

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Efecto de recubrimientos comestibles a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano en la conservación de arándanos  
(*Vaccinium corymbosum*)

Presentado por:

Sorayra Ancco Chancahuaña

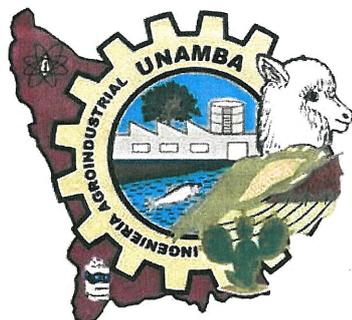
Para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“TESIS”

“EFECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES A BASE DE MUCÍLAGO  
EXTRAÍDO DE PENCA DE TUNA CON QUITOSANO EN LA CONSERVACIÓN  
DE ARÁNDANOS (*vaccinium corymbosum*)”

Presentado por **Sorayra Ancco Chancahuaña**, para optar el título de:  
**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Sustentado y aprobado 30 de septiembre del 2022, ante el jurado evaluador:

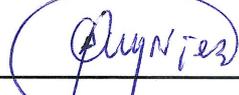
**Presidente:**

  
\_\_\_\_\_  
*M.Sc. Víctor Hugo Sarmiento Casavilca*

**Primer Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Ing. Ruth Mery Ccopa Flores*

**Segundo Miembro:**

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. Anderson Núñez Fernández*

**Asesor (a):**

  
\_\_\_\_\_  
*Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca*

## **Agradecimiento**

*En primer lugar, agradecer a Dios por, sobre todo, por cuidarme y guiarme en todas las etapas de mi formación profesional y seguir ayudándome en el logro de mis objetivos profesionales.*

*A mi familia, en especial a mis padres, María Chanchhuaña Pilco y Elías Ancco Vizcarra, por su apoyo incondicional pues me apoyaron en todas las etapas de mi formación académica y profesional, sus consejos y su comprensión. También a mis hermanos a cada uno por apoyarme de distintas formas en esta etapa muy importante de mi vida que es el logro de mis metas.*

*A mi asesora de tesis, Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca, por su valiosa asesoría, por compartir su conocimiento y brindar su apoyo incondicional en todas las etapas de desarrollo del presente trabajo de investigación.*

*A los docentes miembros del jurado calificador*

*A todas las personas que me apoyaron incondicionalmente en esta etapa muy importante de mi vida.*

## **Dedicatoria**

*A Dios, sobre todo, quien me cuida y protege en todo momento, quien nunca me abandono en los buenos y malos momentos, me guía y me ayuda en el logro de todas mis metas más aun Dios es el que permite la existencia de mis Padres.*

*A mis Padres: Elías Ancco Vizcarra y María Chanchhuaña pilco quienes me apoyaron incondicionalmente en todas las etapas de mi formación académica de manera económica y emocional con sus consejos, su comprensión y los valores inculcados a mi persona, dedico a mis padres quienes son la verdadera motivación de mi esfuerzo para lograr mis metas.*

*A mis hermanos Javier, Jessica, Favio y Jonathan, por su apoyo incondicional de distintas formas.*

“Efecto de recubrimientos comestibles a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano en la conservación de arándanos (*Vaccinium corymbosum*)”

Línea de investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación de la Agroindustria.

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>RESUMEN</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>CAPÍTULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
1.1 Descripción del problema.....	4
1.2 Enunciado del problema.....	5
1.2.1 Problema general.....	5
1.2.2 Problemas específicos .....	5
1.2.3 Justificación de la investigación .....	6
<b>CAPÍTULO II</b> .....	8
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	8
2.1 Objetivos de la Investigación .....	8
2.2.1 Objetivo General .....	8
2.2.2 Objetivos específicos .....	8
2.2 Hipótesis de la investigación .....	9
2.2.3 Hipótesis general.....	9
2.2.4 Hipótesis específicas .....	9
2.3 Operacionalización de variables .....	9
<b>CAPÍTULO III</b> .....	11
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b> .....	11
3.1 Antecedentes.....	11
3.2 Marco teórico .....	14
3.2.1 Arándano ( <i>Vaccinium corymbosum</i> ).....	14
3.2.1.1 Descripción taxonómica .....	14



