, 4 y 8 días (una muestra por cada día).
- 5 muestras para análisis sensoriales (suficientes para los panelistas) (Lawless y Heymann, 2010, pp. 83, 152).

2.3.3.1. Análisis físicos

El peso se determinó mediante el pesaje de las muestras en una balanza electrónica de plato (modelo: BBA51, Boeco, Hamburgo, Alemania), los resultados se expresaron como porcentaje de pérdida de peso.

La firmeza se determinó con un penetrómetro digital (modelo: 53205, Turoni®, Forlí, Italia) con un punzón de 6 mm. Se tomaron 3 medidas, cada una de un trozo triangular diferente. Las medidas se tomaron en el centro del trozo triangular y los resultados se expresaron en Newtons (N) (Santos, Vilas-Boas, Prado y Pinheiro, 2005, p. 354).

2.3.3.2. Análisis químicos

Para la determinación de sólidos solubles, pH y acidez titulable, se realizó la preparación de un jugo de las muestras mediante trituración manual y filtración. Los análisis químicos se realizaron 6 veces por tratamiento.

Los sólidos solubles totales se determinaron con un refractómetro (modelo: 80-150, Chase), con el método AOAC 932.12. Para la medición se colocaron 2 gotas de jugo sobre el prisma (AOAC, 2005). Los resultados se expresaron en °Brix.

El pH se midió con un pH-metro digital (modelo: HANNA Instruments, HI 8424, Madrid, España). Para su determinación se sumergió el electrodo en una muestra de jugo de aproximadamente 50 mL. Al obtener un valor estable, se tomó el valor de pH.

La acidez titulable se determinó según método de la AOAC 942.15 (AOAC Internacional, 2000, 942.15). Para esto se tomaron 50 mL de agua destilada y se añadieron 5 mL de jugo. Esta muestra se tituló con NaOH 0,1N hasta pH 8,2. Los resultados de acidez titulable se reportaron como porcentaje en masa de ácido cítrico según la ecuación 2.2.

$$A = \frac{f_a \times V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}} \times f}{V_o} * 100 \quad [2.2]$$

Donde:

A: porcentaje de ácido cítrico (%)

f_a : factor del ácido (0,064)

V_{NaOH} : volumen utilizado de NaOH (mL)

N_{NaOH} : normalidad de la solución de NaOH (mL)

f: factor de corrección de la solución de NaOH

V_o : volumen de la muestra de jugo (mL)

2.3.3.3. Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos se realizaron mediante siembra en placas petrifilm para aerobios totales (AT) con el método AOAC 997.12 (Guía 3M, 2001), hongos y levaduras (YM) con el método AOAC 997.02 (Guía 3M, 2004) y coliformes totales con el método AOAC 991.14 (Guía 3M, 1999). El recuento de AT se realizó después de 48 h de almacenamiento a 35 °C y el de YM después de 120 h de almacenamiento a 25 °C. El recuento de coliformes totales se realizó luego de 24 h de almacenamiento a 25 °C.

Para la obtención de los resultados se consideraron los petrifilm con recuentos entre 30 y 300 UFC·g⁻¹. Los resultados se compararon los límites permisibles del Reglamento (CE) No 1441/2007 del Parlamento Europeo.

2.3.3.4. Análisis sensoriales

Los análisis sensoriales se realizaron con la ayuda de 12 panelistas semientrenados. Se realizaron análisis visuales y de aroma (sabor + olor). Los análisis visuales se realizaron con el uso de una escala hedónica y el análisis de aroma se realizó mediante una prueba triangular.

Los análisis visuales consistieron en evaluar la apariencia general de las muestras y el aspecto del recubrimiento (homogeneidad, grietas, manchas). Se utilizó la siguiente escala hedónica, 3: Bueno, 2: Aceptable y 1: Malo. Para esto se ofreció a los panelistas 3 muestras por tratamiento (0, 4 y 8 días de almacenamiento) (Lawless y Heymann, 2010, pp. 83, 152; Valencia-Chamorro, 2009, p. 263). En el Anexo III se muestra el formato aplicado para la evaluación.

Se realizó una prueba triangular con el fin de conocer si hay diferencia sensorial de aroma (sabor + olor) entre las muestras recubiertas y las muestras control. Esta prueba se realizó a los 0, 4 y 8 días de aplicado el tratamiento. Adicionalmente se determinó la presencia o ausencia de sabores extraños. En el Anexo IV se muestra el formato aplicado para la evaluación.

2.3.3.5. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) y se utilizó el procedimiento de la Mínima Diferencia Significativa (LSD) ($p < 0,05$). Los cálculos se realizaron con el programa Statgraphics Centurion XV. Para la determinación de diferencias significativas en el análisis sensorial visual de las muestras y el recubrimiento se consideraron como variables al tiempo de almacenamiento y al tratamiento (Lawless y Heymann, 2010, pp. 501, 502). La interpretación de resultados de la prueba sensorial triangular se efectuó mediante la suma de respuestas correctas y la verificación de los resultados en tablas (ASTM, 2011, p. 5). La tabla utilizada para la interpretación de resultados del análisis sensorial se muestra en el Anexo V.

2.4. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMO TRATAMIENTO POSCOSECHA.

Se realizó una estimación de los costos relacionados a la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha y al almacenamiento de los frutos recubiertos. La estimación se realizó para una cantidad de 100 kg de fruta. Esta cantidad representa el 1% de las exportaciones diarias a los diferentes mercados de destino de los miembros de la Asociación de Productores de Piña del Ecuador (Asopiña) (PROECUADOR, 2011, pp. 1, 2).

La estimación incluyó los costos de equipos que se deberían integrar en la línea de producción de piña de IV gama para incluir el recubrimiento como tratamiento poscosecha. Además se determinaron los costos de insumos, materia prima, servicios y mano de obra requeridos. Se realizó una estimación de los costos de almacenamiento del producto. Para esto se determinó la capacidad, dimensiones y carga calórica de una cámara de refrigeración para piña de IV gama. Con estos datos se realizó una estimación de los costos de fabricación y funcionamiento de la cámara.

Se elaboró el flujo de caja para la inclusión de la línea de aplicación de recubrimiento, empaque y almacenamiento de la piña de IV gama. Para la elaboración del flujo de caja se estableció una vida útil del proyecto de 5 años. Los datos utilizados fueron: tasa de oportunidad 4,28% y una tasa de crecimiento anual 4% (PROECUADOR, 2011, p. 2). Los activos fijos depreciables fueron los relacionados a la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha. Se realizó la depreciación de estos activos mediante el método de línea recta. La rentabilidad económica se estimó mediante el cálculo de Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Punto de Equilibrio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DESARROLLO DE EMULSIONES A BASE DE CARRAGENINA Y LÍPIDO

Los hidrocoloides y lípidos constituyen la composición básica de los recubrimientos comestibles formulados para frutas mínimamente procesadas. Los hidrocoloides poseen propiedades como buenas barreras al O₂ y CO₂, mientras que los lípidos por ser hidrofóbicos actúan como barrera al vapor de agua. En este caso particular se utilizó carragenina (CR) como hidrocoloide y cera de abeja (BW) como componente lipídico. Como primer paso se definieron las concentraciones de carragenina CR y BW. La proporción de los componentes de las formulaciones de un recubrimiento afectan en forma variada a las frutas o vegetales (Baldwin y Hagenmaier, 2012, pp. 2,4).

3.1.1. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CARRAGENINA

En las pruebas preliminares de determinación de las condiciones de temperatura de dispersión de la CR, la formación de grumos se presentó mayoritariamente al utilizar el proceso de adición de CR en frío (25 °C). Este resultado se obtuvo posiblemente porque la CR utilizada contenía mínimas cantidades de κ-carragenina y/o λ-carragenina según las indicaciones del fabricante (Imeson, 2009, p. 169). La κ-carragenina se dispersa mejor en agua caliente que en agua fría (Prajapati et al., p.100). Con el procedimiento en caliente (70 °C) la CR se dispersó completamente (Laaman, 2011, p. 2).

Una vez definida la temperatura de dispersión de la CR (70 °C), se elaboraron las soluciones de CR definitivas. Las soluciones evaluadas fueron las que se muestran en la Tabla 3.1. La evaluación de las características de las soluciones de CR se realizó por el método de inversión de tubo de acuerdo a la escala dada

por Suzuki et al. (2003) de la Figura 3.1 (p. 8623). Los resultados del experimento se muestran en la Tabla 3.1 y se esquematizan en la Figura 3.2.

Tabla 3.1. Concentraciones de las soluciones de CR estudiadas y su caracterización (25 °C)

Solución	CR (% p/p)	Caracterización
1	0,5	F
2	1,0	V
3	1,5	FG, F
4	2,0	FG, F
5	2,5	FG
6	3,0	FG

V: solución como viscosa; FG: formadora de gel; F: separación de fases



Figura 3.1. Apariencia de (a) una solución caracterizada como viscosa y (b) una solución caracterizada como formadora de gel
(Adaptado de Suzuki et al., 2003, p. 8623)

La caracterización de las soluciones fue posible debido al calentamiento, agitación y enfriamiento de la solución de CR que generaron la gama de características descritas en la Tabla 3.1. Los resultados obedecieron a que la estructura original de la CR se disoció y luego, al enfriar las soluciones, su estructura se reordenó como redes tridimensionales para formar soluciones viscosas, un gel o la separación de fases (Imeson, 2009, p. 171; Karbowiak et al., 2006, p. 401; Yuguchi et al., 2002, p. 521).

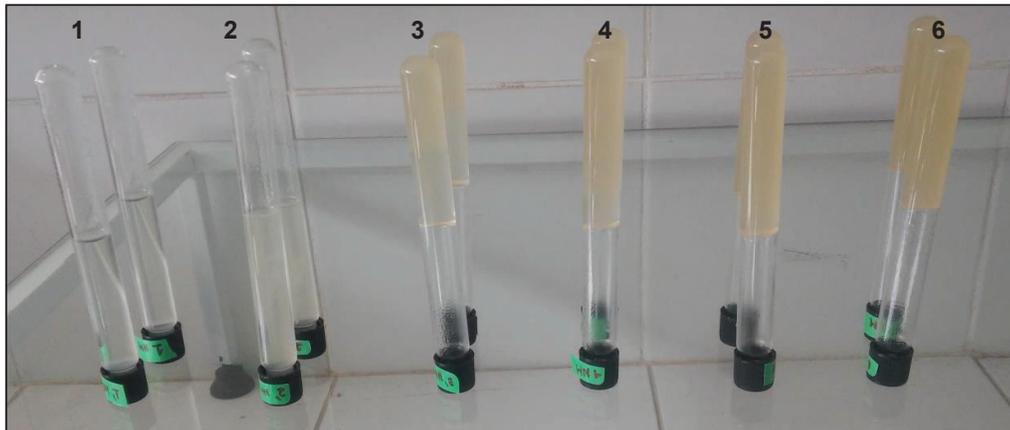


Figura 3.2. Resultados visuales de la caracterización de las soluciones de CR. De izquierda a derecha 1, 2, 3, 4, 5 y 6, junto con sus duplicados

Los resultados obtenidos indican que el incremento de la concentración de CR derivó en el cambio de una solución viscosa (V) a una solución formadora de gel (FG). La CR en solución acuosa y luego de enfriarse, habría formado cadenas simples en la solución 1 y 2; y hélices dobles en las soluciones 3, 4, 5 y 6 (Yuguchi et al., 2002, p. 520).

La solución 2 se presentó como idónea para la formulación de un recubrimiento comestible: una solución viscosa (V) y sin formación de gel. Esta solución cumplió con la característica visual de dejar rastro en las paredes del recipiente, característica exigida por el método para caracterizar una solución como viscosa. La solución 2 y su rastro en las paredes del recipiente se muestran en la Figura 3.3.

Al no formar un gel, la solución 2 fue deseable para utilizar en la formulación de un recubrimiento. La formación de gel (FG) imposibilita la aplicación del recubrimiento, ya sea por inmersión o aspersion; y resultaría en un recubrimiento no homogéneo y de difícil adherencia (Kurt y Kahyaoglu, 2014, p. 53). Además, la solución 2 no presentó separación de fases (F), por lo que tuvo potencial para albergar otros componentes en su matriz (Kurt y Kahyaoglu, 2014, p. 53). La separación de fases es una característica no deseada ya que es una clara evidencia de que la solución no será útil para la inclusión de otro componente y por tanto no es útil para la formación de emulsiones (Dhall, 2013, p. 437).

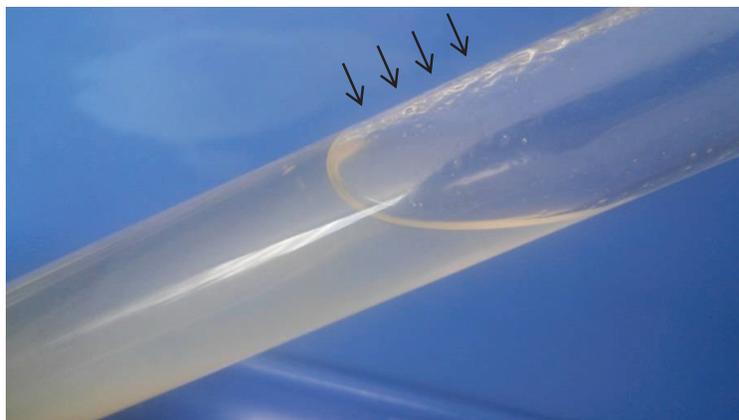


Figura 3.3. Apariencia de la solución 2. Las flechas indican el rastro observado en las paredes del recipiente

Las soluciones 3, 4, 5 y 6 resultaron formadoras de gel (FG). Es decir que a estas concentraciones se habrían formado hélices dobles. Un estudio realizado por Kara, Tamerler, Bermek y Pekcan (2003), evidenció la formación de gel a partir de soluciones 1% de CR. Las soluciones 3, 4, 5 y 6 se descartaron como potenciales para conformar la matriz del recubrimiento comestible. Esto debido a que la formación de gel no es deseable por la dificultad de aplicación y adherencia del recubrimiento (Kurt y Kahyaoglu, 2014, p. 53).

La separación de fases de las soluciones 3 y 4 es una muestra del proceso de formación de las hélices dobles. Esta separación de fases se observa claramente en la Figura 3.4. Un estudio realizado por Kara et al. (2003), evaluó mediante transmisión de fotones la formación de cadenas simples y hélices dobles en soluciones de CR. Este estudio reveló que la visualización macroscópica de dos fases en gel se debe a la formación parcial de dobles hélices de CR, mientras que la parte más translúcida contiene aún cadenas simples (p. 38).

La solución 1 se descartó debido a la separación de las fases que se daría debido a una hidratación incompleta de la CR. Debido a la baja concentración, no es posible llegar a la formación de cadenas simples. Esto significa que el tamaño molecular de la CR en solución es pequeño y las moléculas del solvente no son capaces de rodearlo (Abdou y Sorour, 2014, p. 190). Esta solución no sería útil

para la formación de emulsiones, debido a que no puede incluir otros componentes en su matriz.

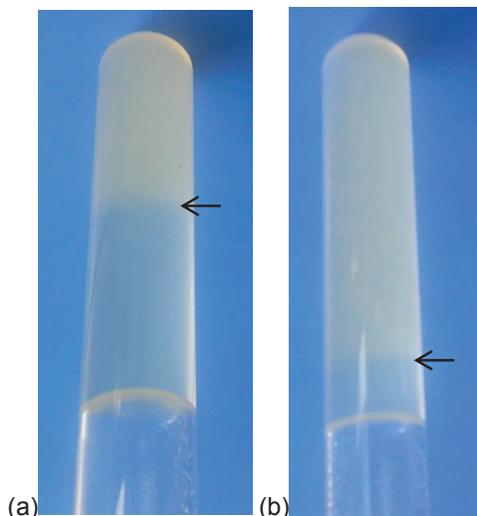


Figura 3.4. Separación de fases de las soluciones (a) 3 y (b) 4.
Las flechas indican el límite de las fases

Según los resultados descritos, la solución 2 fue la única que se caracterizó como solución viscosa (V) y que presentó buenas características para formular un recubrimiento, por lo que no se requirió de otro análisis determinante para la elección de la concentración de CR. Dicho análisis pudo ser uno analítico de viscosidad y habría sido necesario en el caso de que más de una solución presentase las características presentadas por la solución 2. Sin embargo, se midió la viscosidad de la solución 2 que tuvo un valor de 80 cP. Este valor es similar al reportado por Marcotte, Taherian y Ramaswamy (2001), al calentar la solución de CR a 80°C y enfriar. Estos autores también demuestran que la alta viscosidad de la solución de CR se logra al calentarla por encima de los 60°C. Bajo este valor las soluciones obtenidas tuvieron viscosidades alrededor de 10 cP (p. 698).

De esta primera parte se seleccionó la concentración de CR de 1 % (solución 2) ya que se presentó como solución viscosa (V) y no evidenció separación de fases (F) (Dhall, 2013, p. 437; García, et al., 2009, p.174).

3.1.2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CERA DE ABEJA EN LA EMULSIÓN

Los hidrocoloides se utilizan para recubrimientos comestibles por sus propiedades como buenas barreras al O₂ y CO₂ y se combinan con lípidos debido a sus propiedades de barrera al vapor de agua (Olivas y Barbosa, 2005, p. 661). En este caso, ya se ha definido la concentración del hidrocoloide (CR 1 %) en la formulación. Para complementar las propiedades del hidrocoloide se añadió BW como componente lipídico. La BW es muy utilizada en el desarrollo de recubrimientos comestibles con resultados exitosos (Baldwin y Hagenmaier, 2012, pp. 4,5). Hambleton et al. (2008), tuvieron éxito al incluir diferentes compuestos aromáticos en emulsiones de BW y CR (p. 1062).

La combinación de la solución de CR (hidrofílica) con la BW (hidrofóbica) se realizó con la elaboración de emulsiones. Para determinar la mejor concentración de BW para formar una emulsión con CR, se estudiaron porcentajes de BW desde 30 hasta 60% (del peso de la CR, base húmeda) y se evaluó la estabilidad de las emulsiones (Taherian et al., 2006, p. 688). Para el experimento, el rango de BW seleccionado se debe a que cuando la composición de lípidos en una emulsión es menor al 20% en relación al hidrocoloide, las propiedades del recubrimiento serían las del hidrocoloide (Bravin et al., 2004, p. 6448); por otro lado, valores sobre el 50%, sobrepasan un punto crítico en el que no se mejoran las propiedades de barrera al vapor de agua (Han, 2014, p. 339; Navarro, 2007, p. 114).

La composición de BW en las emulsiones CR-BW, así como los resultados de su estabilidad se muestran en la Tabla 3.2. La estabilidad varió ($p < 0,05$) con el contenido de BW de la emulsión.

La estabilidad de las emulsiones de CR-BW se debe a las propiedades estabilizantes de la CR. Estas propiedades son consecuencia de la formación de cadenas tridimensionales de CR que retienen los glóbulos del lípido. Esto provoca

una reducción del cremado, de la floculación y la coalescencia (Dickinson, 2009, pp. 24, 35).