3.2.1.2 Tipos de arándano .....	14
3.2.1.3 Descripción botánica .....	15
3.2.1.4 Composición química .....	16
3.2.1.5 Parámetros fisicoquímicos del fruto del arándano .....	17
3.2.1.6 Parámetros funcionales del fruto arándano .....	19
3.2.1.7 Producción del arándano .....	19
3.2.1.8 Aplicación de tecnologías postcosecha .....	21
3.2.1.9 Transporte de gases .....	23
3.1.1.10 Fisiología de la maduración y deterioro del arándano .....	24
3.2.1.11 Usos y beneficios .....	24
3.2.2 Patógenos que causan pudrición en los arándanos .....	25
3.2.2.1 El control de hongos causantes de pudrición en postcosecha de arándanos permite mejorar las condiciones en destino .....	26
3.2.3 Recubrimientos Comestibles .....	27
3.2.3.1 Definición .....	27
3.2.3.2 Importancia y funciones de los RC .....	27
3.2.3.3 Tipos de recubrimientos comestibles .....	27
3.2.3.4 Aditivos formadores de RC .....	29
3.2.3.5 Métodos de aplicación de las películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC) .....	31
3.2.3.6 Principales propiedades de los recubrimientos comestibles .....	31
3.2.3.7 Propiedades fisicoquímicas de recubrimientos comestibles .....	32
3.2.3.8 Acción de los recubrimientos comestibles en los cambios fisicoquímicos .....	34
3.2.3.9 Propiedades funcionales .....	36
3.2.4 El quitosano .....	36
3.2.4.1 Fuentes de quitosano .....	37
3.2.4.2 Estructura del quitosano .....	37
3.2.4.3 Propiedades fisicoquímicas del quitosano .....	38



3.2.4.4 Obtención del quitosano .....	39
3.2.4.5 El quitosano como recubrimiento comestible .....	40
3.2.5 Penca de tuna .....	42
3.2.5.1 Mucílago de penca de tuna .....	42
3.2.5.2 Composición química del mucílago .....	42
3.2.5.3 Métodos de extracción .....	43
3.2.5.4 Composición química de los diferentes macrocomponentes del mucílago .....	44
3.3 Marco conceptual .....	45
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>46</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>46</b>
4.1 Tipo y Nivel de investigación.....	46
4.2 Diseño de la investigación.....	46
4.3 Descripción ética de la investigación.....	46
4.4 Población y Muestra.....	48
4.5 Procedimiento .....	49
4.6 Técnica e instrumentos.....	63
4.7 Análisis estadístico.....	64
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>66</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b> .....	<b>66</b>
5.1 Análisis de resultados.....	66
5.2 Contrastación de hipótesis .....	75
5.3 Discusión .....	77
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>92</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>92</b>
6.1 Conclusiones .....	92
6.2 Recomendaciones.....	92
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>105</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> — Operacionalización de variables .....	10
<b>Tabla 2</b> — Clasificación taxonómica del arándano .....	14
<b>Tabla 3</b> — Composición Química del arándano Nutrientes /100 g .....	16
<b>Tabla 4</b> — Respiración del fruto de arándano a diferente temperatura .....	24
<b>Tabla 5</b> — Composición química del mucilago de la penca de tuna .....	43
<b>Tabla 6</b> — Valores en porcentaje en pesos de los diferentes macrocomponentes del mucilago en los diferentes procesos de extracción. ....	44
<b>Tabla 7</b> — Diseño de la investigación.....	47
<b>Tabla 8</b> — Resultados de análisis fisicoquímico del recubrimiento comestible .....	66
<b>Tabla 9</b> — Resultados de análisis de la presencia de bayas podridas en las muestras, en los 8 días de almacenamiento, expresado en porcentaje .....	70
<b>Tabla 10</b> — Resultados de análisis del efecto del recubrimiento comestible que tiene sobre la pudrición (expresado como eficacia). ....	71
<b>Tabla 11</b> — Resultados de análisis del efecto del recubrimiento comestible que tiene sobre las características fisicoquímicas del arándano.....	72
<b>Tabla 12</b> — Resultados de análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso (expresado en porcentaje de pérdida de peso durante los 8 días de almacenamiento) ....	73
<b>Tabla 13</b> — Análisis de espesor.....	106
<b>Tabla 14</b> — Análisis de Densidad.....	107
<b>Tabla 15</b> — Análisis de opacidad .....	108
<b>Tabla 16</b> — Análisis de contenido de humedad .....	109
<b>Tabla 17</b> — Análisis de solubilidad en agua .....	110
<b>Tabla 18</b> — Análisis de capacidad de retencion de agua .....	111
<b>Tabla 19</b> — Análisis de permeabilidad al vapor de agua.....	112
<b>Tabla 20</b> — Evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso .	113