Tabla 3.2. Composición de BW en las emulsiones CR-BW (CR 1%) y su estabilidad (% de separación de las fases)

Emulsión	BW (% p/p)^x	Estabilidad (%)^y
CBa	0,30	9,67±0,57 a
CBb	0,40	6,70±0,51 b
CBc	0,50	6,90±0,59 b
CBd	0,60	3,78±0,04 c

^x porcentajes relacionan la cantidad de BW en peso utilizada por cada 100 g de solución de CR;

^y diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores de estabilidad (n=4) significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD (p<0,05)

Los resultados de estabilidad muestran que a medida que incrementa el porcentaje de BW en las emulsiones, estas se tornan más estables. En términos generales, la estabilidad las emulsiones CR-BW requiere que la repulsión entre partículas sea suficiente para superar los efectos de coalescencia y floculación. Al mismo tiempo las partículas deben tener la cercanía suficiente para evitar el cremado por efecto de la gravedad (Dickinson, 2009, p. 26). La densidad del lípido en la emulsión (número de partículas de lípido por unidad de volumen de emulsión) sería la determinante respecto a las fuerzas de atracción y repulsión entre las gotas de BW (Schramm, 2014, p. 171). A menores concentraciones de BW las fuerzas de atracción serían insuficientes para evitar efectos de la gravedad (diferencia de densidades), tal es el caso de las emulsiones CBa, CBb y CBc (Park, Lee y Furst, 2014, p. 11).

La estabilidad de las emulsiones CR-BW puede mejorarse con adición de un emulsificante. Karbowiak et al. (2006), eliminaron la separación de fases macroscópica en emulsiones de CR y BW con la adición de un emulsificante (glicerol monoesterato) (p. 401).

Se seleccionó la concentración de BW que presentó mayor estabilidad en emulsión con la CR. Esta concentración fue de 0,60% (base húmeda) (Dhall, 2013, p. 437; García, et al., 2009, p.174).

3.1.3. SELECCIÓN DE UNA EMULSIÓN ESTABLE

De las emulsiones preparadas, la CBd resultó más estable de manera significativa ($p < 0,05$) respecto a las otras (Tabla 3.2). Esta emulsión resultó con el menor porcentaje de separación de fases ($3,78 \pm 0,04\%$) y se seleccionó para continuar el desarrollo del recubrimiento comestible. Esta emulsión tuvo una concentración de 1,00% de CR Y 0,60% de BW (base húmeda). La Figura 3.5 muestra una microfotografía de la emulsión seleccionada en la que se observa la fase continua (solución de CR) y la fase discontinua (glóbulos de BW).

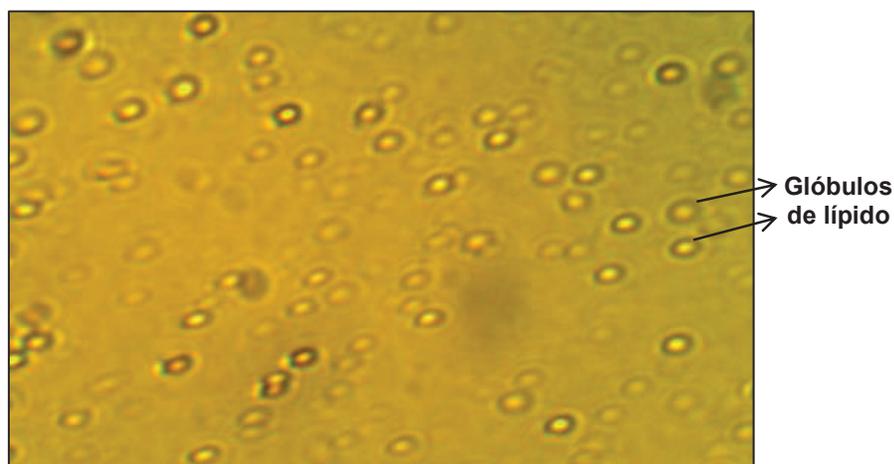


Figura 3.5. Microfotografía de la emulsión CBd (100 X), las estructuras esféricas representan la fase discontinua (BW)

3.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE UN EMULSIFICANTE Y UN SABORIZANTE EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS EMULSIONES

En la etapa anterior se determinaron las concentraciones de la solución de CR (solución 2) y de BW (CBd) para formar emulsiones estables. Para continuar con el desarrollo del recubrimiento comestible se adicionó un emulsificante (ácido esteárico) y un saborizante (sabor a piña) en diferentes concentraciones.

El sabor es un factor muy importante en cuanto a la aceptación de los alimentos por el consumidor. La inclusión del saborizante se realizó para aprovechar el potencial de los recubrimientos comestibles de mantener ingredientes activos dentro de su estructura. Los saborizantes pueden ser inmovilizados en los recubrimientos, en cuyo caso se requerirán emulsificantes (Dhall, 2013, p. 446; Kramer, 2009, p. 132).

A las emulsiones de CR (1%) y BW (0,6%) seleccionadas en la etapa anterior, se les añadió AE desde 70:30 (p/p) hasta 90:10 (p/p) (relación BW-AE) y SB desde 0,25 % hasta 1,25 % (v/p) de la solución total. Esto se realizó mediante una nueva homogeneización de alta cizalla, que permitió combinar todos los componentes (CR, BW, AE y SB) en la emulsión.

El AE posee ciertos niveles de capacidad emulsionante, por sobre estos niveles su capacidad se satura y el resto de emulsificante se separa de la emulsión (Han, 2014, p. 221). Por debajo de estos niveles la cantidad de emulsificante es insuficiente para cubrir la interfaz hidrocoloide-lípido y se produce cremado (Schramm, 2014, p. 58). Fabra et al. (2009), utilizaron niveles similares a los propuestos en emulsiones CR-BW, AE desde 60:40 hasta 90:10 (%p/p) (relación BW-AE) y SB desde 0,50 % hasta 1,00 % (v/p) de la solución total (p. 326).

En varios estudios se utilizaron saborizantes en porcentajes desde 0,2% hasta 1,5% para incluirlos en emulsiones CR-BW. Estos porcentajes permiten la inclusión del SB en la fase discontinua de la emulsión junto con el lípido (Fabra et al., 2009, p. 326; Hambleton, Debeaufort, Beney, Karbowiak y Voilley, 2008, p. 1059; Marcuzzo et al., 2012, p. 12178). Porcentajes bajo el 0,25 % no permitieron la percepción del aroma en la emulsión.

La inclusión de cualquier aditivo modifica las propiedades de los recubrimientos debido a los cambios físicos inducidos en la estructura de la red y a factores tales como el tamaño molecular, la polaridad, la forma, y la afinidad del aditivo a las moléculas del polímero (Quezada-Gallo, 2009, p. 324). Por lo que luego de añadir

SB y AE, las emulsiones se evaluaron mediante la determinación de pH, tamaño y distribución de partícula, viscosidad y estabilidad.

El experimento se realizó con un diseño factorial 3^2 , donde las variables de diseño fueron A: concentración de AE y B: concentración de SB. Los niveles del factor A fueron 70:30 (p/p), 80:20 (p/p) y 90:10 (p/p) (relación BW-AE) y los niveles del factor B fueron 0,25 %, 0,75 % y 1,25 % (v/p) de la solución total. Las cantidades utilizadas para cada formulación se detallan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Contenido de AE y SB en las emulsiones de CR, BW, AE y SB

Emulsión	AE ^x	SB ^y
A	70:30	0,25
B	80:20	0,25
C	90:10	0,25
D	70:30	0,75
E	80:20	0,75
F	90:10	0,75
G	70:30	1,25
H	80:20	1,25
I	90:10	1,25

^xrelación BW:AE en % p/p (peso/peso); ^y% v/p (volumen/peso) respecto a la solución total

En la Tabla 3.4 se muestran resultados de los análisis de pH, tamaño de partícula y viscosidad de las emulsiones E, F, H e I. La presencia de cremado junto con las limitaciones de los equipos utilizados, no permitieron la medición de pH, tamaño de partícula y viscosidad de las emulsiones A, B, C, D y G. Este fenómeno se discute en el acápite 3.2.4.

3.2.1. pH

Los resultados de pH de las emulsiones estables (Tabla 3.4) son similares a los obtenidos por Valencia-Chamorro (2009), que obtuvo valores de pH en el rango de 7 hasta 9,5 en emulsiones de HPMC, BW y resina con actividad antifúngica (p.

77). El valor de pH de la solución de CR 1% fue de 7,2. Este valor se encuentra dentro del rango de valores de pH en el que la estructura de la CR en solución acuosa se mantiene estable (desde 5 hasta 10). Las mejores propiedades estabilizantes de la CR en emulsiones se relacionan a un valor de pH de 9, en el que la hidratación de las moléculas de CR es óptima y las cadenas de CR se encuentran formando una estructura ordenada (Imeson, 2009, p. 171).

Tabla 3.4. pH ,tamaño de partícula y viscosidad de las emulsiones E, F, H e I

Emulsión	pH ^x	Tamaño de partícula (µm) ^x	Viscosidad (cP) ^x
E	7,6±0,32 a	2,21±0,75 a	164,20±20,00 a
F	7,8±0,15 a	2,37±0,52 a	160,30±21,70 a
H	7,9±0,17 a	5,79±0,32 b	133,30±34,10 a
I	7,9±0,59 a	3,52±0,87 b	154,17±47,10 a

^x diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores (n=3) significativamente diferentes de acuerdo a la prueba LSD (p<0,05)

Valores bajos de pH pueden afectar a la calidad del producto recubierto. Rojas-Graü et al., (2007) evidenciaron un ablandamiento severo de la manzana IV gama recubierta con alginato y aceites esenciales. Este ablandamiento se debería al valor del pH del recubrimiento (pH<4) (p. 260).

El valor de pH en emulsiones que contienen CR puede ser crítico. Emulsiones cuya fase discontinua sea una proteína (como la α -lactoglobulina), son estables a valores cercanos al punto isoeléctrico de la proteína (6, 7 y 8). Valores de pH inferiores a 5 provocan cremado de la emulsión (Gu et al., 2004, p. 2630).

3.2.2. TAMAÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA

Los valores medios de tamaño de partícula (µm) resultantes se observan en la Tabla 3.4. Los resultados de tamaño de partícula están dentro del rango de 1 a 50 µm, que es el rango en el que se encuentran las emulsiones estables (Taherian et al., 2006, p. 688). La variable tamaño de partícula varió significativamente (p<0,05) con el contenido de SB. Las emulsiones E y F (contenido de SB 0,75%

v/p de la solución total) presentaron menor tamaño de partícula que las emulsiones H e I (contenido de SB 1,25% v/p de la solución total).

El comportamiento del tamaño de partícula obedecería a la naturaleza del SB. El SB se compone mayoritariamente de butirato de etilo que es insoluble en agua. Su hidrofobicidad limita su solubilidad en la matriz i-carragenina y promueve interacciones con el lípido. Este comportamiento se ha comprobado con análisis calorimétricos (Hambleton et al., 2008, pp. 1060, 1062). El butirato de etilo sería retenido en los glóbulos de lípido y esto provocaría el aumento en el tamaño de partícula. Un beneficio de este comportamiento es que, conforme aumenta el tamaño de partícula, existen menos espacios abiertos que faciliten la difusividad del aroma (Hambleton et al., 2009, p. 87).

Soottitantawat, Yoshii, Furuta, Ohkawara y Linko (2003), observaron que la retención de butirato de etilo en matrices de almidón se relaciona directamente con el tamaño de partícula. Esta retención puede incrementarse a medida que se incrementan las concentraciones de SB añadidas (p. 2260).

Es posible predecir el rango en el que se encontrarán las partículas formadas según el color de la emulsión obtenida. Las macroemulsiones son de color blanquecino con un tamaño de glóbulo típico de aproximadamente 2 a 20 μm . Mientras que una microemulsión tiende a ser translúcida y sus partículas tienen tamaños de menos de 1 μm (Hall, 2012, p. 88). Las emulsiones obtenidas se clasificaron como macroemulsiones y se caracterizaron por su color blanquecino.

La distribución del tamaño de partícula para la emulsión I (AE 90:10; SB 1,25%) se muestra en la Figura 3.6 y es una distribución homogénea. Esto debido a que la homogeneización realizada en la preparación de emulsiones CR-BW provocó que se formen gotas de lípido dando lugar a una distribución de tamaño de partícula uniforme. Por otro lado la solución de CR 1% (sin homogeneizar) presentó una distribución no uniforme observada en la Figura 3.7 (Dukhin y Goetz, 2006, p. 329).

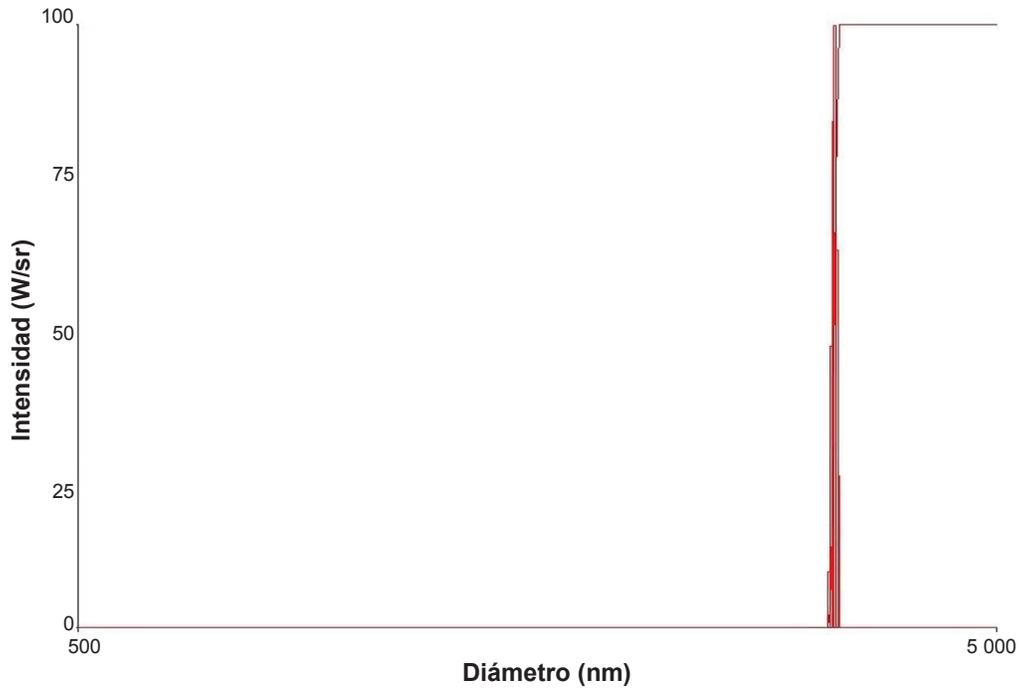


Figura 3.6. Histograma de distribución de los tamaños de partícula (nm) de la emulsión I, medidos por dispersión de luz láser. En el eje vertical se muestra la intensidad radiante (potencia por unidad de ángulo sólido)

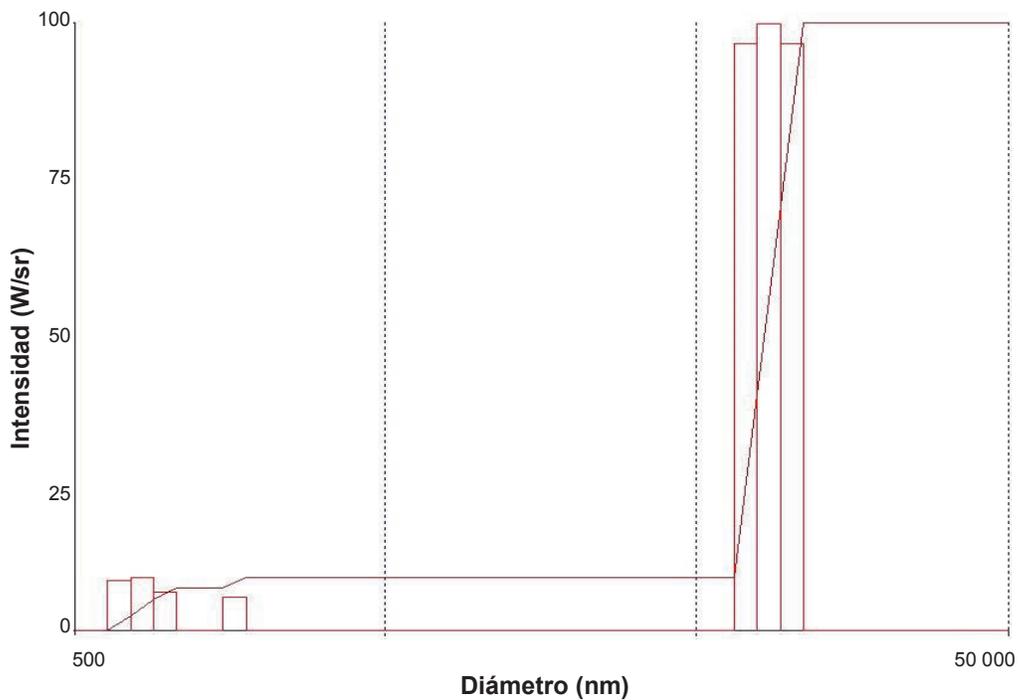


Figura 3.7. Histograma de distribución de los tamaños de partícula (nm) de la solución de CR 1%, medidos por dispersión de luz láser. En el eje vertical se muestra la intensidad radiante (potencia por unidad de ángulo sólido)

La distribución de tamaño de partícula puede afectarse con el pH. Gu et al. (2004), evidenciaron un histograma de distribución de tamaño de partícula no homogéneo en emulsiones de CR y β -lactoglobulina. Esto debido a que valores de pH por debajo de 5, provocaron formación de complejos CR- α -lactoglobulina de mayor diámetro (p. 29).

3.2.3. VISCOSIDAD

Las concentraciones de AE y SB no afectaron significativamente a la viscosidad ($p < 0,05$). Los valores resultantes de viscosidad están en el rango desde 133,30 hasta 164,20 cP (Tabla 3.4).

El tamaño de partícula influye sobre la viscosidad de las emulsiones (Taherian et al., 2006, p. 688). La viscosidad será mayor cuando las gotas de lípido son más pequeñas debido al aumento del área de contacto hidrocoloide-lípido. El aumento del área entre fases aumenta la resistencia al flujo (Schramm, 2014, p. 31).

La viscosidad de la emulsión influye en el proceso de recubrimiento de los alimentos. Viscosidades bajas aceleran el proceso de separación de las fases de la emulsión y provocan que el recubrimiento no sea homogéneo en la superficie (Han, 2014, p. 237). Sin embargo, las altas viscosidades pueden representar inconvenientes tecnológicos a nivel industrial. La aplicación de un recubrimiento por aspersion requiere valores más bajos de viscosidad que la aplicación por inmersión (García et al., 2009, p. 174). Para aplicar el recubrimiento, se requiere una mezcla uniforme que se pueda transportar por tuberías y líneas de aspersion (Kurt y Kahyaoglu, 2014, p. 53).