<b>Tabla 21</b> — Evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímicas (antes y después del almacenamiento).....	114
<b>Tabla 22</b> — Evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición .....	115
<b>Tabla 23</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para espesor.....	116
<b>Tabla 24</b> — Comparación de medias de espesor por tukey .....	116
<b>Tabla 25</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para densidad .....	116
<b>Tabla 26</b> — Comparación de medias de densidad por tukey .....	116
<b>Tabla 27</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para opacidad .....	117
<b>Tabla 28</b> — Comparación de medias de opacidad por tukey .....	117
<b>Tabla 29</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para % de contenido de humedad.....	117
<b>Tabla 30</b> — Comparación de medias de % de contenido de humedad por tukey .....	117
<b>Tabla 31</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para solubilidad en agua .....	118
<b>Tabla 32</b> — Comparación de medias de solubilidad en agua por tukey .....	118
<b>Tabla 33</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para capacidad de retención de agua (CRA)..	118
<b>Tabla 34</b> — Comparación de medias de capacidad de retención de agua por tukey.....	118
<b>Tabla 35</b> — Análisis de varianza (ANOVA) para permeabilidad al vapor de agua (PVA)..	119
<b>Tabla 36</b> — Comparación de medias de permeabilidad al vapor de agua por tukey.....	119
<b>Tabla 37</b> — Análisis de varianza del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso .....	120
<b>Tabla 38</b> — Comparación de medias del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso.....	120
<b>Tabla 39</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el Brix del arándano antes del almacenamiento .....	120
<b>Tabla 40</b> — Comparación de medias por tukey del efecto del recubrimiento comestible sobre el brix del arándano antes del almacenamiento .....	121
<b>Tabla 41</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el pH del arándano antes del almacenamiento .....	121
<b>Tabla 42</b> — Comparación de medias por tukey del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre el pH del arándano antes del almacenamiento .....	121



<b>Tabla 43</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano antes del almacenamiento .....	121
<b>Tabla 44</b> — Comparación de medias por tukey del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano antes del almacenamiento .....	122
<b>Tabla 45</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el Brix del arándano después del almacenamiento .....	122
<b>Tabla 46</b> — Comparación de medias por tukey del efecto del recubrimiento comestible sobre el Brix del arándano después del almacenamiento .....	122
<b>Tabla 47</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el pH del arándano después del almacenamiento .....	123
<b>Tabla 48</b> — Comparación de medias por tukey del efecto del recubrimiento comestible sobre el pH del arándano después del almacenamiento .....	123
<b>Tabla 49</b> — Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano después del almacenamiento .....	123
<b>Tabla 50</b> — Comparación de medias por tukey del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano después del almacenamiento .....	123
<b>Tabla 51</b> — Resultados de análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición .....	124
<b>Tabla 52</b> — Comparación de medias por tukey del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pudrición.....	124



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> — Perú, producción de arándanos y áreas sembradas .....	21
<b>Figura 2</b> — Estructura química del quitosano .....	38
<b>Figura 3</b> — Diagrama de flujo de extracción de mucílago de penca de tuna.....	51
<b>Figura 4</b> — Diagrama de flujo del procedimiento de elaboración de recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna y quitosano .....	52
<b>Figura 5</b> — Recolección y adecuación de penca de tuna. ....	125
<b>Figura 6</b> — Troceado y pesado de penca de tuna.....	125
<b>Figura 7</b> — Escaldado de penca de tuna .....	126
<b>Figura 8</b> — Molienda de penca de tuna .....	125
<b>Figura 9</b> — Tratamiento térmico de penca molida .....	127
<b>Figura 10</b> — Macerado .....	127
<b>Figura 11</b> — Filtrado de penca macerada .....	128
<b>Figura 12</b> — Precipitado de mucílago de penca de tuna.....	128
<b>Figura 13</b> — Secado de mucílago.....	129
<b>Figura 14</b> — Mucílago en polvo.....	129
<b>Figura 15</b> — Pesado de mucílago en polvo.....	130
<b>Figura 16</b> — Preparación de solución de mucílago .....	130
<b>Figura 17</b> — Preparación de solución de ácido acético .....	131
<b>Figura 18</b> — Preparación de solución de quitosano .....	131
<b>Figura 19</b> — Preparación de formulaciones .....	132
<b>Figura 20</b> — Transferencia de formulaciones a las placas para su respectivo secado .....	132
<b>Figura 21</b> — Secado de recubrimiento comestible .....	133
<b>Figura 22</b> — Obtención del recubrimiento comestible .....	133
<b>Figura 23</b> — Determinación de espesor .....	134
<b>Figura 24</b> — Determinación de opacidad .....	134
<b>Figura 25</b> — Determinación de contenido de humedad.....	135



<b>Figura 26</b> — Determinación de solubilidad en agua .....	135
<b>Figura 27</b> — Dterminación de capacidad de retención de agua .....	136
<b>Figura 28</b> — Determinación de permeabilidad al vapor de agua .....	136
<b>Figura 29</b> — Lavado y deinfección de materia prima .....	137
<b>Figura 30</b> — Secado de arándano .....	137
<b>Figura 31</b> — Inmersión del arándano .....	138
<b>Figura 32</b> — Efecto del recubrimirnto comestible sobre la pudrición - parte 1 .....	139
<b>Figura 33</b> — Efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición - parte 2 .....	140
<b>Figura 34</b> — Determinación de °Brix del arándano .....	141
<b>Figura 35</b> — Determinación de pH del arándano .....	141
<b>Figura 36</b> — Determinación de acidez del arándano .....	142
<b>Figura 37</b> — Evauación de pèrdida de peso .....	142



## INTRODUCCIÓN

Los arándanos (*Vaccinium corymbosum*), son frutas con propiedades atractivas, nutritivas porque representan una fuente importante de antioxidantes y vitaminas. Los arándanos brindan grandes beneficios para la salud razón por lo que su demanda en el mercado internacional ha incrementado convirtiéndolo en un producto muy atractivo para la industria exportadora de frutas. Los arándanos se han transformado gradualmente de un nicho a un producto de consumo más grande con mayores oportunidades de mercado (Scheihing, 2005; ADEX, 2013). Sin embargo, los frutos de los arándanos son muy perecederos debido a su alta frecuencia respiratoria (Godoy, 2004). Por ello, en los últimos años, se han desarrollado diferentes tecnologías de conservación de los arándanos, que permiten alargar la vida útil de los arándanos y mantener sus propiedades organolépticas, una de estas tecnologías es la aplicación del recubrimiento comestible.

El uso de recubrimientos comestibles se basa en características, como costo, disponibilidad, características funcionales, características físicas y químicas, características ópticas (brillo y opacidad) su resistencia a fluir, los efectos contra la deshidratación, los microorganismos y su aceptabilidad sensorial. Estas características son influidas por el tipo de material utilizado, las condiciones de fabricación del recubrimiento comestible (tipo de disolvente, concentración de componente, temperatura, etc.), aditivos (plastificantes, recirculantes, agentes antimicrobianos, antioxidantes, emulsionantes, etc.). Teniendo en cuenta lo mencionado, el propósito del presente estudio fue encontrar un método alternativo para extender la vida útil del fruto de arándano mediante el uso de un recubrimiento comestible a base de mucilago extraído de penca de tuna de la región Apurímac con quitosano, evitando daños por hongos (pudrición), deshidratación y otros daños que pueden causar que el producto se estropee tales como los daños ocasionados en el proceso de manipulación, transporte y distribución, dando un paso hacia el fortalecimiento de la Agroindustria en la región Apurímac.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es extender la vida útil de los arándanos, desarrollar un recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna de la región Apurímac con quitosano para reducir la pudrición y reducir el proceso de deshidratación, sin alterar las propiedades fisicoquímicas del arándano. Para ello, el mucílago se extrajo por el método de escaldado utilizando un recipiente, luego se prepararon las fórmulas de quitosano y mucílago haciendo uso de agitadores y se evaluaron gravimétricamente las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento previamente secado las 8 formulaciones cada una con sus tres repeticiones en placas Petri, una vez determinada las propiedades fisicoquímicas, se procedió a la aplicación del recubrimiento comestible en los arándanos por el método de inmersión. En cuanto a los resultados de evaluación fisicoquímica del recubrimiento comestible, se obtuvo que la proporción de quitosano, mucílago y glicerol influyen en las propiedades como el espesor, densidad, opacidad, contenido de humedad, solubilidad en agua, CRA y PVA, ya que resultaron ser diferentes estadísticamente ( $p < 0.05$ ). En cuanto a la pudrición, el recubrimiento comestible desarrollado tuvo resultados efectivos contra la pudrición, donde el porcentaje de bayas con pudrición en las muestras recubiertas con las diferentes formulaciones, durante los 8 días de almacenamiento, resultaron ser diferentes estadísticamente ( $P < 0.005$ ) con la muestra testigo, además, los porcentajes oscilan entre  $0\% \pm 0.00\%$  a  $7.33\% \pm 1.15\%$  a comparación del tratamiento testigo que presentó  $90\% \pm 10\%$ ; siendo el F1(40Q-40M-2G) que presenta mejores resultados con 0% de pudrición hasta el día 8; sin embargo, en cuanto a la deshidratación el RC desarrollado es poco efectiva a comparación de su efectividad contra la pudrición, pero disminuye la deshidratación ya que según la comparación de medias hay tres grupos diferentes estadísticamente el primer grupo conformado por el tratamiento testigo el cual presenta mayor pérdida de peso y el tercer grupo conformado por F2(40Q-40M-4G), F4(40Q-50Q-4.5M) y F1(40Q-40M-2G) son los que presentan menor pérdida de peso siendo las mejores contra la pérdida de peso; Además, tras la evaluación de las características fisicoquímicas del arándano antes y después de los 8 días de almacenamiento, el °Brix incrementó, el pH incrementó y la acidez disminuyó ligeramente, evidenciando así que dichas características no fueron alteradas con el recubrimiento comestible, que el ciclo natural de maduración, transcurrió sin ninguna alteración.