Los valores altos de viscosidad de la emulsión pueden tener efectos negativos sensoriales una vez aplicados como recubrimiento. Pérez-Gago, Serra y Del Río (2006), comprobaron que al aumentar la viscosidad del recubrimiento, la apariencia del producto se afectaba de manera significativa (apariencia blanquecina). El incremento de viscosidad se dio al adicionar antioxidantes

(cisteína, ácido ascórbico y 4-hexilresorcinol) a emulsiones de proteína de suero y BW. Una reducción en la viscosidad mejoro la evaluación sensorial (pp. 90, 91). La viscosidad de la emulsión depende en gran medida de la viscosidad de la fase continua (Phan-The, Debeaufort, Voilley y Luu, 2009, p. 698). Por ejemplo, Pavón (2015), en emulsiones compuestas de goma de tara, BW y goma laca obtuvo un valor promedio de 304 MPa·s similar al de la solución de goma de tara utilizada como matriz (300 MPa·s) (p. 60). Valencia-Chamorro (2009), obtuvo valores de viscosidad en el rango de 7 a 22 cP, en la elaboración de emulsiones compuestas por HPMC, BW y goma laca con actividad antifúngica (p. 76). Estos valores guardan relación con la viscosidad de la matriz (HPMC), que es aproximadamente 5 cP (Garzón, Tecante, Ramírez-Gilly y Palacios, 2009, p. 309). Según este comportamiento, los valores de viscosidad de las emulsiones E, F, H e I se relacionan con el valor de la viscosidad de la solución de CR 1% (80 cP).

3.2.4. ESTABILIDAD

Los valores medios de estabilidad en función del porcentaje de separación de fases se muestran en la Tabla 3.5. Los resultados que se muestran son de emulsiones con contenido de CR de 1,00 %, BW 0,60% y los diferentes contenidos estudiados de AE (relación BW:AE) y SB (%v/p respecto a la solución total).

La estabilidad varió de manera significativa ($p < 0,05$) con el contenido de AE y con el contenido de SB. Las emulsiones con AE 70:30 fueron más inestables ($p < 0,05$) que las emulsiones con AE 80:20 y 90:10. Las emulsiones con contenido de SB 0,25% fueron más inestables que aquellas con 0,75% de SB y estas a su vez más inestables que aquellas con 1,75% de SB ($p < 0,05$).

Las emulsiones E, F, H e I fueron más estables que el resto ($p < 0,05$) y entre estas H e I presentaron menor separación de fases ($p < 0,05$). Ninguna de estas emulsiones presentó cremado.

Tabla 3.5. Estabilidad de las emulsiones de CR, BW, AE y SB
(% de separación de las fases)

Emulsión	AE	SB	Estabilidad (%) ^x
A	70:30	0,25	8,27±0,34 ^{a, A}
B	80:20	0,25	7,93±0,26 ^{b, A}
C	90:10	0,25	7,71±0,24 ^{b, A}
D	70:30	0,75	7,39±0,16 ^{a, B}
E	80:20	0,75	3,44±0,38 ^{b, B}
F	90:10	0,75	3,18±0,67 ^{b, B}
G	70:30	1,25	5,88±0,71 ^{a, C}
H	80:20	1,25	2,28±0,52 ^{b, C}
I	90:10	1,25	2,14±0,17 ^{b, C}

^x diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores de estabilidad (n=3) significativamente diferentes debido al contenido de AE de acuerdo a la prueba LSD ($p<0,05$); diferentes letras mayúsculas en la misma columna indican valores de estabilidad (n=3) significativamente diferentes debido al contenido de SB de acuerdo a la prueba LSD ($p<0,05$)

Las emulsiones A, B, C, D y G presentaron cremado. El cremado provoca la eliminación completa de los sólidos de la región en que se toman mediciones, por lo que no permitió obtener datos certeros de pH, tamaño de partícula y viscosidad (Schramm, 2014, p. 237).

La variación significativa de la estabilidad respecto al AE (manteniendo la cantidad de SB constante) se debe a que el emulsificante debe estar en cantidad suficiente para cubrir la totalidad de la superficie de los glóbulos de SB y AE creada por la homogeneización (Karbowski et al., 2006, p. 404), por sobre estos niveles su capacidad se satura y el resto de emulsificante se separa de la emulsión (Han, 2014, p. 221). Por debajo de estos niveles la cantidad de emulsificante es insuficiente para cubrir la interfaz hidrocoloide-lípido (Schramm, 2014, p. 58). Este comportamiento se esquematiza en la Figura 3.8 (a).

La variación significativa de la estabilidad respecto al SB (manteniendo la cantidad de AE constante) se debe a la variación del tamaño de partícula provocada por el SB ($p<0,05$). El incremento del tamaño de partícula que se presentó al incrementar la cantidad de SB, determinó que la superficie de los glóbulos de lípido sea significativamente más grande. Por tanto, la superficie que

el AE debía cubrir fue mayor (Soottitantawat et al., 2003, p. 2260). Este comportamiento se esquematiza en la Figura 3.8 (b).

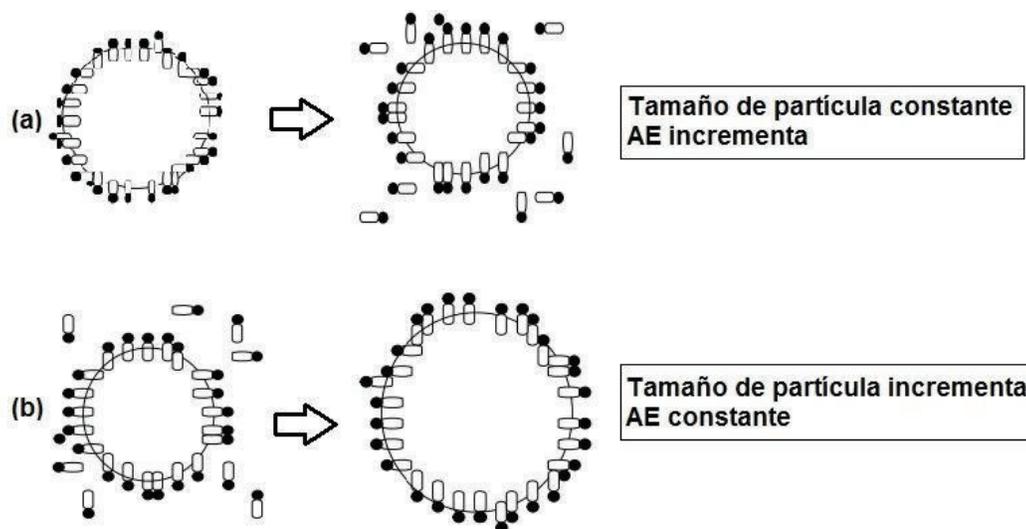


Figura 3.8. Esquema de la interacción del AE y SB (a) caracteriza la variación significativa de la estabilidad respecto al AE con SB constante (sin variación en tamaño de partícula) y (b) caracteriza la variación significativa de la estabilidad respecto al SB con AE constante (tamaño de partícula incrementa)

(Adaptado de Schramm, 2014, p. 58)

La interacción de los factores (AE·SB) tuvo influencia significativa ($p < 0,05$) sobre la estabilidad de las emulsiones. En las emulsiones B y C, el AE excedió la cantidad necesaria para cubrir la superficie de los glóbulos de lípido. Estas emulsiones tuvieron la menor cantidad de SB. En las emulsiones A, D y G la formación de cremado responde a que el AE no fue suficiente para cubrir la superficie de los glóbulos de lípido. Estas emulsiones tuvieron mayor cantidad de SB. Es decir que la manipulación de la concentración de la fase lipídica (variación en tamaño de partícula) en conjunto con la concentración del emulsificante permite la formación de una emulsión estable (Schramm, 2014, p. 58).

3.2.5. SELECCIÓN DEL RECUBRIMIENTO

Con los resultados obtenidos se seleccionó la formulación que formó una emulsión homogénea, estable y que presentó un pH cercano a la neutralidad. La

emulsión seleccionada fue la obtenida con la formulación I: CR 1,00%, BW 0,60%, AE 0,07% y SB 1,25% en base húmeda. Esta formulación fue la más estable (Tabla 3.5). La estabilidad se relaciona con su tamaño de partícula, que fue menor ($p < 0,05$) al de otras formulaciones. El valor de viscosidad de la formulación seleccionada (154 cP) está dentro de los rangos recomendados para su aplicación como recubrimiento (Kurt y Kahyaoglu, 2014, p. 53).

La emulsión seleccionada tuvo un pH de 7,9. Ninguna emulsión desarrollada presentó valores extremos de pH que pudieran alterar el sabor del producto recubierto (Dhall, 2013, p. 437; Pérez-Gago et al., 2006, p. 90).

Por sus propiedades en conjunto, la emulsión I se aplicó como recubrimiento en la siguiente etapa. Se observa una microfotografía de la emulsión seleccionada en la Figura 3.9. En la microfotografía se observa la fase continua (solución de CR) y la fase discontinua (glóbulos de BW y SB). La estructura lineal opaca alrededor de los glóbulos sería el AE.

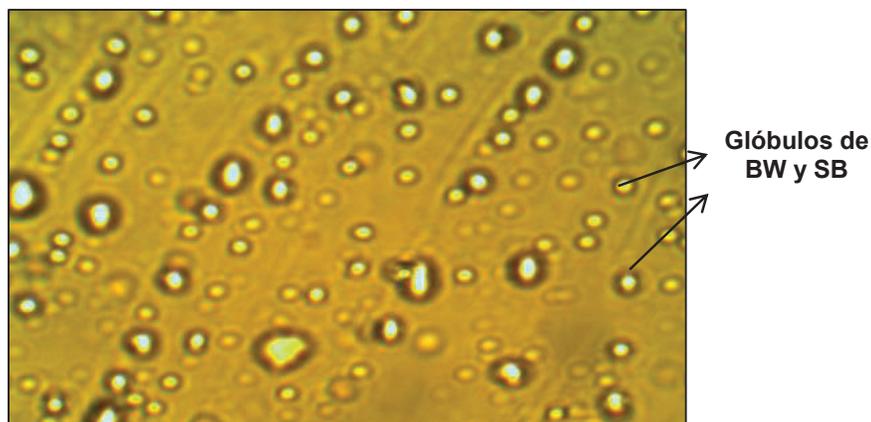


Figura 3.9. Microfotografía de la emulsión I (100 X), las estructuras esféricas representan la fase discontinua (BW y SB)

3.3. ESTUDIO DEL EFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE CARRAGENINA EN LA CALIDAD POSCOSECHA DE LA PIÑA DE IV GAMA

A partir de la emulsión anteriormente seleccionada (CR 1,00%, BW 0,60%, AE 0,07% y SB 1,25% en base húmeda), se realizó el estudio del efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de carragenina en la calidad poscosecha de la piña de IV gama. La emulsión seleccionada se aplicó como recubrimiento (R) por inmersión. Muestras sin recubrir se utilizaron como control (C). El diseño utilizado fue un factorial 2 x 3 con el factor A: tratamiento y el factor B: tiempo. Los niveles del factor A fueron tratamiento con recubrimiento y tratamiento control. Los niveles del factor B fueron 0, 4 y 8 días.

Las piñas utilizadas en este ensayo se seleccionaron con el objetivo de minimizar la variabilidad de resultados. Todas las frutas presentaron el grado de madurez correspondiente al número 5 del Anexo I y un tamaño uniforme.

La evaluación de la calidad se efectuó a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento y los análisis realizados fueron pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, pH, análisis microbiológicos y análisis sensoriales. La humedad relativa y temperatura de ensayo fueron 90% y 4°C respectivamente. El experimento se realizó con una réplica.

3.3.1. PÉRDIDA DE PESO

Los resultados de pérdida de peso (%) para la piña de IV gama se muestran en la Figura 3.10. Para estos análisis se utilizaron 10 muestras de 200 g. En las muestras recubiertas la pérdida de peso fue menor ($p < 0,05$), pero todas las muestras presentaron pérdida paulatina de peso. Para el factor tratamiento, un

gráfico de medias e intervalos LSD de la pérdida de peso se muestra en la Figura 3.11.

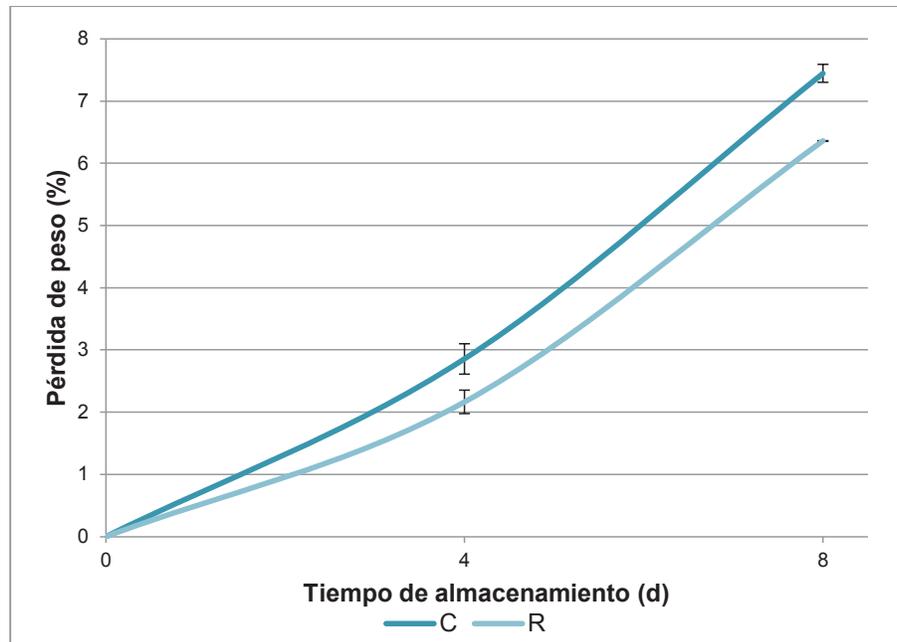


Figura 3.10. Pérdida de peso (%) de piña de IV gama en función del tiempo de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa) con tratamiento C y R. Las barras verticales representan la desviación estándar de la media (n=10) del experimento con una réplica

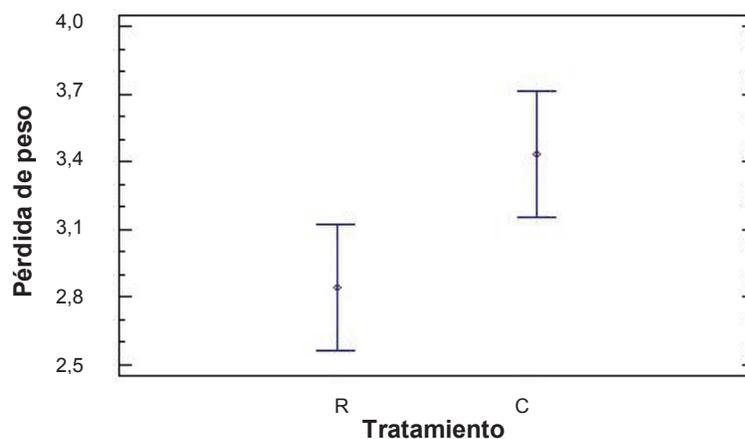


Figura 3.11. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor tratamiento para la pérdida de peso de piña de IV gama almacenada hasta 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)

El tratamiento R redujo el porcentaje pérdida de peso de la piña de IV gama. Al octavo día, el tratamiento C presentó $7,5 \pm 0,14\%$ de pérdida de peso y el

tratamiento R $6,4 \pm 0,01\%$. Esto representa una reducción del 15% de la pérdida de peso.

En la piña mínimamente procesada, la pérdida de peso es un parámetro de calidad y depende de los factores respiración y transpiración, influidos por la temperatura y la humedad relativa (Artés y Allende, 2005, p. 679; Hepton y Saulo, 2003, p. 289). La pérdida de peso se traduce como pérdidas cuantitativas (pérdida de peso comercial) (Kader, 2011, p. 46).

Los recubrimientos limitan la transferencia de vapor de agua y de gases (Dhall, 2013, p. 436). La efectividad de los recubrimientos comestibles para reducir la pérdida de peso depende en gran medida del componente lipídico y de sus interacciones con otros componentes. La distribución homogénea y el tamaño de partícula de la fase discontinua son factores influyentes para lograr una barrera a gases y al vapor de agua efectiva (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 234; Pérez-Gago y Rhim, 2014, p. 327).

Bico, de Jesus, De Morais y De Morais (2009), evaluaron la calidad poscosecha del banano mínimamente procesado recubierto con CR. Observaron una pérdida de peso de hasta 17% al utilizar un recubrimiento con 0,5% (p/p) de CR. La pérdida de peso se redujo con un tratamiento combinado del recubrimiento y atmósfera modificada (3% O₂ y 10% CO₂) (pp. 509, 511). En su trabajo recomendaron adicionar un componente lipídico en la formulación del recubrimiento de CR para mejorar los resultados de pérdida de peso.

Mantilla, Castell-Pérez, Gomes y Moreira et al. (2013), redujeron la pérdida de peso de piña mínimamente procesada con el uso de recubrimientos de alginato. La aplicación de recubrimientos de alginato en concentraciones superiores al 2% (p/v) redujo la pérdida de peso hasta en 40%. Porcentajes de alginato inferiores al 2% no redujeron la pérdida de peso. Los efectos del recubrimiento sobre la pérdida de peso de piña de IV gama dependieron de la concentración del hidrocoloide (pp. 40, 41).

Los efectos de un recubrimiento compuesto de alginato y aceite de girasol en la piña de IV gama, fueron estudiados por Azarakhsh, Osman, Ghazali, Tan y Mohd-Adzahan (2012). La pérdida de peso se redujo significativamente debido al recubrimiento. En el mencionado estudio, la piña se procesó en forma de cubos y se obtuvo una pérdida de peso de $10,50 \pm 0,47\%$ con recubrimiento y de $16,80 \pm 0,55\%$ sin recubrimiento (p. 281).

Sangsuwan, Rattanapanone y Rachtanapun (2008), evidenciaron hasta 40% de pérdida de peso en piña mínimamente procesada. Esta pérdida de peso disminuyó con la aplicación de un recubrimiento basado en quitosano y metilcelulosa. Los valores de pérdida de peso están sobre los aceptados comercialmente (10% luego de 7 días de almacenamiento). Estos resultados se relacionan directamente al empaque utilizado y a la temperatura de almacenamiento a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (p. 409). Otra posible causa es la composición hidrofílica del recubrimiento comestible aplicado.

La elección de un recubrimiento es compleja, ya que depende de la tasa de respiración y las condiciones ambientales exteriores específicas del producto. En la formulación y aplicación de un recubrimiento, se debe evitar la concentración extremadamente baja de oxígeno dentro del producto, pues podría provocar respiración anaerobia (Olivas y Barbosa 2009, p. 225). La formulación seleccionada para aplicar como recubrimiento en piña de IV gama permitió regular la pérdida de peso (respiración y transpiración) a la temperatura y humedad relativa de trabajo, sin producir respiración anaerobia. La respiración anaerobia genera una marcada degradación en la apariencia, además de olores y sabores desagradables (Olivas y Barbosa 2009, p. 226).

3.3.2. FIRMEZA

La Figura 3.12 muestra los resultados obtenidos de firmeza. Para estos análisis se utilizaron 15 muestras de 200 g. Las muestras con tratamiento R presentaron mayor firmeza que las muestras con tratamiento C ($p < 0,05$), pero todas las

muestras presentaron pérdida de firmeza gradual. Un gráfico de medias e intervalos LSD del factor tratamiento para la firmeza (día 8) se muestra en la Figura 3.13.

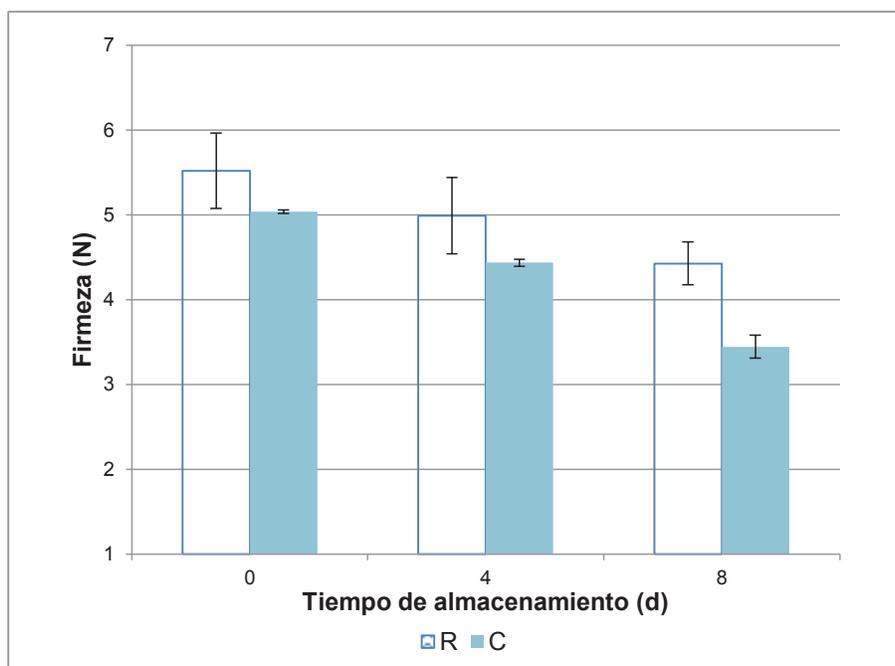


Figura 3.12. Firmeza (N) de piña de IV gama con tratamiento C y R, a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa). Las barras verticales representan la desviación estándar de la media (n=15) del experimento con una réplica

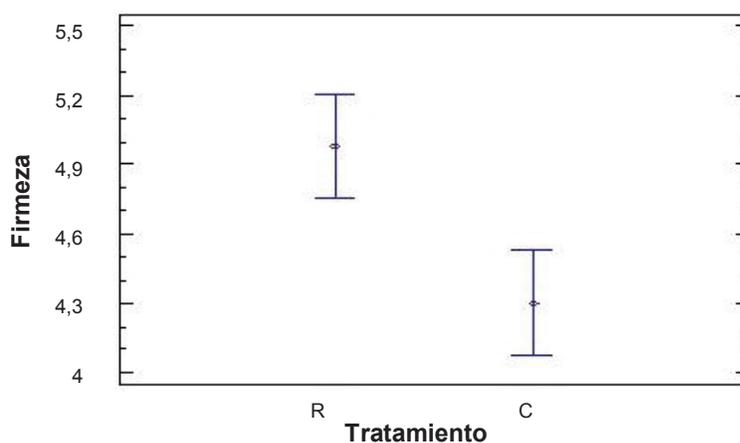


Figura 3.13. Gráfico de medias e intervalos LSD del factor tratamiento para la firmeza de piña de IV gama almacenada hasta 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)

Las muestras sin recubrir resultaron en menor firmeza que las muestras recubiertas desde el momento de su aplicación (día 0). Esta firmeza fue 9%

mayor que la firmeza obtenida con el tratamiento C. En el día 4, la firmeza del tratamiento R fue un 11% mayor y al día 8, fue un 22% mayor. Los valores de firmeza al octavo día fueron de $3,45 \pm 0,13$ N para el tratamiento C y $4,42 \pm 0,25$ N para el tratamiento R. Los resultados indican la efectividad del recubrimiento en la reducción de la pérdida de firmeza en la piña de IV gama.

Es importante mencionar que en el presente estudio, la disminución de firmeza tiene relación lineal inversa con la pérdida de peso. Esto se debe a que la pérdida de agua (pérdida de peso) provoca deterioro celular y por tanto se producen alteraciones en la firmeza (Pavlath y Orts, 2009, p. 16). Con el tratamiento C la firmeza disminuye 0,21 N por cada 1% de incremento en la pérdida de peso ($R=0,99$). Con el tratamiento R la firmeza disminuye 0,17 N por cada 1% de incremento en la pérdida de peso ($R=0,97$).

En los recubrimientos comestibles, el componente matriz (hidrocoloide) en cantidades adecuadas, es el principal responsable en el mantenimiento de la firmeza (Trejo-Márquez et al., 2007, p. 236). La CR disminuye la pérdida de la firmeza en piña de IV gama mediante la reducción de la permeabilidad al oxígeno y por lo tanto la reducción de la tasa de respiración (Hamzah, Osman, Tan y Ghazali, 2013, p. 145).

La eficiencia del recubrimiento como barrera al vapor de agua contribuye a la disminución de la pérdida de firmeza. En el caso del recubrimiento de CR con adición de BW, el lípido actúa como barrera al vapor de agua y contribuye a la reducción de la pérdida de peso y firmeza (Hamzah et al., 2013, p. 145). A pesar de que la CR no representa una barrera al vapor de agua, puede ofrecer una protección temporal contra la pérdida de humedad mediante la absorción de agua al actuar como un agente de "sacrificio" en lugar de una barrera. Es decir que se da la deshidratación de la capa de recubrimiento antes de la deshidratación de la fruta (Pavlath y Orts, 2009, p. 16).

La aplicación de un recubrimiento a base de CR, redujo la pérdida de firmeza en banano mínimamente procesado en un 10% (Bico, de Jesus, De Moraes y De

Morais, 2010, p. 19) y de manzana mínimamente procesada hasta en 20% (Lee, Park, Lee y Choi, 2003, p. 327).

Mantilla et al. (2013), verificaron que los recubrimientos basados en alginato con propiedades antimicrobianas, reducen la pérdida de firmeza de la piña de IV gama. Esta efectividad sólo fue posible con concentraciones de alginato sobre el 2%. Por debajo de estos valores el recubrimiento tuvo baja efectividad en relación a la reducción de la pérdida de firmeza. El hecho se atribuyó al bajo espesor del recubrimiento (p. 40).

Azarakhsh et al. (2012), estudiaron los efectos de un recubrimiento que incluía aceite de girasol en una matriz de gelano, en la piña de IV gama. Sus muestras se almacenaron hasta 10 días y las muestras recubiertas tuvieron una firmeza de 2.65 ± 0.21 N y las muestras control $1,45 \pm 0,18$ N (p. 281). El recubrimiento fue efectivo para reducir la pérdida de firmeza.

Aunque el control de la firmeza se relaciona con el tipo y cantidad de hidrocoloide, no todos los hidrocoloides son compatibles con el producto (Trejo-Márquez et al., 2007, p. 236). Bierhals, Chiumarelli y Hubinger (2011), no lograron reducir la pérdida de firmeza en piña de IV gama con recubrimientos de almidón de yuca (p. E6).

3.3.3. SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES

La Tabla 3.6 muestra los resultados obtenidos de SST (°Brix). Los valores de SST para el tratamiento R y C fueron similares. Los resultados de SST no variaron significativamente con el tiempo.

La piña es una fruta no climatérica. En el momento de la cosecha la fruta debe cumplir los requisitos mínimos de calidad. Estos requisitos, para la variedad *Golden Sweet*, incluyen un contenido mínimo del 12 °Brix de sólidos solubles totales (Kader et al., 2011, p. 443; Paull y Chen, 2002, pp. 259, 260). Este valor,

junto con el de acidez titulable y pH asegurarían la aceptabilidad por parte del consumidor. Se espera que la aplicación de un recubrimiento no altere las características intrínsecas del producto (Dhall, 2013, p. 437).

Tabla 3.6. SST (°Brix) de piña de IV gama con tratamiento R y C a los 0, 4 y 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)

Tiempo (días)	Tratamiento ^x	
	R	C
0	13,00±0,70 a	12,02±0,05 a
4	13,64±0,49 a	13,20±0,32 a
8	13,16±0,22 a	13,68±0,42 a

^x diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores de SST (n=12) significativamente diferentes debido al tiempo de almacenamiento de acuerdo a la prueba LSD (p<0,05); diferentes letras minúsculas en la misma fila indican valores de SST (n=12) significativamente diferentes debido al tratamiento de acuerdo a la prueba LSD (p<0,05)

Los valores obtenidos de SST cumplen con los requisitos de calidad descritos, puesto que se encontraron en el rango desde 12,02 ± 0,05 hasta 13,68 ± 0,42 °Brix. En algunas ocasiones los valores de SST se ven afectados por la parte de la piña de la que proviene la muestra. La piña MD2 presenta valores más altos de SST en la parte basal de la fruta que en la parte apical (Montero-Calderón, 2010, p. 99)

Resultados similares a los presentados fueron obtenidos por Dussán-Sarria, Reyes-Calvache y Hleap-Zapata (2014), que aplicaron un recubrimiento formulado con cera carnauba y almidón de yuca en piña mínimamente procesada. Se observó que la aplicación del recubrimiento no tenía efecto sobre los SST. Los valores de SST obtenidos se encontraban en el rango entre 8 y 11 °Brix, propios de la variedad *Perola* utilizada en el mencionado estudio (p. 44).

En algunos casos se puede observar un descenso significativo en los SST. Esta reducción se debería a la continuación del proceso respiratorio que implica un mayor consumo de azúcares (Kader, 2011, p. 45). Santos et al., (2005), observaron este comportamiento en piña *Perola* mínimamente procesada, a partir del día 2 a 5°C (p. 356). Este comportamiento no es deseado, pues valores bajos de SST se relacionan a la pérdida del sabor (dulzor) (Kader, 2011, p. 45).

3.3.4. ACIDEZ TITULABLE

Los resultados de acidez titulable (% de ácido cítrico) se muestran en Tabla 3.7. La acidez titulable no varió significativamente con el tiempo. No existió diferencia significativa ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Tabla 3.7. Acidez titulable (% de ácido cítrico) de piña de IV gama con tratamiento R y C a los 0, 4 y 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)

Tiempo (días)	Tratamiento ^x	
	R	C
0	0,69±0,06 a	0,76±0,02 a
4	0,78±0,03 a	0,79±0,04 a
8	0,78±0,04 a	0,70±0,05 a

^x diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores de acidez titulable (n=12) significativamente diferentes debido al tiempo de almacenamiento de acuerdo a la prueba LSD ($p < 0,05$); diferentes letras minúsculas en la misma fila indican valores de acidez titulable (n=12) significativamente diferentes debido al tratamiento de acuerdo a la prueba LSD ($p < 0,05$)

En el momento de la cosecha la piña debe cumplir los requisitos mínimos de calidad (fruta no climatérica). Estos requisitos, para la variedad *Golden*, incluyen una acidez máxima del 1% (Kader et al., 2011, p. 443; Paull y Chen, 2002, pp. 259, 260). Este valor, junto con el de SST y pH asegurarían la aceptabilidad por parte del consumidor. La piña no sufre cambios notables en su acidez titulable una vez cosechada y se espera que esta característica no varíe con la aplicación de un recubrimiento (Dhall, 2013, p. 437; Hepton y Saulo, 2003, p. 281).

Los valores obtenidos de acidez titulable son menores al 1%. Es decir, cumplen con los requisitos de calidad (Kader et al., 2011, p. 443; Paull y Chen, 2002, p. 259). En algunos casos, la acidez titulable podría variar debido a que en piña MD2 la acidez decrece hacia la parte basal de la fruta (Montero-Calderón, 2010, p. 99).

Mantilla et al. (2013) no observaron variaciones en los valores de acidez titulable en piña de IV gama. El tratamiento realizado consistió en un recubrimiento múltiple, primero con alginato y luego con pectina (p. 40). Tampoco se observaron variaciones en los valores de acidez titulable de piña de IV gama con la aplicación

de recubrimientos de almidón de yuca y cera carnauba (Dussán-Saria et al., 2014, p. 44); y de quitosano y metilcelulosa (Sangsuwan et al., 2008, p. 469).

3.3.5. pH

Los resultados de pH se muestran en la Tabla 3.8 y fueron similares ($p < 0,05$) para los dos tratamientos (C y R). El pH no varió significativamente con el tiempo.

Tabla 3.8. pH de piña de IV gama con tratamiento R y C a los 0, 4 y 8 días (4°C y 90% de humedad relativa)

Tiempo (días)	Tratamiento ^x	
	R	C
0	3,47±0,04 a	3,46±0,01 a
4	3,42±0,03 a	3,44±0,02 a
8	3,47±0,02 a	3,45±0,03 a

^x diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores de pH (n=12) significativamente diferentes debido al tiempo de almacenamiento de acuerdo a la prueba LSD ($p < 0,05$); diferentes letras minúsculas en la misma fila indican valores de pH (n=12) significativamente diferentes debido al tratamiento de acuerdo a la prueba LSD ($p < 0,05$)

En el momento de la cosecha la fruta debe cumplir con el requisito de calidad de un valor de pH entre 3 y 4. El cumplimiento de este requisito, junto con los valores de acidez titulable y SST, se relacionan a la aceptabilidad por parte del consumidor (Kader et al., 2011, p. 443; Paull y Chen, 2002, pp. 259, 260).

Los valores obtenidos de pH cumplen con los requisitos de calidad descritos (valores entre 3 y 4). La aplicación del recubrimiento no alteró los valores de pH propios del producto (Dhall, 2013, p. 437; Hepton y Saulo, 2003, p. 281). En algunas ocasiones podría observarse variaciones de pH debido a la parte de la piña de la que proviene la muestra. Esto debido a que la región media y apical de la fruta muestran valores más bajos de pH que la región basal (Torri, Sinelli y Limbo, 2010, p. 243).

Dependiendo de su composición, los recubrimientos comestibles pueden modificar el pH del producto recubierto. Rojas-Graü et al., (2007) estudiaron los efectos de un recubrimiento de alginato y aceites esenciales en manzana IV

gama. Debido a los aceites esenciales, el pH de las muestras fue alterado y valores de pH por debajo de 4 resultaron en un ablandamiento severo de la manzana recubierta (p. 260).

Recubrimientos de alginato, almidón de yuca-cera carnauba y quitosano-metil celulosa no afectaron los valores de pH de la piña mínimamente procesada (Dussán-Saria et al., 2014, p. 44; Mantilla et al., 2013, p. 43; Sangsuwan et al., 2008, p. 469). En banano mínimamente se reportó el mismo comportamiento con un recubrimiento de CR (Bico et al., 2009, p. 511).

3.3.6. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

Los análisis microbiológicos realizados fueron: aerobios totales (AT), hongos y levaduras (YM) y coliformes totales. Los valores resultantes del recuento microbiológico de AT y YM se muestran en la Tabla 3.9. El recuento de coliformes totales resultó en ausencia de estos microorganismos ($<1,00 \pm 0,00 \log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$) para los dos tratamientos a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento.

Tabla 3.9. Recuento de aerobios totales (AT) y mohos y levaduras (YM) ($\log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$) en piña de IV gama con tratamiento C y R, a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa)

Día	AT ^x		YM ^x	
	C	R	C	R
0	3,10±0,28 a	2,91±0,16 a	< 1,00±0,00 a	< 1,00±0,00 a
4	3,19±0,29 a	3,49±0,20 a	< 1,00±0,00 a	2,73±0,24 a
8	4,10±0,02 a	4,09±0,20 a	3,06±0,22 b	3,09±0,28 b

^x diferentes letras minúsculas en la misma columna indican valores de SST (n=2) significativamente diferentes debido al tiempo de almacenamiento de acuerdo a la prueba LSD ($p<0,05$); diferentes letras minúsculas en la misma fila indican valores de SST (n=2) significativamente diferentes debido al tratamiento de acuerdo a la prueba LSD ($p<0,05$)

La piña de IV gama tiene alta sensibilidad al ataque microbiológico (Artés y Allende, 2005, p. 679). Esto por su alta actividad de agua y contenido de azúcares (Francis et al., 2012, p. 595). Los factores que influyen en el deterioro microbiológico de frutas mínimamente procesada son la calidad de la materia

prima, las buenas prácticas de manufactura y las tecnologías de procesamiento (Artés y Allende, 2005, p. 679, 681).

3.3.6.1. Aerobios totales

Los resultados del recuento de aerobios totales (AT) ($\log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$) se muestran en la Tabla 3.9. Para los tratamientos C y R no existió diferencia significativa ($p < 0,05$). A los 0, 4 y 8 días a 4°C el recuento de AT fue similar.

Los resultados obtenidos se consideran aceptables según el Reglamento (CE) No 1441/2007 del Parlamento Europeo (2007, p. 28). Según Millán, López, Roa, Tapia y Cava (2001), el límite sobre el cual se considera caducado a un producto mínimamente procesado es de $7,00 \log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ (p. 176). Otro estudio en piña de IV gama incrementa el límite anterior hasta $8 \log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ (Jacxsens, Devlieghere y Debevere, 2002, p. 338). Los resultados obtenidos están bajo los límites definidos en los trabajos mencionados.

Un estudio realizado por Mantilla et al. (2013), resultó en ausencia de AT con un recubrimiento de alginato en piña de IV gama. Este resultado se logró al incluir en el recubrimiento un complejo antimicrobiano de trans-cinamaldehído e hidrato de beta-ciclodextrina (p. 42). La combinación de tratamientos químicos y la aplicación de un recubrimiento comestible, también puede resultar en ausencia de AT. Bico et al. (2009), probaron el efecto de un recubrimiento de CR sobre el recuento microbiológico en banano de IV gama. Evidenciaron que al combinar la aplicación del recubrimiento con un baño químico de cloruro de calcio, ácido ascórbico y cisteína se disminuía el desarrollo de AT (pp. 512, 513).

El recuento de AT se puede usar para determinar la vida útil de la piña mínimamente procesada pues es el límite microbiológico más exigente. Montero-Calderón (2010), mediante este parámetro microbiológico, determinaron una vida útil de 7 días para piña de IV gama (p. 149). Con el parámetro microbiológico de

AT, Lee et al. (2003), determinaron una vida útil de 2 semanas a 3 °C para manzana mínimamente procesada recubierta con CR (p. 327).

3.3.6.2. Mohos y levaduras

Los resultados del recuento de mohos y levaduras (YM) ($\log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$) para el tratamiento R y para el tratamiento C fueron similares (Tabla 3.9). El recuento de YM a los 8 días de almacenamiento fue mayor ($p < 0,05$) en comparación a los días 0 y 4.

El recuento en el día 0 resultó en ausencia de YM, tanto para el tratamiento C como para el tratamiento R. El tratamiento C evidenció presencia de YM al octavo día de almacenamiento, mientras que el tratamiento R evidenció presencia de YM desde el día 4. Según Antonioli, Benedetti, Monteiro y de Arruda (2004), los recuentos de YM observados en la piña mínimamente procesada no resultan sólo de la contaminación microbiológica durante el procesamiento, sino también de la microbiota propia de la piña (p. 533).

Los resultados se consideran aceptables según el Reglamento (CE) No 1441/2007 del Parlamento Europeo (2007, p. 28). Además, los resultados se encuentran bajo el límite en el cual se considera caducado a un producto mínimamente procesado (Millán et al., 2001, p. 176).