**Palabras clave:** Recubrimiento comestible, arándano, formulación, mucílago, quitosano.



## ABSTRACT

The objective of the present work is to extend the useful life of blueberries, to develop an edible recurrence base from chitosan and mucilage extracted from prickly pear apurimeña to reduce the incidence of gray rot and reduce the dehydration process. For this, the mucilage was extracted by the scalding method using a bowl, then chitosan and mucilage solutions were prepared using agitators and the physicochemical properties of the previously dried coating of the 8 formulations were gravimetrically evaluated. Each one with its three repetitions in Petri dishes, once the physicochemical properties were determined, the edible coating was applied to the blueberries by the immersion method. Regarding the results of the physicochemical evaluation of the edible coating, it was obtained that the proportion of chitosan, mucilage and glycerol influence said properties such as thickness, density, opacity, moisture content, water solubility and water vapor permeability, since they turned out to be statistically different ( $p < 0.005$ ). Regarding rot, the edible coating developed showed effective results against the incidence of gray rot, the percentage of berries with rot in the samples coated with the different formulations, during the 8 days of storage, turned out to be statistically different ( $p < 0.05$ ), with the control sample, in addition, the percentages range from 0% to 7.33% compared to the control treatment that presented 90% in addition, being the F1 that numerically presents better results with 0% incidence of rot until day 8; however, in terms of dehydration, the developed CR is ineffective compared to this effectiveness against rot, but dehydration decreases, reflecting according to the comparison of means, there are three statically different groups, the first group made up the control treatment and the third group made up of F2, F4 and F1 which present less weight loss being the best against weight loss; in addition, after the evaluation of the blueberry before and after 8 days of storage, it was shown that these characteristics were not altered with the edible coating, since it was shown that the natural cycle of maturation; that is, the brix increased, the pH increased and the acidity decreased slightly in the 8 days of storage.