El tratamiento R pudo resultar en un mayor recuento de YM, debido a la naturaleza de la CR. Los polisacáridos representan un medio favorable para el desarrollo de microorganismos. La CR junto con el pH adecuado se traducen en un ambiente propicio para la proliferación de YM (Bico et al., 2009, p. 513). Este comportamiento fue observado por Montero-Calderón (2010), que utilizaron recubrimientos de alginato en piña de IV gama. El recubrimiento no mejoró la resistencia a YM y en el día 5 de almacenamiento el tratamiento R mostró ser un mejor medio para el crecimiento microbiano (pp. 150, 151).

Brasil et al. (2012), estudiaron, en papaya mínimamente procesada, el efecto de diferentes tratamientos con recubrimiento y variaciones en el tipo de empaque. Los recuentos de YM con la utilización de un recubrimiento a base de quitosano y pectina variaron entre 1,00 y 5,00 UFC·g⁻¹. Estos autores obtuvieron los menores recuentos con la utilización de un complejo antimicrobiano adicionado en la matriz del recubrimiento en envases tipo ziploc. La combinación de estos factores mantuvo el recuento de YM en niveles inferiores a 1,00 UFC·g⁻¹ hasta 15 días a 4°C (p. 44).

3.3.6.3. Coliformes totales

Se reportó la ausencia de coliformes totales ($<1,00 \pm 0,00 \log \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$) (Guía 3M, 1999), a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento a 4°C y 90% de humedad relativa. Los resultados del recuento de coliformes totales mostraron que, tanto con el tratamiento C como con el tratamiento R, no existió desarrollo de estos microorganismos. Los resultados obtenidos cumplen con lo descrito en el Reglamento (CE) No 1441/2007 del Parlamento Europeo (2007, p. 28). Estos resultados reflejan que las prácticas de manufactura y la sanitización fueron eficientes (Bierhals et al., 2011, p. E9).

La utilización de otros métodos, como el ISO 6579 permiten la obtención de resultados similares. En piña variedad MD2 con y sin recubrimiento de almidón de yuca, se obtuvo un recuento de coliformes totales y *E. Coli* menores a 10 UFC·g⁻¹. Según este método este resultado se interpreta como ausencia de desarrollo de estos microorganismos. En este caso la piña de IV gama se almacenó hasta 12 días a 5°C y 80% HR. (Bierhals et al., 2011, p. E9). Así mismo Tinitana (2014), reportó ausencia de coliformes totales en pitahaya mínimamente procesada hasta 8 días a 4°C. Este resultado se obtuvo con la utilización del método FDA/CFSAN para recuento en placa (pp. 41, 86).

3.3.7. ANÁLISIS SENSORIALES

Las operaciones de procesamiento mínimo pueden derivar en cambios indeseables en la apariencia de frutas y vegetales. En el mejor caso, se espera que la aplicación de un recubrimiento comestible mejore la apariencia del producto. En otros casos el mejor resultado es que el recubrimiento no altere la apariencia normal del producto (Dhall, 2013, p. 437; Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, p. 660).

Entre los parámetros de calidad para piña de IV gama se encuentra la apariencia visual (Hepton y Saulo, 2003, p. 289). Para evaluar el efecto del recubrimiento de CR, BW, AE y SB en la apariencia visual de la piña de IV gama se realizaron dos pruebas. La primera consistió en evaluar la apariencia general de las muestras (R y C) respecto al tiempo de almacenamiento y la segunda consistió en evaluar el aspecto del recubrimiento respecto al tiempo de almacenamiento (Valencia-Chamorro, 2009, p. 263)

El primer análisis visual se realizó mediante una escala hedónica que permitió realizar una estimación de la apariencia visual general de la piña de IV gama (3: Bueno, 2: Aceptable y 1: Malo) (Lawless y Heymann, 2010, pp. 83, 330). La Figura AIII.1 (Anexo III) muestra el formato de la evaluación realizada. Los resultados de la evaluación de 12 jueces semientrenados, tanto para el tratamiento C como para R, a los 0, 4 y 8 días, se muestran en la Figura 3.14.

Para el análisis estadístico se consideraron como variables al tiempo de almacenamiento y al tratamiento (Lawless y Heymann, 2010, pp. 501, 502). La apariencia visual de las muestras no varió significativamente ($p < 0,05$) con los tratamientos. Existió variación significativa de la apariencia visual en el tiempo ($p < 0,05$), esta variación se dio en el día 8 respecto al día 0 y 4.

La disminución de la calidad visual de la piña de IV gama en el tiempo se debe principalmente a la pérdida de agua que provoca alteraciones en la apariencia (marchitez, arrugamiento y flacidez) (Kader, 2011, p. 46).

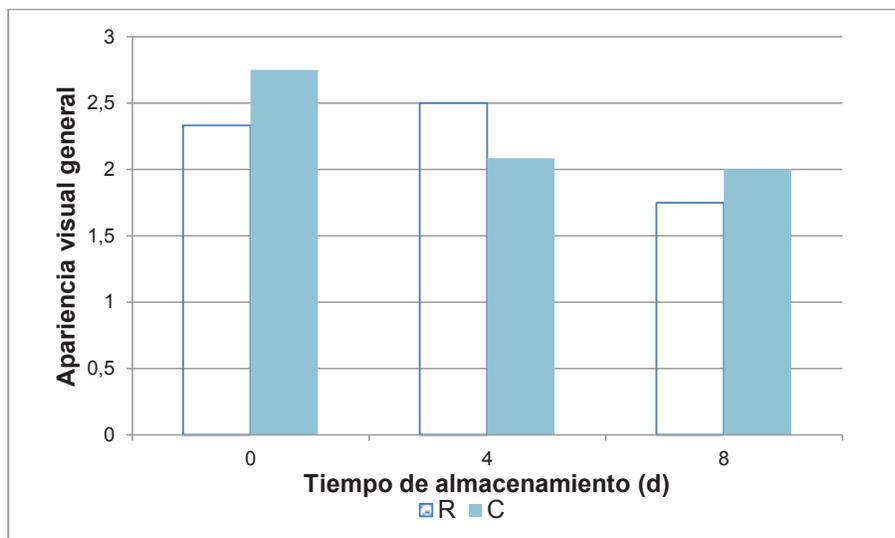


Figura 3.14. Resultados de la evaluación de la apariencia visual (3: bueno, 2: aceptable y 1: malo) de piña de IV gama para el tratamiento R y C, a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento 4°C y 90% de humedad relativa

Los resultados de la aplicación del recubrimiento indican que tuvo un efecto neutral en la apariencia visual general de piña de IV gama. Es decir, la calidad visual de la piña mínimamente procesada y recubierta se mantuvo en el tiempo de almacenamiento. El efecto neutral de la aplicación de un recubrimiento comestible en la apariencia visual de piña de IV gama también se evidenció en un estudio realizado por Bierhals et al. (2011). Un recubrimiento de almidón de yuca aplicado a piña de IV gama durante 13 días de almacenamiento, no mejoró su apariencia visual. Además, no se reportaron alteraciones visuales derivadas de la aplicación del recubrimiento (p. E8).

Es importante notar que al octavo día de almacenamiento la calidad de la piña de IV gama recubierta y no recubierta se calificó como aceptable, mas no como buena. Este resultado se debería principalmente a la decoloración propia de la fruta. Dussán-Saria et al. (2014) evidenciaron decoloración en piña de IV gama recubierta con almidón de yuca y cera carnauba. La pérdida de color se asoció a la pérdida de agua (que contiene los compuestos de color), ya que en el interior de los empaques la saturación de vapor de agua no favorece la formación de un gradiente de presión de vapor entre el producto y el espacio vacío. Este fenómeno se puede reducir con un empaque al vacío (p. 43).

La adición de antioxidantes a la formulación de un recubrimiento puede mejorar la apariencia visual de un producto mínimamente procesado. En manzana, la adición de antioxidantes reduce las alteraciones visuales de color provocadas por pardeamiento y mejora su calidad visual (Pérez-Gago et al., 2006, p. 91).

El segundo análisis visual se realizó con la utilización de la escala hedónica 3: Bueno, 2: Aceptable y 1: Malo. Esta escala permitió evaluar la apariencia del recubrimiento (homogeneidad, grietas y/o manchas) (Lawless y Heymann, 2010, pp. 83, 330; Valencia-Chamorro, 2009, p. 263). La figura AIII.2 muestra el formato de la evaluación realizada. En la Figura 3.15 se muestran los resultados de la evaluación de la apariencia del recubrimiento por parte de 12 jueces semientrenados a los 0, 4 y 8 días. La apariencia del recubrimiento no varió significativamente ($p < 0,05$) con el tiempo.

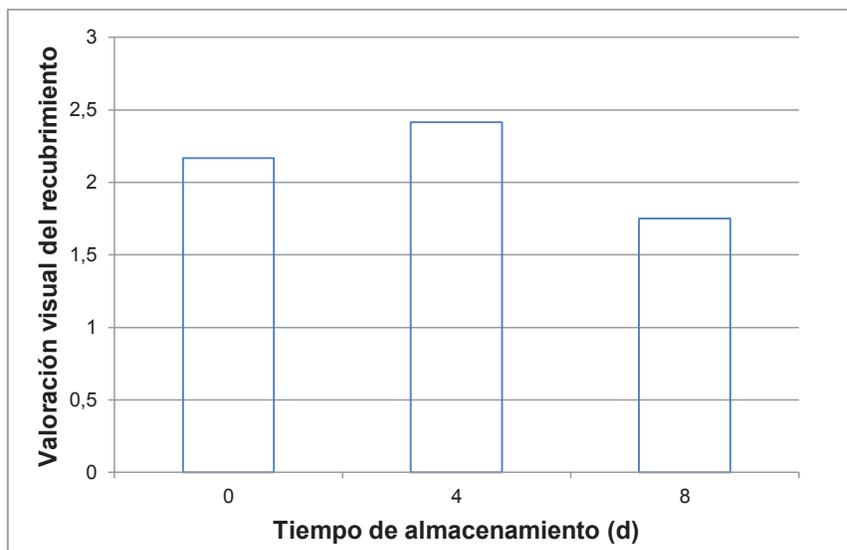


Figura 3.15. Resultados de la evaluación de la apariencia del recubrimiento (3: bueno, 2: aceptable y 1: malo) aplicado en piña de IV gama a los 0, 4 y 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa)

La ausencia de efecto del tiempo sobre el recubrimiento se debería a que el recubrimiento no es totalmente soluble en agua. La piña mínimamente procesada tiene una superficie con alta actividad de agua y la aplicación de un recubrimiento totalmente soluble en agua causaría un aspecto indeseable (Olivas y Barbosa-

Cánovas, 2005, p. 660). La Figura 3.16 muestra la apariencia visual del producto recubierto y sin recubrir, en el día 8 de almacenamiento.

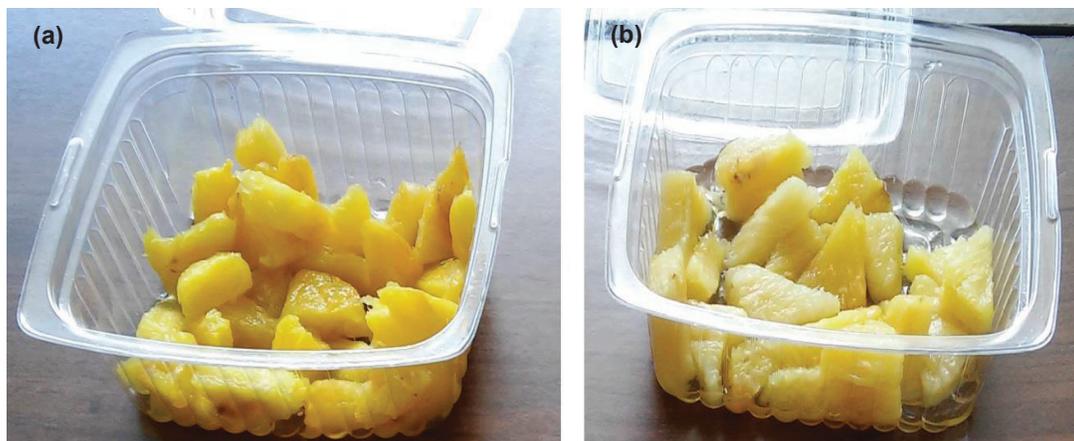


Figura 3.16. Piña de IV gama (*Ananas comosus* L. var. *comosus*) luego de 8 días de almacenamiento (4°C y 90% de humedad relativa) (a) recubierta y (b) sin recubrimiento

En algunos casos la liberación de un compuesto activo (como el SB) desde la matriz, puede derivar en aspecto heterogéneo (Desobry y Debeaufort, 2012, p. 340). Además, la adición de compuestos aromáticos en matrices de CR y BW podría aumentar la rigidez de los recubrimientos y alterar su apariencia. Esto, debido al efecto estabilizador del aroma en la matriz de la película que conduce a una estructura mucho más homogénea que aumenta la rigidez (Hambleton et al., 2008, p. 1060).

La calidad visual del recubrimiento de CR, BW, AE y SB fue aceptable durante todo el tiempo de almacenamiento. En ciertas muestras se obtuvo baja traslucidez del recubrimiento. Este fenómeno se observó en las aristas de dichas muestras donde se observó un color blanquecino. Esto pudo deberse a la alta viscosidad del recubrimiento (Pérez-Gago et al., 2006, p. 91).

En los productos de IV gama la calidad sensorial es una combinación de los parámetros apariencia y aroma (Rico et al., 2007, pp. 374). El aumento de la tasa de respiración causado por el corte y pelado puede modificar el sabor y olor característico de las frutas (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, pp. 657, 666). Con el objetivo de identificar diferencias en aroma entre la piña de IV gama recubierta

y no recubierta, se realizó un análisis sensorial triangular. El análisis consistió en comparar tres muestras (1R + 2C ó 1C + 2R). Los panelistas identificaron la muestra diferente. El formato de la evaluación aplicada se observa en la Figura AIV.

Los resultados del análisis triangular mostraron que 8 de los 12 panelistas lograron identificar la muestra diferente por lo que, el aroma (sabor + olor) entre las muestras con tratamiento C y las muestras con tratamiento R, fue diferente significativamente ($p < 0,05$). Las diferencias significativas se evidenciaron en todos los periodos de almacenamiento evaluados (0, 4 y 8 días). Para interpretar los resultados de la prueba triangular se utilizó la Tabla AV.

En la piña el aroma se pierde por la pérdida de compuestos volátiles e incremento de compuestos azufrados, alcoholes y cetonas que producen malos olores. Una de las funciones de los recubrimientos comestibles es minimizar la migración de los compuestos aromáticos propios de la fruta hacia el exterior (Dussán-Saria et al., 2014, p. 43). Un recubrimiento no debe alterar el sabor del producto, sin embargo podría mejorarlo mediante la adición de un SB (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005, pp. 657, 666; Zaritzky, 2011, pp. 633, 640).

La adición del SB sería el factor principal para la diferencia sensorial evidenciada en la prueba triangular. Las evaluaciones acertadas se acompañaron de comentarios como “más dulce”, “sabor más intenso” y “olor más agradable” para las muestras con tratamiento R. Adicionalmente esta diferencia sensorial se mantuvo en el tiempo. Esto se debería a la retención del SB en los glóbulos de lípido (Hambleton et al., 2009, p. 87).

Un ejemplo de recubrimiento con la misma orientación de diseño (de mejorar el aroma del producto) es una aplicación emergente de los recubrimientos para incrementar la aceptabilidad de productos en el mercado infantil. Recubrimientos múltiples de goma arábiga con diferentes sabores en cada capa se han aplicado en vegetales mínimamente procesados (Desobry y Debeaufort, 2012, p. 340).

Otros estudios no han logrado mejorar la calidad sensorial del producto recubierto y han tenido resultados neutrales. En esos estudios la calidad sensorial del producto recubierto decreció de igual manera que el producto sin recubrir. Tal es el caso de papaya y banano mínimamente procesado recubierto con CR y piña de IV gama recubierta con almidón de yuca (Bico et al., 2010, p. 21; Bierhals et al., 2011, p. E8; Brasil et al., 2012, p. 45).

Adicionalmente se determinó el grado la diferencia que habría entre el tratamiento C y el tratamiento R. Para interpretar este resultado, de los jueces que identificaron correctamente la muestra diferente, se realizó una media simple tomado los siguientes valores: 1: leve, 2: moderado y 3: considerable (Lawless y Heymann, 2010, p. 89). Los jueces identificaron la muestra diferente con un grado de diferencia leve. Esta diferencia se debería principalmente a que el olor de las muestras recubiertas que fue más intenso.

No se detectó la presencia de sabores extraños ($p < 0,05$). El análisis de este parámetro sensorial se realizó como una prueba de dos vías (*two-sample test*) (Lawless y Heymann, 2010, p. 83). Para esto, de las respuestas correctas (8) se requería un mínimo de 8 jueces que identifiquen sabores extraños en las muestras, según la Tabla AV. Los resultados indicaron que no existieron sabores extraños para las muestras con tratamiento R ni para las muestras con tratamiento C.

En conclusión, la apariencia general de la piña de IV gama se mantuvo con la aplicación del recubrimiento y el recubrimiento mantuvo una apariencia aceptable a lo largo del almacenamiento del producto hasta 8 días a 4°C. El resultado del análisis sensorial triangular indicó que el producto recubierto fue diferente del producto sin recubrir. Esta diferencia favorece al producto recubierto, cuyas evaluaciones sensoriales incluyeron comentarios como “más dulce”, “sabor más intenso” y “olor más agradable”. No se identificaron sabores extraños. Además, la aplicación del recubrimiento en piña de IV gama, disminuyó la pérdida de firmeza (22%) y la pérdida de peso (14%) en relación al producto sin recubrir; y no alteró las características químicas de SST, pH y acidez titulable propias de la piña. Se

observó contenido microbiológico bajo los límites permisibles tanto en las muestras recubiertas como en aquellas sin recubrir.

3.4. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMO TRATAMIENTO POSCOSECHA

Un estudio financiero preliminar de la aplicación del recubrimiento a base de carragenina para piña de IV gama proporciona datos para un análisis técnico-económico más minucioso que se podría realizar posteriormente. La estimación de los costos abarcó aquellos adicionales a los de la línea de producción de piña de IV gama, es decir los costos relacionados con la aplicación del tratamiento. Se realizó una estimación de los costos de almacenamiento del producto.

La estimación de costos se realizó para la aplicación del recubrimiento con la siguiente formulación: CR 1,00%, 0,60% de BW, 0,07% de AE y 1,25% de SB (base húmeda). El análisis se realizó para una producción de 100 kg/día. Esta cantidad representa la cantidad de productos de piña de IV gama exportados a Reino Unido en el año 2014 (1% de las exportaciones diarias a los diferentes mercados de destino de los miembros de la Asociación de Productores de Piña del Ecuador) (PROECUADOR, 2011, pp. 1, 2).

Este estudio financiero preliminar buscó aportar información a los trabajos realizados sobre la implementación de plantas productoras de piña de IV gama, así como proporcionar datos útiles para las empresas que actualmente producen piña mínimamente procesada. Así, el análisis de costos abarca los procesos indicados en la Figura 3.17.