**Keywords:** *Edible coating, blueberry, formulation, mucilage, chitosan.*

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

El problema que se tiene con el arándano al igual que las otras berries, es su corta duración; desde que se recolectan o cosechan están expuestos a muchos cambios nutricionales, bioquímicos y estructurales. Según Zhang et al. (2007) indican que estos cambios son debidos a las condiciones de almacenamiento que se den durante la postcosecha, pues algunas son altamente delicadas ya sea a los múltiples microorganismos existentes en el ambiente, así como también, a la temperatura, humedad, entre otros múltiples factores que no favorecen a su conservación. Según Marrero (2019), el metabolismo respiratorio postcosecha del arándano es uno de los factores causantes del deterioro de la calidad de este fruto y, por lo tanto, la reducción de la vida útil. También se ha visto que las pérdidas postcosecha a nivel nacional se encuentran entre los 25% incluso a 50 % y en el ámbito internacional como en Chile que es uno de los países productores de arándano más grandes de Sudamérica, la pérdida postcosecha supera los 20% (Alcalde, 2018), lo cual se ha dado debido al mal manejo de tecnologías durante el proceso de la cadena productiva ya sea en la cosecha, empaque, embalaje inadecuados y vías de transporte incorrectos (transportes largos de campo a packing) a temperaturas muy altas donde la tasa de respiración incrementa (a mayor temperatura mayor pérdida agua o deshidratación) entre otros, lo que se traduce en un corto período de almacenamiento (Almeida, 2011). Además, el arándano siendo un fruto climatérico es muy susceptible a la sobremadurez y a los ataques de enfermedades como la pudrición causada por hongos y daños fisiológicos como la deshidratación, siendo los problemas más grandes causantes de grandes pérdidas comerciales, sobre todo las pudriciones los que no se aceptan en los mercados destino (tolerancia cercana a 0%) (Blueberries, 2017). A partir de estos problemas nace el interés de utilizar recubrimientos comestibles desarrollados de materiales naturales y biodegradables, pues esta tecnología es respetuosa con el medio ambiente. El recubrimiento en combinación con materiales de embalaje adecuados puede actuar como barrera protectora, semipermeable a los gases y al vapor de agua e incluso pueden contrarrestar el crecimiento microbiano (Dutta et al., 2009). Los recubrimientos comestibles actúan como barrera para reducir los índices del metabolismo respiratorio de la fruta (respiración y transpiración) y actúa como antimicrobiano de esa manera incrementa la calidad de la fruta (Reyes et al., 2016). Los materiales más utilizados para la elaboración de recubrimientos comestibles son las proteínas y los



polisacáridos, por ejemplo, el quitosano que es un amino-polisacárido natural que cobra mucho interés debido a su biodegradabilidad, biocompatibilidad y baja toxicidad (Fernández et al., 2017). El quitosano tiene una actividad eficiente como antimicrobiano reduciendo la proliferación de distintos microorganismos patógenos incluyendo hongos, así como bacterias Gram-positivas y Gram-negativas (Cruañes y Locaso, 2011). En el estudio realizado por Cruañes y Locaso (2011), el quitosano resultó ser un efectivo antimicrobiano y evitó la pudrición de los frutos, con ventajas adicionales de no causar efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Por ello se debe buscar una combinación adecuada entre el quitosano y otros materiales naturales biodegradable que puedan ser consumidos. De allí nace la alternativa de formular un recubrimiento comestible a partir de la combinación del quitosano con mucílago que es extraído de la penca de la tuna de la región Apurímac, con lo cual se buscó controlar el crecimiento microbiológico y retardar el metabolismo respiratorio de la fruta sin alterar sus características fisicoquímicas (Kester y Fennema, 1986). Además, con esto se buscó la ventaja de industrializar los componentes de la tuna de la región Apurímac. Este tema surgió a partir del estudio de diversos casos encontrados en la bibliografía sobre recubrimientos comestibles con otros tipos de alimentos, y su perfecta funcionalidad en la preservación de arándanos.

## 1.2 Enunciado del problema

### 1.2.1 Problema general

¿Cuál será el efecto del recubrimiento comestible desarrollado a base de mucílago extraído de penca de tuna de la región Apurímac con quitosano en la conservación de arándanos?

### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la mejor formulación de recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano y su efecto en la conservación de la vida útil del arándano (*Vaccinium corymbosum*)?
- ¿Cuáles serán las propiedades fisicoquímicas tales como espesor, densidad, opacidad, contenido de humedad, solubilidad en agua, capacidad de retención de agua y permeabilidad al vapor de agua del recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano?



- ¿Cuál es el efecto de la aplicación del recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano en la evolución de pudrición en arándano y el efecto en las características fisicoquímicas tales como pH, acidez, sólidos solubles (°Brix) y control de la pérdida de peso (deshidratación)?

### 1.2.3. Justificación de la investigación

Aunque el arándano es una de las especies introducidas más recientemente en el cultivo de frutas del mundo, la producción y el consumo de arándano ha aumentado considerablemente en los últimos años, ya sea por tradición de consumo en América del Norte o en Europa y los mercados de Asia, tienen perspectivas para los próximos 10 años se triplique su demanda. Debido a los beneficios para la salud y sus atractivas propiedades sensoriales que ofrece el arándano, la demanda de arándanos ha incrementado en todas las regiones del mundo. Esto ha provocado un aumento de las exportaciones del producto a diferentes continentes con diferentes necesidades ya que la mayoría de las personas quieren llevar una alimentación sana y natural por lo cual la importancia de alargar la vida útil de este producto (Gamarra, 2016).