3.4.1. Costos del tratamiento

La Tabla 3.10 indica los costos de los equipos. Los equipos requeridos para la aplicación del recubrimiento se eligieron de acuerdo a la demanda de

recubrimiento estimada para 100 kg. Este cálculo se lo hizo en base a la experimentación en laboratorio (0,6 L de recubrimiento/kg de fruta). La capacidad del homogeneizador de alta cizalla debe ser mínimo de 80 L. Se estimó un volumen del tanque de inmersión de 50 L. Con esta capacidad se recubrirían 100 kg de piña en 3 procesos de inmersión. Las capacidades de los equipos mencionados toman en cuenta el incremento de volumen durante su operación.

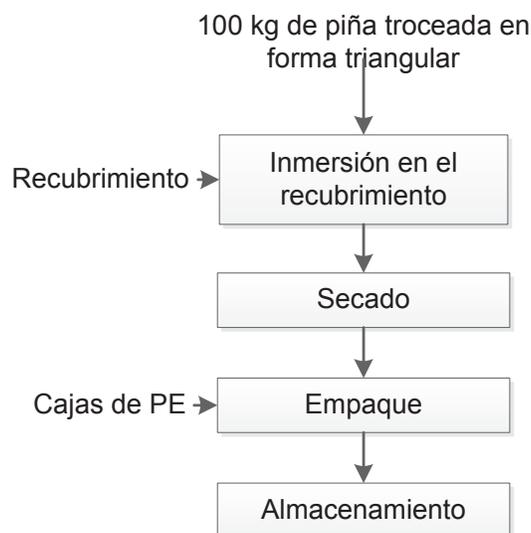


Figura 3.17. Procesos incluidos en la estimación de costos

Tabla 3.10. Costo de equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento comestible como tratamiento poscosecha en piña de IV gama

Equipo	Costo (USD)
Homogeneizador industrial ULTRA-TURRAX Modelo T-65 Digital	4 408,00
Destilador de agua (20 L/h)	1 700,00
Cámara de refrigeración ¹	5 740,00
Tanque de inmersión	50,00
4 mesas de acero inoxidable y mallas para secado	1 400,00
SUBTOTAL	13 298,00
Montaje e instalación ²	1 527,00
Impuesto importación ³	2 748,60
TOTAL	17 573,60

¹ detalle en la Tabla AIX, costo incluye instalación y asesoría; ² 25% del costo del homogeneizador y destilador de agua; ³ 45% del costo del homogeneizador y el destilador

En los costos de la inclusión de los nuevos equipos en la línea de producción, se deben tomar en cuenta también los costos de mantenimiento preventivo, estos gastos se realizarían una vez al año y se incluyen en el Anexo VI. En los equipos se incluye una cámara de refrigeración que se utilizaría para el secado del recubrimiento y almacenamiento del producto.

La aplicación del recubrimiento incluye costos adicionales de materia prima, insumos, servicios básicos y mantenimiento de equipos. Adicionalmente se requeriría nueva mano de obra. La Tabla 3.11 indica el detalle de estos costos.

Tabla 3.11. Costos estimados para la aplicación del recubrimiento comestible como tratamiento poscosecha en piña de IV gama

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Materia prima				
Carragenina SeaKem® XP 3633	0,60	Kg/día	14,00	8,40
Cera de abeja	0,36	Kg/día	12,00	4,32
Ácido esteárico	40,20	g/día	0,01	0,40
Saborizante	750,00	mL/día	0,04	30,00
Insumos				
Cajas de PE 200g de capacidad	500	Unidades diarias	0,35	140,00
TOTAL (USD/día)¹				183,12
Mano de obra				
Mano de obra directa	3	personas/mes	354,00	1 062,00
Servicios básicos				
Agua ²	6,00	m ³ /mes	1,44	8,64
Energía eléctrica ³	864	kW·h/mes	0,12	103,68
TOTAL (USD/mes)⁴				1 174,32

¹ costos variables (costo diario); ² alimentación requerida para el destilador + agua de lavado; ³ según el consumo indicado para los equipos de la Tabla 3.10; ⁴ mano de obra y servicios (costo mensual)

Aguilar (2011), realizó un análisis financiero para la producción de piña de IV gama (sin recubrimiento), con una cantidad de producción similar a la del presente análisis. En el mencionado estudio, los costos de los equipos fueron de USD 108 000 aproximadamente y los costos variables de USD 20 000, desde la

adquisición de la piña entera hasta la obtención de trozos (PROECUADOR, 2011, p. 4). Al contrastar los costos obtenidos por Aguilar (2011) con los obtenidos en el presente estudio, la aplicación del recubrimiento implicaría un incremento de 13% del costo total de los equipos (Tabla 3.10). En cuanto a los costos variables, estos podrían incrementar 1% en relación a los costos variables de producción de piña de IV gama sin recubrir (Tabla 3.11) (pp. 44, 45).

En la aplicación del recubrimiento pueden aparecer nuevas pérdidas comerciales, estas incluyen principalmente trozos muy pequeños o deformes, así como trozos con algún defecto de secado. Los trozos pequeños o deformes tienden a acumular recubrimiento en las aristas y esto genera apariencia blanquecina. En el Anexo VII se detallan estas pérdidas.

3.4.2. Costos de la cámara de refrigeración

Para almacenar el producto se requerirá una cámara de refrigeración que funcione a 4 °C. Para las aproximaciones se ha tomado pérdidas de calor por convección forzada con una velocidad del aire de 5 m/s que permitiría el secado del producto recubierto en un tiempo de 15 min (Vargas et al., 2008, p. 498).

La capacidad, dimensiones y carga calórica de la cámara se detallan en la Tabla 3.12. Los cálculos y estimaciones para la elaboración de la Tabla 3.12 se encuentran en el Anexo VIII. Los costos de fabricación de la cámara se encuentran en el Anexo IX.

3.4.3. Elaboración del flujo de caja y cálculo de los índices financieros

La Tabla 3.13 muestra el Flujo de Efectivo (horizonte de 5 años) para la inclusión del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama con un crecimiento de 4% en las ventas anuales (PROECUADOR, 2011, p. 2). La

producción se iniciaría con 88 kg/día de piña de IV gama recubierta hasta completar la capacidad de los equipos (100 kg/día) en el año 5.

Tabla 3.12. Capacidad, dimensiones y carga calórica para la cámara de refrigeración para piña de IV gama

Capacidad	
Piña de IV de gama presentación 200 g	500 paquetes
Fruta mínimamente procesada	100 kg
Dimensiones	
Largo	4,0 m
Ancho	3,0 m
Alto	2,5 m
Carga Calórica^x	
Pérdida por paredes	20 006,09 kJ
Pérdida por producto (calor de respiración)	4 008, 00 kJ
Pérdida por alumbrado	108,18 kJ
Pérdida por motores	64 440,13 kJ
Pérdida por personas	1 772,80 kJ
Pérdida en cambios de aire	4 554,3 kJ
Total	94 889,5 kJ/día
Total más factor de seguridad ^y	4 349,10 kJ/h

^x valores calculados para 24 horas de funcionamiento; ^y factor de seguridad 10%

Los costos fijos para la elaboración del flujo de caja, relacionados a la implementación de la línea de recubrimiento, empaque y almacenamiento de piña de IV gama recubierta, se encuentran en el Anexo X. Los costos variables fueron los de la Tabla 3.11, a excepción de la energía eléctrica, agua de lavado y mano de obra, los cuales se consideraron como costos fijos. El costo de ventas mostrado en la Tabla 3.13 es el resultado de la suma de los costos fijos más los costos variables por la cantidad producida. La depreciación de los equipos se muestra en el Anexo XI.

La implementación del recubrimiento, almacenamiento y empaque de piña de IV gama requeriría una inversión de USD 17 563,60 (Tabla 3.10), que se cubriría mediante préstamo bancario (USD 10 000) y aporte de accionistas (USD 7

563,60). La tabla de amortización del préstamo se presenta en el Anexo XII y sus valores se presentan como intereses y pago de préstamo en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Flujos de efectivo (USD) (horizonte de 5 años) para la inclusión del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama

Año	1	2	3	4	5
Ventas	75 694,08	78 721,84	81 870,72	85 145,55	86 016,00
Costo de ventas (-)	73 228,84	75 393,22	77 644,17	79 985,16	80 607,40
Utilidad bruta	2 465,24	3 328,63	4 226,55	5 160,38	5 408,60
Depreciación (-)	1 756,36	1 756,36	1 756,36	1 756,36	1 756,36
Utilidad antes de intereses (UAI)	1 595,92	2 494,79	3 429,61	4 401,82	4 660,24
Intereses (-)	1 183,00	996,15	787,20	553,54	292,22
Utilidad neta	412,92	1 498,63	2 642,40	3 848,29	4 368,02
Depreciación	1 756,36	1 756,36	1 756,36	1 756,36	1 756,36
Pago de préstamo (-)	1 579,42	1 766,27	1 975,22	2 208,89	2 470,20
Valor residual	-	-	-	-	8 781,80
Flujo de efectivo	589,86	1 488,72	2 423,55	3 395,76	3 654,18

*la utilidad neta antes de impuestos se encuentra bajo la base imponible (USD 10 410, año 2014); se depreció el incremento en valor de pago por tasa impositiva aplicable a plantas en funcionamiento

En la Tabla 3.13 existe un valor negativo de USD 7 563,60 en el año 0 (dato no mostrado), mismo que representa el valor aportado por inversionistas. Con este valor y con los flujos de efectivo presentados se obtuvo un VAN de USD 2 343,31 y una TIR de 12,44% que es mayor a la tasa de oportunidad (4,28%). Es decir que el proyecto es rentable. La inversión que requeriría la inclusión del proceso recubrimiento, almacenamiento y empaque, se recuperaría con la razón de USD 0,65 por cada dólar invertido (relación costo beneficio). El valor positivo del VAN indica que, además de recuperar la inversión, se obtendrá utilidad.

El precio de venta (paquetes de 200 g) de piña de IV gama empacada en poliestireno (PS) transparente y rígido asciende hasta USD 1,40 (Aguilar, 2011, pp. 44, 45). Con base en el incremento de 15% en los costos se estimó el precio de venta de la piña de IV gama recubierta (200 g) en USD 1,61.

Al comparar costos y precios entre el producto recubierto y sin recubrir tenemos que:

- El costo total del producto recubierto incrementaría en USD 0,37 por cada paquete de 200 g, en comparación al producto de piña de IV gama sin recubrir.
- El precio de venta del producto recubierto tendría un incremento de USD 0,21 por cada paquete de 200 g, en comparación al producto de piña de IV gama sin recubrir (Aguilar, 2011, pp. 44, 45).

En Reino Unido la demanda de piña de IV gama es alta y Ecuador es su décimo proveedor. Existe un gran potencial de incrementar estas ventas. El precio de exportación de la piña de IV gama a Reino Unido es el equivalente a USD 5,00 (por paquete de 200 g) (PROECUADOR, 2011, p. 4). Esto deja un amplio margen para ganancias e incremento en los costos relacionados a la exportación del producto propuesto (embalaje, transporte, aranceles, etc.). En mercados locales los precios de venta de productos de IV gama de piña bordean los USD 2,50 por 500 g de producto. Es decir que el precio de venta del producto propuesto no sería competitivo. Sin embargo, la diferencia en el aroma y la reducción de pérdida de peso y firmeza, otorgarían cierta ventaja a la piña de IV gama recubierta con CR, BW, AE y SB.

El gráfico del Punto de Equilibrio se muestra en la Figura 3.18. La cantidad de producción requerida para equilibrar los egresos e ingresos sería de 23,44 ton anuales. Para esta cantidad el costo y precio de incluir el recubrimiento como tratamiento poscosecha sería de USD 12 150 anual. En este proyecto, se estimó una cantidad de piña de IV gama recubierta de 100 kg diarios (33,6 ton anuales). Esta cantidad está a la derecha del Punto de Equilibrio, en la zona donde se genera rentabilidad. Esta rentabilidad sería de USD 1 540 anuales (ventas - costos totales de ventas).

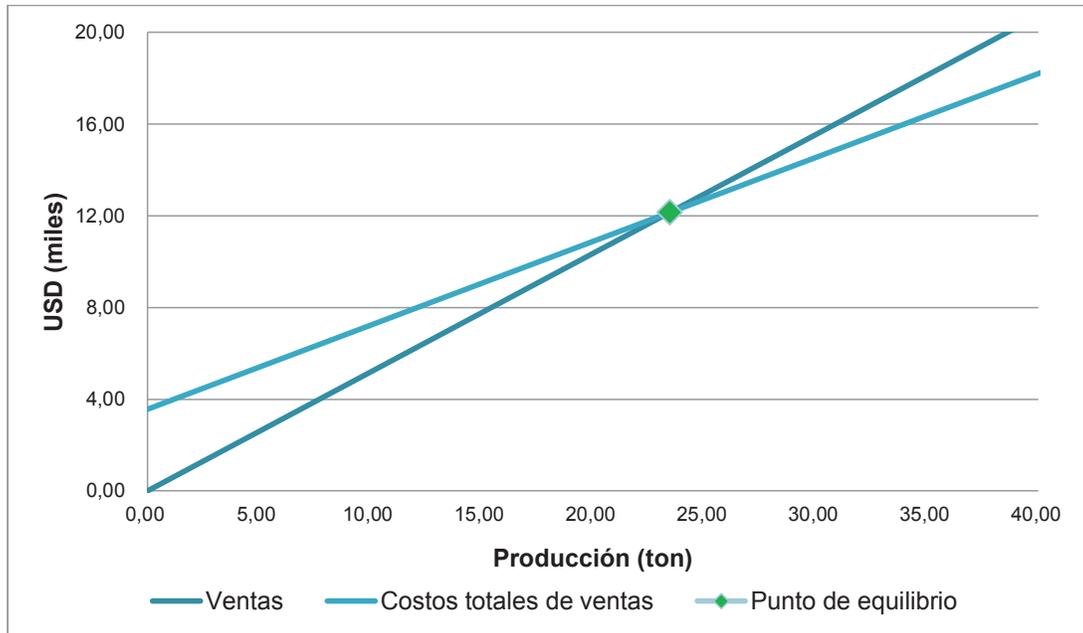


Figura 3.18. Gráfico de Punto de Equilibrio para la inclusión del recubrimiento como tratamiento poscosecha en piña de IV gama

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

De un total de 18 soluciones de CR, la solución de CR 1% presentó potencial como matriz para albergar otros ingredientes.

Se determinó que el porcentaje de lípido en las emulsiones CR-BW influye significativamente sobre la estabilidad. La estabilidad de las emulsiones incrementó a medida que aumentó la concentración de BW. El menor porcentaje de separación de las fases fue para concentración de BW 60% en base al peso de la CR.

Se determinó que la concentración de SB influyó en el tamaño de partícula de las emulsiones y que la estabilidad varió con el contenido de SB y AE. La concentración de los aditivos alimentarios no afectó a la viscosidad ni al pH de las emulsiones. La formulación del recubrimiento seleccionada para su aplicación en piña de IV gama fue la siguiente: CR 1,00%, BW 0,60%, AE 0,07% y SB 1,25% (base húmeda).

La aplicación del recubrimiento en piña de IV gama disminuyó la pérdida de firmeza en un 22% y la pérdida de peso en un 14% en relación al producto sin recubrir. Las características químicas de la piña (SST, pH y acidez titulable) se mantuvieron durante el tiempo de almacenamiento. El contenido microbiológico se encontró bajo los límites permisibles.

La piña de IV gama mantuvo una apariencia aceptable a lo largo del almacenamiento del producto hasta 8 días a 4°C. El análisis sensorial triangular determinó que el producto recubierto fue diferente del producto sin recubrir. Esta diferencia favorece al producto recubierto, cuyas evaluaciones sensoriales incluyeron comentarios como “más dulce”, “sabor más intenso” y “olor más agradable”. No se identificaron sabores extraños.

La aplicación del recubrimiento implica un incremento de 13% del costo total de los equipos y de 1% de los costos variables, en relación a la producción de piña de IV gama sin recubrir. El proyecto de inclusión de la línea de recubrimiento, almacenamiento y empaque de piña de IV gama resultó rentable (TIR 12,44%). Se obtuvo un valor positivo del VAN (USD 2 343,31).

4.2. RECOMENDACIONES

Estudiar las propiedades físicas y químicas de las emulsiones con la adición de otro emulsificante y/o aditivo alimentario, como un antimicrobiano.

Estudiar las propiedades mecánicas y de permeabilidad de las películas formadas con la emulsión de CR, BW, SB y AE aplicada como recubrimiento.

Estudiar la compatibilidad y el efecto de aplicación del recubrimiento formulado en otros productos de IV gama.

Estudiar el efecto poscosecha de la combinación del recubrimiento y otros tratamientos poscosecha en piña mínimamente procesada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdou, E. y Sorour, M. (2014). Preparation and characterization of starch/carrageenan edible films. *International Food Research Journal*, 21(1), 189-193.
2. Aguilar, R. (2011). Evaluación financiera y diseño de plantas de empaclado y de procesamiento de piña en finca El Progreso (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria). Escuela Agrícola Panamericana, Tegucigalpa, Honduras.
3. Antonioli, L., Benedetti, B., Monteiro, J. y de Arruda N. (2007). Quality evaluation of fresh-cut Pérola pineapple stored in controlled atmosphere. *Food Science and Technology*, 27(3), 530-534. doi: 10.1590/S0101-20612007000300017
4. AOAC International. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International*. Gaithersburg, MD, EUA: AOAC International.
5. Arrebola, E. (2015). Advances in postharvest diseases management in fruits. En Mohammed, W. (Ed). *Postharvest Biology and Technology of Horticultural Crops: Principles and Practices for Quality Maintenance*, (pp. 243-292). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
6. Artés, F. y Allende, A. (2005). Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices. En Sun, D. (Ed.). *Emerging technologies for food processing*, (pp. 677-716). San Diego, EE.UU.: Elsevier.
7. Artés, F. y Artés-Hernández, F. (2003). Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. *Avances en ciencias y técnicas del frío. España: UPCT y SECYTEF*, 299-310.