A lo largo de los años se han desarrollado diferentes tecnologías para prolongar la vida útil postcosecha del arándano y por ende conservar la calidad nutricional, entre estas tecnologías se encuentran el método de almacenamiento en frío (baja temperatura y alta humedad relativa), el uso de la irradiación UV, envasado en atmósfera modificada, ozonización y gasificación con dióxido de azufre; sin embargo presentan costos ambientales (efectos negativos en el medio ambiente) y efectos adversos sobre la salud (Velickova et al., 2013).

Por ello en el presente trabajo, se plantea una alternativa de conservación de interés con la aplicación de recubrimientos comestibles a partir de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano, materiales naturales y biodegradables que son respetuosos al medio ambiente y no produce efectos adversos en la salud humana.

Si bien es cierto en los últimos años se ha utilizado la fumigación con anhídrido sulfuroso como agente fungicida contra los hongos que causan pudrición en arándanos, pero tal como se mencionó presenta efectos negativos en el ambiente



por ello se utilizó el quitosano que tiene la misma capacidad fungicida y además tiene la capacidad de modificar la atmósfera interna del fruto. Cabe resaltar que en los estudios realizados por Cruañes y Locaso (2011), el quitosano que utilizó para desarrollar el recubrimiento comestible resultó ser muy efectivo contra microorganismos incluso el hongo ya que evitó la presencia de pudrición; sin embargo alteró la cera o bloom natural del fruto, dando como consecuencia la no mejora de su textura o firmeza debido a la deshidratación por eso es importante buscar una buena combinación entre el quitosano y otro material biodegradable, a partir de ello nace la alternativa de formular un recubrimiento alimenticio a partir de la combinación del quitosano con mucílago que es extraído de la penca de la tuna de la región Apurímac, con lo cual se buscó además de controlar el crecimiento microbiológico, retardar la respiración y transpiración a través de la superficie de las frutas (Kester y Fennema, 1986). Además, en Apurímac, la penca de tuna requiere industrialización, es por ello el presente trabajo presenta una buena alternativa que permita industrializar la penca de tuna desarrollando recubrimientos comestibles para conservar uno de los productos más exportados en el mundo, el arándano y así potenciar la agroindustria en nuestra región.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la Investigación

##### 2.2.1 Objetivo General

Extender la vida útil en postcosecha de arándano, desarrollando recubrimientos comestibles a base de mucílago extraído de penca de tuna de la región Apurímac con quitosano.

##### 2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la mejor formulación de recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano y su efecto en la prolongación de la vida útil del arándano. (*Vaccinium corymbosum*).
- Determinar las propiedades fisicoquímicas tales como espesor, densidad, opacidad, contenido de humedad, solubilidad en agua, capacidad de retención de agua y permeabilidad al vapor de agua del recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano.
- Evaluar la evolución de pudrición en arándanos y determinar las características fisicoquímicas del arándano en base a parámetros como pH, acidez, sólidos solubles y control de la pérdida de peso luego de la aplicación de la cubierta.

## 2.2 Hipótesis de la investigación

### 2.2.3 Hipótesis general

El desarrollo de recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna de la región Apurímac con quitosano, tiene efectos que conservan la vida útil el arándano.

### 2.2.4 Hipótesis específicas

- La mejor formulación de recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano es determinada a partir de diferentes concentraciones formuladas y su aplicación prolonga la vida útil del arándano (*Vaccinium corymbosum*).
- Las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible obtenido a partir de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano tales como el espesor aumentan, a medida que se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de él, en cuanto su solubilidad en agua se da a través del movimiento del vapor de agua en los polímeros controla la transferencia de humedad capacidad de retención de agua.
- La aplicación del recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano actúa como fungicida contra los hongos disminuyendo la pudrición causada por este, además de mantener las características fisicoquímicas como pH, acidez, sólidos solubles, y evitando la pérdida de peso excesiva durante el almacenamiento.

## 2.3 Operacionalización de variables

### 2.3.1 Variable Independiente

Formulación del recubrimiento comestible con diferentes proporciones de quitosano, mucílago de penca de tuna y glicerol (como recubrimiento comestible preservante del arándano).

### 2.3.2 Variables dependientes o respuesta

- Características fisicoquímicas del recubrimiento comestible obtenido.
- Efectos de la aplicación del recubrimiento comestible sobre la pudrición causada por hongos, las características fisicoquímicas del arándano y sobre pérdida de peso durante el almacenamiento.