8. ASTM International. (2011). *ASTM E1885-04 Test Method for Sensory Analysis–Triangle Test*. Recuperado de <http://www.astn.org/doiLink.cgi?E1885> (Septiembre, 2015)
9. Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H., Tan, C. y Mohd Adzahan, N. (2012). Optimization of alginate and gellan-based edible coating formulations for fresh-cut pineapples. *International Food Research Journal*, 19(1), 279-285.
10. Baldwin, E. y Hagenmaier, R. (2012). Introduction. En Baldwin, E., Hagenmaier, R. y Bai, J. (Eds.). *Edible coatings and films to improve food quality* (2da Ed., pp. 1-12). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
11. Barreiro, J. y Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Caracas, Venezuela: Equinoccio.
12. Beltrán, D., Selma, M., Marín, A. y Gil, M. (2005). Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5654-5663. doi: 10.1021/jf050359c
13. Bico, S., de Jesus, M., De Morais, R. y De Morais, A. (2009). Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control*, 20(5), 508-514. doi: 10.1016/j.foodcont.2008.07.017
14. Bico, S., de Jesus, M., De Morais, R. y De Morais, A. (2010). Chemical dips and edible coatings to retard softening and browning of fresh-cut banana. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2(1), 13-24. doi: 10.1504/IJPTI.2010.038185
15. Bierhals, V., Chiumarelli, M. y Hubinger, M. (2011). Effect of Cassava Starch Coating on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Pineapple

(*Ananas Comosus* L. var. Pérola). *Journal of Food Science*, 76(1), E62-E72. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01951.x

16. Brasil, I., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M. y Moreira, R. (2012). Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *Food Science and Technology*, 47(1), 39-45. doi:10.1016/j.lwt.2012.01.005
17. Bravin, B., Peressini, D. y Sensidoni, A. (2004). Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(21), 6448-6455. doi: 10.1021/jf040065b
18. Budu, A. y Joyce, D. (2003). Effect of 1-methylcyclopropene on the quality of minimally processed pineapple fruit. *Animal Production Science*, 43(2), 177-184. doi: 10.1071/EA02029
19. Cáceres I., Mulkay, T., Rodríguez, J. y Paumier, A. (2010). Conservación de productos hortofrutícolas. *Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical Conservación de Productos Hortofrutícolas*, Recuperado de <http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5012/cuf0127s.pdf> (Septiembre, 2015).
20. Comisión de las Comunidades Europeas. (2007). *Reglamento (CE) No 1441/2007 del Parlamento Europeo*. Madrid. España.
21. De La Cruz, J. y García, H. (2005). *Pineapple: Post-harvest Operations*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendium_-_Pineapple.pdf (Septiembre, 2015).
22. Debeaufort, F. y Voilley, A. (2009). Lipid-Based Edible Films and Coatings. En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Applications*, (pp. 135-168). NY, EE.UU: Springer New York.

23. DeEll, J., Prange, R. y Peppelenbos, H. (2003). Postharvest physiology of fresh fruits and vegetables. En Chakraverty, A., Mujumdar, A. y Ramaswamy, H. (Eds.). *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea and spices*, (pp. 455-483). NY, EE.UU.: CRC Press.
24. Desobry, S. y Debeaufort, F. (2012). Encapsulation of flavors, nutraceuticals, and antibacterials. En Baldwin, E., Hagenmaier, R. y Bai, J. (Eds.). *Edible coatings and films to improve food quality* (2da Ed., pp. 333-372). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
25. Dhall, R. (2013). Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435-450. doi: 10.1080/10408398.2010.541568
26. Dhanapal, A., Sasikala, P., Rajamani, L., Kavitha, V., Yazhini, G. y Shakila, B. (2012). Edible films from polysaccharides. *Food Science and Quality Management*, 3, 9-17.
27. Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids and emulsion stability. En Phillips, G. y Williams, P. (Eds.). *Handbook of hydrocolloids* (2da Ed., pp. 23-49). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
28. Dukhin, A. y Goetz, P. (2006). Ultrasound for characterizing emulsions and microemulsions. En Sjoblom, J. (Ed.). *Emulsions and Emulsion Stability*, (2da ed., pp. 311-353). Boca Raton, EE.UU.: CRC Press.
29. Dussán-Sarria, S., Reyes-Calvache, P. y Hleap-Zapata, J. (2014). Efecto de un Recubrimiento Comestible y Diferentes Tipos de Empaque en los Atributos Físico-Químicos y Sensoriales de Piña *Manzana* Mínimamente Procesada. *Información tecnológica*, 25(5), 41-46. doi: 10.4067/S0718-07642014000500007

30. Fabra, M. J., Hambleton, A., Talens, P., Debeaufort, F., Chiralt, A. y Voilley, A. (2009). Influence of interactions on water and aroma permeabilities of κ -carrageenan–oleic acid–beeswax films used for flavour encapsulation. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 325-332. doi: 10.1016/j.carbpol.2008.10.024
31. Finnegan, E., Mahajan, P., O'Connell, M., Francis, G. y O'Beirne, D. (2013). Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 79, 47-53. doi: 10.1016/j.postharvbio.2012.12.015
32. Francis, G., Gallone, A., Nychas, G., Sofos, J., Colelli, G., Amodio, M. y Spano, G. (2012). Factors affecting quality and safety of fresh-cut produce. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(7), 595-610. doi: 10.1080/10408398.2010.503685
33. García, M., Pinotti, A., Martino, M. y Zaritzky, N. (2009). Characterization of Starch and Composite Edible Films and Coatings. En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Applications*, (pp. 315-333). NY, EE.UU: Springer New York.
34. Garzón, M., Tecante, A., Ramírez-Gilly, M. y Palacios, J. (2009). Comportamiento viscoelástico de disoluciones y tabletas hidratadas de hidroxipropilmetil celulosa, carboximetil celulosa sódica y sus mezclas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(3), 207-318.
35. Gu, Y., Decker, E. y McClements, D. (2004). Influence of pH and κ -carrageenan concentration on physicochemical properties and stability of β -lactoglobulin-stabilized oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3626-3632. doi: 10.1021/jf0352834

36. Guía 3M. (1999). Interpretation Guide E. Coli/Coliform Count Plate. Recuperado de: http://www.3m.com/intl/kr/microbiology/p_ecoli/use3.pdf (Agosto, 2015).
37. Guía 3M. (2001). Interpretation Guide Aerobic Count Plate. Recuperado de: http://www.3m.com/intl/kr/microbiology/p_aerobic/use3.pdf (Agosto, 2015).
38. Guía 3M. (2004). Interpretation Guide Yeast and Mould Count Plate. Recuperado de: http://multimedia.3m.com/nws/mediawebserver?mwsld=SSSSSu7zK1fslxtUm8mvOx_1ev7qe17zHvTSeSSSS-- (Agosto, 2015).
39. Hall, D. (2012). Edible coatings from lipids, waxes, and resins. En Baldwin, E., Hagenmaier, R. y Bai, J. (Eds.). *Edible coatings and films to improve food quality* (2da Ed., pp. 79-102). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
40. Hambleton, A., Debeaufort, F., Beney, L., Karbowiak, T. y Voilley, A. (2008). Protection of active aroma compound against moisture and oxygen by encapsulation in biopolymeric emulsion-based edible films. *Biomacromolecules*, 9(3), 1058-1063. doi: 10.1021/bm701230a
41. Hambleton, A., Fabra, M., Debeaufort, F., Dury-Brun, C. y Voilley, A. (2009). Interface and aroma barrier properties of iota-carrageenan emulsion-based films used for encapsulation of active food compounds. *Journal of food engineering*, 93(1), 80-88. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.01.001
42. Hamzah, H., Osman, A., Tan y Ghazali, F. M. (2013). Carrageenan as an alternative coating for papaya (*Carica papaya* L. cv. Eksotika). *Postharvest Biology and Technology*, 75, 142-146.

43. Han, J. (2014). Edible Films and Coatings. En Han, J. (Ed.). *Innovations in Food Packaging*, (2da Ed., pp. 213-255). Plano, EE.UU.: Elsevier.
44. Hepton, A. y Saulo, A. (2003). Processing. En Bartholomew, D. Paull, R. y Rohrbach, K. *The Pineapple: Botany, Production and Uses*, (pp. 281-290). Wallingford, UK: CABI Publishing.
45. Hernández, M., Barrera, J. y Melgarejo L. (2010). Fisiología poscosecha. En Melgarejo, L. (Ed.). *Experimentos en fisiología vegetal*, (pp. 167-1869). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
46. Imeson, A. (2009). Carrageenan and furcellaran. En Phillips, G. y Williams, P. (Eds.). *Handbook of hydrocolloids* (2da Ed., pp. 164-185). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
47. INEN. (2009). Instituto Ecuatoriano de Normalización. Frutas Frescas. Piña. Requisitos. NTE INEN 1 836:2009. Quito. Ecuador.
48. Jacxsens, L., Devlieghere, F. y Debevere, J. (2002). Predictive modelling for packaging design: equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain. *International Journal of Food Microbiology*, 73(2), 331-341. doi:10.1016/S0168-1605(01)00669-9
49. Kader, A. (2011). Biología y Tecnología Poscosecha: un Panorama. En Kader, A. (Ed.). *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas*, (3era Ed., pp. 45-53). Inyo, EE.UU.: UCANR Publications.
50. Kader, A., Sommer, N. y Arpaia, M. (2011). Sistemas de Manejo Postcosecha: Frutas Tropicales. En Kader, A. (Ed.). *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícolas*, (3era Ed., pp. 425-434). Inyo, EE.UU.: UCANR Publications.

51. Kara, S., Tamerler, C., Bermek, H. y Pekcan, Ö. (2003). Hysteresis During Sol-Gel and Gel-Sol Phase Transitions of k-Carrageenan: A Photon Transmission Study. *Journal of bioactive and compatible polymers*, 18(1), 33-44. doi: 10.1177/0883911503018001004
52. Karbowski, T., Debeaufort, F., Champion, D. y Voilley, A. (2006). Wetting properties at the surface of iota-carrageenan-based edible films. *Journal of colloid and interface science*, 294(2), 400-410. doi: 10.1016/j.jcis.2005.07.030
53. Kramer, M. (2009). Structure and Function of Starch-Based Edible Films and Coatings. En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Applications*, (pp. 113-134). NY, EE.UU: Springer New York.
54. Kurt, A. y Kahyaoglu, T. (2014). Characterization of a new biodegradable edible film made from salep glucomannan. *Carbohydrate polymers*, 104, 50-58. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.003
55. Laaman, T. (2011). Hydrocolloids: Fifteen Practical Tips. En Laaman, T. (Ed). *Hydrocolloids in Food Processing*, (pp. 1-18). Iowa, EE.UU.: Blackwell Publishing.
56. Lawless, H. y Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: principles and practices* (2da ed.). NY, EE.UU.: Springer New York.
57. Lee, J., Park, H., Lee, C. y Choi, W. (2003). Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *Food Science and Technology*, 36(3), 323-329. doi: 10.1016/S0023-6438(03)00014-8
58. Madani, B. y Forney, C. (2015). Recent Research on Calcium and Postharvest Behavior. En Willis, B. y Golding, J. (Eds.) *Advances in*

Postharvest Fruit and Vegetable Technology, (pp. 19-38). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.

59. Madene, A., Jacquot, M., Scher, J. y Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release—a review. *International journal of food science & technology*, 41(1), 1-21. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.00980.x
60. Mantilla, N., Castell-Perez, M., Gomes, C. y Moreira, R. (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(1), 37-43. doi:10.1016/j.lwt.2012.10.010
61. Marcotte, M., Taherian, A. y Ramaswamy, H. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703. doi: 10.1016/S0963-9969(01)00091-6
62. Marcuzzo, E., Debeaufort, F., Sensidoni, A., Tat, L., Beney, L., Hambleton, A., Peressini, A. y Voilley, A. (2012). Release behavior and stability of encapsulated D-limonene from emulsion-based edible films. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(49), 12177-12185. doi: 10.1021/jf303327n
63. Marrero, A. y Kader, A. (2006). Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*, 39(2), 163-168. doi: 10.1016/j.postharvbio.2005.10.017
64. McHugh, T. y Avena-Bustillos, R. (2012). En Baldwin, E., Hagenmaier, R. y Bai, J. (Eds.). *Edible coatings and films to improve food quality* (2da Ed., pp. 291-318). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.

65. Millán, F., López S., Roa, V., Tapia, M. y Cava, R. (2001). Estudio de la estabilidad microbiológica del melón (*Cucumis melo* L.) mínimamente procesado por impregnación al vacío. *Archivos Latinoamericano de Nutrición*, 51(2), 173-179.
66. Mohammed, M. (2004). Optimizing postharvest handling and maintaining quality of fresh pineapples (*Ananas cosmosus* L.). Manual IICA-PM A2/TT No. 2004-03. Recuperado de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.484.5834&rep=rep1&type=pdf> (Septiembre, 2015).
67. Montero-Calderón, M. (2010). Internal quality profile and influence of packaging conditions on fresh-cut pineapple. (Tesis Doctoral). Universidad de Lleida, Lleida, España.
68. Moros, J. (2010). Innovación en el desarrollo de productos en IV y V gama. Alternativas en el procesado de nuevos alimentos. Recuperado de: http://www.fundacionmediterranea.ual.es/archivos/varios/Foro_Innovacion/Mesa_Agroalimentacion/20.01.2011/Mesa.Agroalimentacion.20.01.2011.Jose.Enrique.Moros.pdf (Septiembre, 2015).
69. Nieto, M. (2009). Structure and Function of Polysaccharide Gum-Based Edible Films and Coatings. En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Applications*, (pp. 57-112). NY, EE.UU: Springer New York.
70. Olivas, G. y Barbosa-Cánovas, G. (2005). Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 657-670. doi: 10.1080/10408690490911837
71. Olivas, G., y Barbosa-Cánovas, G. (2009). Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible*

Films and Coatings for Food Applications, (pp. 211-244). NY, EE.UU: Springer New York.

72. Park, B. J., Lee, D. y Furst, E. (2014). Interactions and Conformations of Particles at Fluid-Fluid Interfaces. En Ngai, T. y Bon, S. (Eds.). *Particle-Stabilized Emulsions and Colloids*, (pp. 8-44). Cambridge, UK: RSC Publishing.
73. Paull, R. y Chen, C. (2003). Postharvest Physiology, Handling and Storage of Pineapple. En Bartholomew, D. Paull, R. y Rohrbach, K. *The Pineapple: Botany, Production and Uses*, (pp. 253-280). Wallingford, UK: CABI Publishing.
74. Pavlath, A. y Orts, W. (2009). Edible films and coatings: What, Why and How? En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Applications*, (pp. 1-23). NY, EE.UU: Springer New York.
75. Pavón, D. (2015). Uso potencial de la goma de tara (*Caesalpinia spinosa*) para el desarrollo de nuevas películas y recubrimientos comestibles compuestos (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
76. Pérez-Gago, M. y Krochta, J. (2005). Emulsion and bi-layer edible films. En: Han, J. (Ed.). *Innovations in Food Packaging*, (pp. 384-402). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
77. Pérez-Gago, M. y Rhim, J. (2014). Edible Coating and Film Materials: Lipid Bilayers and Lipid Emulsions. En Han, J. (Ed.). *Innovations in Food Packaging*, (2da Ed., pp. 325-350). Plano, EE.UU.: Elsevier.
78. Pérez-Gago, M., Serra, M. y Del Rio, M. (2006). Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings.

Postharvest Biology and Technology, 39(1), 84-92. doi: 10.1016/j.postharvbio.2005.08.002

79. Pérez-Masiá, R., Fabra, M. y Talens, P. (2009). Influencia del tamaño de partícula en films comestibles a base de caseinato sódico y ácido esteárico o ácido oleico (Tesis de máster). Recuperado del repositorio digital de la Universidad Politécnica de Valencia (<http://hdl.handle.net/10251/14313>).
80. Phan-The, D., Debeaufort, F., Voilley, A. y Luu, D. (2009). Influence of hydrocolloid nature on the structure and functional properties of emulsified edible films. *Food hydrocolloids*, 23(3), 691-699. doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.05.006
81. Prajapati, V., Maheriya, P., Jani, G. y Solanki, H. (2014). Carrageenan: a natural seaweed polysaccharide and its applications. *Carbohydrate polymers*, 105, 97-112. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.01.067
82. PROECUADOR. (2011). *Perfil de piña Ecuatoriana*. Recuperado de: <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2011/11/PROEC-P2011-PINA-ECUATORIANA.pdf> (Septiembre, 2015).
83. Quezada-Gallo, J. (2009). Delivery of Food Additives and Antimicrobials Using Edible Films and Coatings. En Huber, K. y Embuscado, M. (Eds.). *Edible Films and Coatings for Food Applications*, (pp. 315-333). NY, EE.UU: Springer New York.
84. Raghavan, S. y Cipriano, B. (2006). Gel formation: phase diagrams using tabletop rheology and calorimetry. En Weiss, R. y Terech, P. *Molecular Gels*, (pp. 241-252). Berlín, Alemania: Springer Berlín.
85. Real Academia Española (RAE). (2015). Diccionario de la lengua española. Recuperado de <http://lema.rae.es/drae/> (Septiembre, 2015).

86. Rico, D., Martin-Diana, A., Barat, J. y Barry-Ryan, C. (2007). Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 18(7), 373-386.
87. Rojas-Graü, M. A., Raybaudi-Massilia, R., Soliva-Fortuny, R., Avena-Bustillos, R., McHugh, T. y Martín-Belloso, O. (2007). Apple pectin-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45(2), 254-264. doi: 10.1016/j.postharvbio.2007.01.017
88. Sangsuwan, J., Rattanapanone, N. y Rachtanapun, P. (2008). Effect of chitosan/methyl cellulose films on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 49(3), 403-410. doi: 10.1016/j.postharvbio.2008.02.014
89. Santos, J. Vilas-Boas, E., Prado, M. y Pinheiro, A. (2005). Avaliação da qualidade do abacaxi “pérola” minimamente processado armazenado sob atmosfera modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(2), 353–361. doi: 10.1590/S1413-70542005000200012
90. Schramm, L. (2014). *Emulsions, foams, and suspensions: Microscience and Applications* (2da ed.). Weinheim, Alemania: Wiley-VCH.
91. Soottitantawat, A., Yoshii, H., Furuta, T., Ohkawara, M. y Linko, P. (2003). Microencapsulation by spray drying: influence of emulsion size on the retention of volatile compounds. *Journal of Food Science Chicago*, 68(7), 2256-2262. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05756.x
92. Spadoni, A., Neri, F. y Mari, M. (2015). Physical and Chemical Control of Postharvest Diseases. En Willis, B. y Golding, J. (Eds.) *Advances in Postharvest Fruit and Vegetable Technology*, (pp. 89-116). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.

93. Suzuki, M., Nakajima, Y., Yumoto, M., Kimura, M., Shirai, H. y Hanabusa, K. (2003). Effects of hydrogen bonding and van der Waals interactions on organogelation using designed low-molecular-weight gelators and gel formation at room temperature. *Langmuir*, 19(21), 8622-8624. doi: 10.1021/la034772v
94. Taherian, A., Fustier, P. y Ramaswamy, H. (2006). Effect of added oil and modified starch on rheological properties, droplet size distribution, opacity and stability of beverage cloud emulsions. *Journal of Food Engineering*, 77(3), 687-696. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.06.073
95. Tinitana, R. (2014). Estudio de la calidad poscosecha de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) mínimamente procesada (FRESH-CUT) (Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
96. Torri, L., Sinelli, N. y Limbo, S. (2010). Shelf life evaluation of fresh-cut pineapple by using an electronic nose. *Biology and Technology*, 56(3), 239–245. doi: 10.1016/j.postharvbio.2010.01.012
97. Trejo-Márquez, 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* (pp. 230-239). Murcia, España.
98. Valencia-Chamorro, S. (2009). Desarrollo de recubrimientos comestibles con actividad antifúngica en frutos cítricos (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
99. Valencia-Chamorro, S., Palou, L., Del Río, M. y Pérez-Gago, M. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Critical reviews in food*

science and nutrition, 51(9), 872-900. doi: 10.1080/10408398.2010.485705

100. Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. y González-Martínez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(6), 496-511.
101. Watkins, C. (2015). Advances in the Use of 1-MCP. En Wills, B. y Golding, J. (Eds.) *Advances in Postharvest Fruit and Vegetable Technology*, (pp. 117-146). Boca Ratón, EE.UU.: CRC Press.
102. Yuguchi, Y., Thuy, T., Urakawa, H. y Kajiwara, K. (2002). Structural characteristics of carrageenan gels: temperature and concentration dependence. *Food hydrocolloids*, 16(6), 515-522. doi: 10.1016/S0268-005X(01)00131-X
103. Zaritzky, N. (2011). Edible coatings to improve food quality and safety. En Aguilera, J., Simpson, R., Welti-Chanes, J., Aguirre, D. y Barbosa-Cánovas, G. (Eds.). *Food Engineering Interfaces* (pp. 631-659). NY, EE.UU: Springer New York.

ANEXOS

ANEXO I

TABLA DE COLOR DE LA PIÑA
(*Ananas comosus* (L.) Merr. var. comosus)

En la siguiente figura se observa el desarrollo de color de la piña utilizado para clasificarla según su grado de madurez.

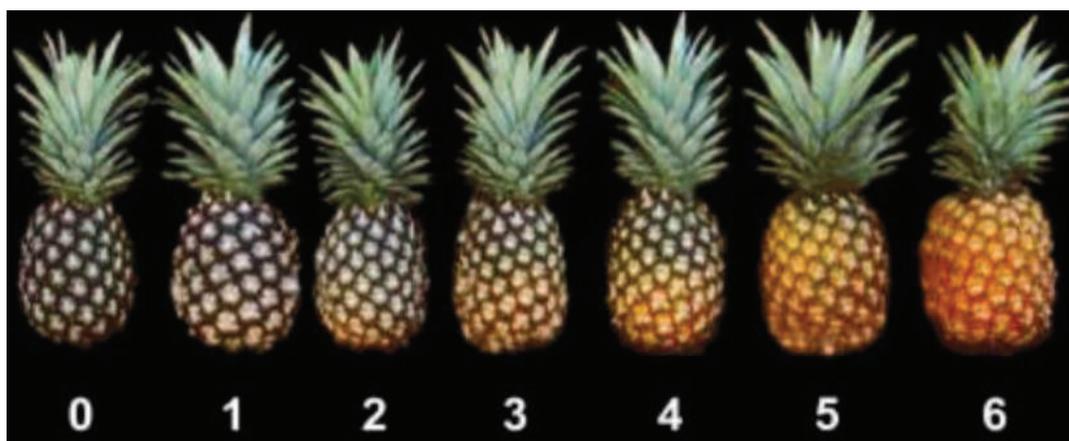


Figura AI. Tabla de color de la piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. comosus)
(NTE INEN 1 836:2009, 2009, p. 5)

ANEXO II

FOTOGRAFÍAS DEL EXPERIMENTO REALIZADO CON EL MÉTODO DE INVERSIÓN DE TUBO

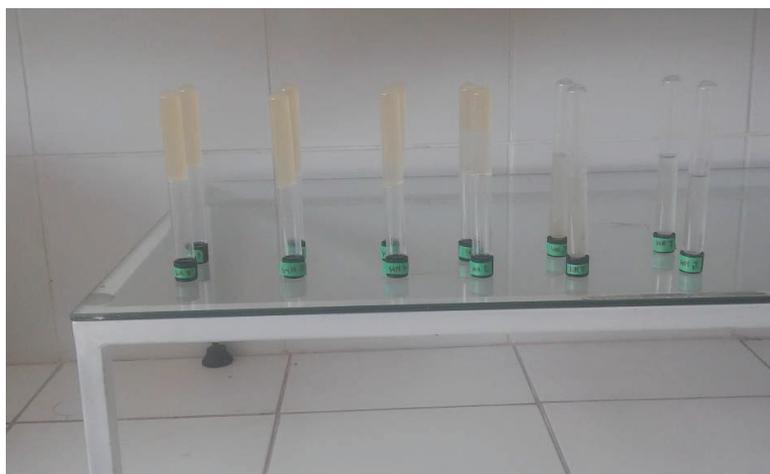


Figura AII.1. Mesa de ensayo para la evaluación de la concentración de CR por el método de inversión de tubo



Figura AII.2. Muestra de solución de CR invertida sobre la mesa de ensayo

ANEXO III

CUESTIONARIO PARA LA EVALUACIÓN DE LA APARIENCIA VISUAL DE PIÑA DE IV GAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
ANÁLISIS SENSORIAL

PROYECTO: "Desarrollo y estudio de un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama"

NOMBRE:

FECHA:

Usted recibirá tres muestras (piña) para evaluar, escriba sus códigos y califíquelas según la escala que se muestra a continuación:

1. Piña mínimamente procesada sin recubrimiento

Código	Apariencia general de la muestra 3: Buena 2: Aceptable 1: Mala	Observaciones

2. Piña mínimamente procesada recubierta

Código	Apariencia general de la muestra 3: Buena 2: Aceptable 1: Mala	Observaciones

NM/SV

Gracias por su colaboración

Figura AIII.1. Formato de la evaluación de la apariencia general de las muestras de piña de IV gama

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
ANÁLISIS SENSORIAL

PROYECTO: "Desarrollo y estudio de un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama"

NOMBRE:

FECHA:

Usted recibirá tres muestras (piña) para evaluar, escriba sus códigos y califíquelas según la escala que se muestra a continuación:

Código	Apariencia del <u>recubrimiento</u> (<u>homogeneidad, grietas, manchas</u>) 3: Buena 2: Aceptable 1: Mala	Observaciones

NM/SV

Gracias por su colaboración

Figura AIII.2. Formato de la evaluación de la apariencia del recubrimiento de las muestras de piña de IV gama

ANEXO IV

CUESTIONARIO PARA LA EVALUACIÓN DEL AROMA DE PIÑA DE IV GAMA, PRUEBA TRIANGULAR

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
ANÁLISIS SENSORIAL

PROYECTO: "Desarrollo y estudio de un recubrimiento comestible a base de carragenina para piña de IV gama"

NOMBRE:

FECHA:

Usted recibirá tres muestras (piña) para evaluar. Dos de las tres muestras son idénticas y la tercera es diferente. Usted tendrá que identificar e indicar cuál es la muestra diferente.

1. Perciba la el aroma (sabor + olor) de la muestra, luego identifique con una X la muestra diferente de la triada.

No de muestra	diferente

2. Indique con una X el grado de diferencia de los duplicados y la muestra desigual, de acuerdo a los siguientes parámetros.

	Grado de diferencia
Leve	
Moderado	
Considerable	

3. Sabores extraños: marque con una X si se presentan sabores extraños, si los hubiera escriba en observaciones el sabor presentado.

Muestra diferente presenta sabores extraños	
Duplicados presentan sabores extraños	

4. Observaciones: _____

NM/SV

Gracias por su colaboración

Figura AIV. Formato de la evaluación del aroma de las muestras de piña de IV gama, prueba triangular

ANEXO V

**TABLAS DE INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS
SENSORIAL DE AROMA EN PIÑA DE IV GAMA**

Tabla AV. Número de respuestas correctas necesarias, según el número de panelistas (n), para obtener resultados significativos (α), en una prueba triangular y en un *two-sample test*

n	α			
	Prueba triangular		<i>Two-sample test</i>	
	5%	1%	5%	1%
6	5	6	-	-
7	5	6	-	-
8	6	7	8	-
9	6	7	9	-
10	7	8	10	-
11	7	8	11	11
12	8	9	11	12
13	8	9	12	13
14	9	10	13	14
15	9	10	13	14
16	9	11	14	15
17	10	11	15	16
18	10	12	15	17
19	11	12	16	17
20	11	13	17	18
21	12	13	17	19
22	12	14	18	19
23	12	14	19	20
24	13	15	19	21
25	13	15	20	21

(ASTM, 2011, p. 5)

ANEXO VI

COSTOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

Tabla AVI. Costos de mantenimiento de equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama

Equipo	Actividad	Costo anual (USD)
Homogeneizador industrial ULTRA-TURRAX	Limpieza con alcohol isopropílico, conexiones eléctricas	2 000,00
Destilador de agua (20 L/h)	Limpieza, conexiones eléctricas	100,00
Cámara de refrigeración ¹	Limpieza, inspección y corrección de deshielo, línea de retorno del refrigerante	400,00
TOTAL		2 500,00

¹ el costo de mantenimiento podría ascender a USD 600 en caso de requerir movilización de la cámara

ANEXO VII

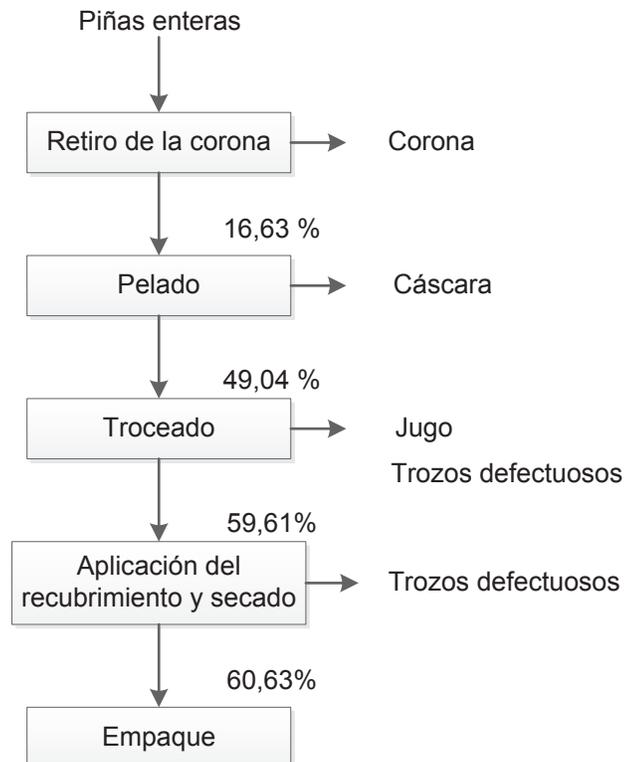
**PÉRDIDAS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PIÑA
MÍNIMAMENTE PROCESADA (IV GAMA)**

Figura AVII. Pérdidas (%) en el proceso de elaboración de piña mínimamente procesada (IV gama) calculadas respecto al peso de las piñas enteras

ANEXO VIII

CÁLCULOS Y ESTIMACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CARGA CALÓRICA

A continuación se muestran los cálculos y estimaciones utilizados para el cálculo de la carga calórica necesaria para una cámara de refrigeración (4 °C) destinada al almacenamiento de piña de IV gama. Todos los cálculos se realizaron para un día de funcionamiento.

Pérdida por paredes: el cálculo se hizo según la ecuación AXI.1.

$$Q_p = f \cdot A \quad \text{[AXI.1]}$$

Donde:

Q_p : calor perdido por las paredes de la cámara (kJ)

f : factor de resistencia del material ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)

A : área de transferencia de calor (m^2)

Se estimó la pérdida de calor por las paredes en base al material de aislamiento elegido. El factor de resistencia es el de paneles frigoríficos con poliuretano inyectado. El área de transferencia de calor se obtiene a sumar las áreas de las paredes con las dimensiones descritas en la Tabla 3.14. Entonces:

$$Q_p = 339,1 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \times 59 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 20\,006,90 \text{ kJ}$$

Pérdida de calor por respiración: el cálculo se realizó con la ecuación AXI.2.

$$Q_R = Q_r \cdot t \cdot m \quad \text{[AXI.2]}$$

Donde:

Q_R : pérdida por calor de respiración del producto (kJ)

Q_r : calor de respiración del producto ($\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)

t: tiempo de almacenamiento (h)

m: peso del producto almacenado (kg)

Para esto se utilizó el valor estimado de calor de respiración de frutas mínimamente procesadas. Al reemplazar en la ecuación AXI.2.

$$Q_R = 1,67 \frac{\text{kJ}}{\text{h}\cdot\text{kg}} \times 24 \text{ h} \times 100 \text{ kg}$$

$$Q_R = 4\ 008,00 \text{ kJ}$$

Pérdida de calor por motores: el cálculo se realizó con la ecuación AXI.3.

$$Q_m = f_m \cdot P \cdot t \quad \text{[AXI.3]}$$

Donde:

Q_m : pérdida de calor por motores (kJ)

f_m : factor de pérdida de calor por motor correspondiente a la potencia del motor seleccionado ($\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{HP}^{-1}$)

P: potencia del motor (HP)

t: tiempo de almacenamiento (h)

Para esto se utilizó el valor estimado del factor f_m para carga conectada en el espacio y una potencia de motor aproximada de 1HP (almacenamiento de frutas a 4 °C y velocidad del aire 5 m/s). Al reemplazar en la ecuación AXI.3.

$$Q_m = 2\ 685 \frac{\text{kJ}}{\text{h}\cdot\text{HP}} \times 1 \text{ HP} \times 24 \text{ h}$$

$$Q_m = 64\ 440,13 \text{ kJ}$$

Pérdida de calor por personas: el cálculo se realizó con la ecuación AXI.4.

$$Q_{ps} = f_{ps} \cdot N \cdot t \quad [AXI.4]$$

Donde:

Q_{ps} : pérdida de calor por personas (kJ)

f_{ps} : factor de pérdida de calor por persona ($\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{persona}^{-1}$)

N: número de personas en cámara

t: tiempo de estadía de las personas en cámara (h)

Para esto se utilizó el valor estimado del factor f_{ps} para pérdida de calor debido a personas en la cámara de refrigeración a 4 °C. Se estimaron dos personas, que en un día, estarían dentro de la cámara por una hora aproximadamente. Al reemplazar en la ecuación AXI.4.

$$Q_{ps} = 886 \frac{\text{kJ}}{\text{h} \cdot \text{persona}} \times 2 \text{ personas} \times 1 \text{ h}$$

$$Q_{ps} = 1\ 772,00 \text{ kJ}$$

Calor por alumbrado: el cálculo se realizó con la ecuación AXI.5.

$$Q_{al} = P_{al} \cdot f_{al} \cdot t \quad [AXI.5]$$

Donde:

Q_{al} : pérdida de calor por alumbrado (kJ)

P_{al} : potencia del alumbrado (W)

f_{al} : factor de pérdida de calor correspondiente al voltaje del alumbrado ($\text{kJ} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

t: tiempo de funcionamiento del alumbrado (h)

Para esto se utilizó el valor estimado del factor f_{al} para pérdida de calor con alumbrado de potencia 20 W. El tiempo de funcionamiento incluye tiempo de

salida de producto o intercambio de mallas de secado. Al reemplazar en la ecuación AXI.5.

$$Q_{ar}=20 \text{ W} \times 3,61 \frac{\text{kJ}}{\text{W}\cdot\text{h}} \times 1,5 \text{ h}$$

$$Q_{ar}=108,18 \text{ kJ}$$

Pérdidas en aire de reemplazo: el cálculo se realizó con la ecuación AXI.6.

$$Q_{ar} = N \cdot f_{ar} \cdot V_c \quad \text{[AXI.6]}$$

Donde:

Q_{ar} : pérdida de calor por cambios de aire (kJ)

N: Número estimado de cambios de aire en un día

f_{ar} : factor de pérdida de calor por cambios de aire a la temperatura y humedad relativa de operación (kJ/m³)

V_c : volumen de la cámara (m³)

El número de cambios de aire se toman de acuerdo al volumen de la cámara, para este caso en específico se estiman 17 cambios de aire por día de funcionamiento. Para esto se utilizó el valor estimado del factor f_{ar} para pérdida de calor a 4 °C y 90% de humedad relativa. Al reemplazar en la ecuación AXI.6.

$$Q_{ar}=17 \text{ cambios} \times 8,93 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \times 30 \text{ m}^3$$

$$Q_{ar}=4 554,30 \text{ kJ}$$

ANEXO IX

COSTOS DE FABRICACIÓN DE LA CÁMARA

El refrigerante elegido fue el 134a. Las dimensiones de la puerta de acceso a la cámara son de 1m x 2m. En base a la carga calórica se estimó la potencia de la unidad condensadora y del evaporador (Barreiro y Sandoval, 2006, pp. 160-174). El costo del suministro energía para la cámara se incluye en la Tabla 3.11.

Tabla AIX. Costos estimados de la cámara de refrigeración para piña de IV gama

Concepto	Costo total (USD)
Paneles frigoríficos con poliuretano inyectado (35 m ²)	1 330,00
Unidad condensadora 1 HP	800,00
Evaporador ventilador 1,2 kW	590,00
Puerta frigorífica	450,00
Accesorios, líneas de tubería y controles eléctricos.	1 700,00
Refrigerante (2 kg)	70,00
Instalación y asesoría	800,00
Total	5 740,00

ANEXO X

COSTOS FIJOS PARA EL FLUJO DE CAJA

El detalle de los costos fijos para la elaboración del flujo de caja, relacionados a la implementación de la línea de recubrimiento, empaque y almacenamiento de piña de IV gama recubierta se indican en la Tabla AX.

Tabla AX. Costos fijos de la implementación del recubrimiento como tratamiento poscosecha en piña de IV gama recubierta

Salarios USD^x			
Salario mensual	Décimo tercero	Aporte IESS	Total anual
1 062,00	1 062,00	122,13	15 271,56
Total salarios			15 271,56
Servicios (USD)			
Descripción	Cantidad	USD mensual	Total anual
Agua	0,20 m ³ /día	8,64	103,68
Energía eléctrica	1,2 kW/h	103,68	1 244,16
Total servicios			1 347,34
Mantenimiento^y			2 500,00
Total costos fijos			19 118,90

^x salario para los 3 operarios requeridos; ^y detalle en el Anexo VI

ANEXO XI

DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS

Tabla AXI. Depreciación de los equipos necesarios para la aplicación del recubrimiento como tratamiento poscosecha para piña de IV gama

Datos			
Activo fijo:	Equipos	Tipo de depreciación:	Lineal
Vida útil:	10 años	Valor residual:	8.781,80
Costo del activo:	USD 17 563,60		
Depreciación (USD)			
Periodo (años)	Depreciación anual	Depreciación acumulada	Importe
1	1 756,36	1 756,36	15 807,24
2	1 756,36	3 512,72	14 050,88
3	1 756,36	5 269,08	12 294,52
4	1 756,36	7 025,44	10 538,16
5	1 756,36	8 781,80	8 781,80

ANEXO XII

AMORTIZACIÓN DEL PRÉSTAMO

La implementación del recubrimiento, almacenamiento y empaque de piña de IV gama requeriría una inversión de USD 17 563,60, que se cubriría mediante préstamo bancario (USD 10 000) y aporte de accionistas (USD 7 563,60). La tasa de interés actual es de 11,83%. El préstamo se pagaría en 5 años.

Tabla AXII. Amortización del préstamo (USD 10 000) para un periodo de 5 años y tasa de interés de 11,83% anual

Amortización del préstamo (USD)					
Año	Capital	Aporte capital (-)	Interés (-)	Cuota (-)	Saldo
1	10 000,00	1 579,42	1 183,00	2 762,42	8 420,58
2	8 420,58	1 766,27	996,15	2 762,42	6 654,31
3	6 654,31	1 975,22	787,20	2 762,42	4 679,09
4	4 679,09	2 208,89	553,54	2 762,42	2 470,20
5	2 470,20	2 470,20	292,22	2 762,42	0,00