Tabla 1 – Operacionalización de variables

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores
Formulación del recubrimiento comestibles con diferentes proporciones de quitosano, mucílago extraído de penca de tuna y glicerol (8 formulaciones).	Proporción de: -Qitosano	ml
	- Mucilago de penca de tuna	ml
	-Glicerol	%
Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores
Características fisicoquímicas del recubrimiento comestible obtenido.	-Espesor	mm
	-Densidad	g/cm <sup>3</sup>
	-Opacidad	mm <sup>-1</sup>
	-Contenido de humedad	%
	-Solubilidad en agua	%
	-Capacidad de retención de agua	%
	-Permeabilidad al vapor de agua	g/s.m.pa
Efectos de la aplicación del recubrimiento comestible sobre la pudrición causada por hongos, las características fisicoquímicas del arándano y sobre la pérdida de peso.	-Porcentaje de pudrición	%
	-pH	De 0 a 14
	-Acidez	g de ácido cítrico/100g
	-Sólidos solubles	°Brix
	-Control de pérdida de peso	g

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

- a) Abanto (2018) desarrolló una investigación titulada “Aplicación de recubrimientos comestibles a base de quitosano y cera de abeja, para determinar el mejor efecto en la conservación de la vida útil del arándano (*Vaccinium Corymbosum*)”, en donde utilizó la técnica de inmersión para la aplicación del recubrimiento comestible. Formuló 4 tratamientos de cera de abeja a las que denominó: C1, C2, C3 y C4 y 4 tratamientos de quitosano: Q1, Q2, Q3 y Q4, donde C4 y Q4 fueron los tratamientos testigo, las proporciones fueron con 1%, 3% y 5% de cada material correspondiente en 100 ml de agua destilada y adicionando 1 ml de ácido glicérico, para la formación de la película comestible. Sometió a los frutos con tratamientos, a temperatura de refrigeración (6°C) y a temperatura ambiente (18°C - 21°C) y evaluó durante 15 días de manera inter diaria las características fisicoquímicas (°Brix, pH, acidez y textura) del arándano, del cual obtuvo como resultado valor significativo en los tratamientos con quitosano en comparación a los tratamientos con cera de abeja que no tuvieron significancia, en la evaluación sensorial obtuvo una mayor aceptabilidad en la muestra “Q2” correspondiente al indicador de: “Me gusta mucho” con una concentración de quitosano del 3%, el tiempo de vida útil de los frutos fue de 13 días en almacenamiento refrigerado y 9 días a temperatura ambiente.
- b) Gonzales y Quispe (2019) realizaron un trabajo de investigación "Efecto del recubrimiento comestible a base de pectina y quitosano en la vida útil de arándanos (*Vaccinium corymbosum*)”. Tuvo como objetivo evaluar el efecto del recubrimiento comestible a base de pectina y quitosano en la vida útil de arándanos. Primero realizaron la caracterización fisicoquímica, polifenoles totales y capacidad antioxidante de la materia prima, el diseño experimental utilizado fue con un diseño compuesto central rotatable (DCCR) con dos variables, las cuales fueron la concentración de pectina (0.002 – 0.397%p/v) y la concentración de quitosano (0.002 – 0.397%p/v), obteniendo tratamientos de recubrimiento comestible. Estos tratamientos fueron elaborados y utilizados para revestir muestras de arándanos, las operaciones para el revestimiento fueron: recepción de materia prima, selección y clasificación, lavado y desinfección, oreado, inmersión en el recubrimiento comestible, secado, envasado, pesado y almacenado a 4°C durante 22 días, además se tuvo un tratamiento control almacenado a las mismas condiciones. Durante el almacenamiento realizaron análisis fisicoquímicos, además las muestras fueron analizadas sensorialmente.



determinaron la formulación óptima de recubrimiento comestible, la cual tuvo 0.363% p/v de quitosano y 0.012% p/v de pectina, elaboraron dicha formulación y aplicaron en arándanos para su comparación con las muestras de arándano control, ambas muestras se volvieron a almacenar a 4°C. Durante el tiempo de almacenamiento se evaluó las características fisicoquímicas, contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante y análisis sensorial (con un panel de 35 personas). La determinación de vida útil se basó en la aceptabilidad general, concluyendo de los resultados de los 11 tratamientos realizados, el mejor fue el que tuvo una concentración de 0.06% p/v de pectina y 0.34% p/v de quitosano, el cual conservó mejor las características fisicoquímicas de los arándanos durante 22 días de almacenamiento.

- c) Ginez y Godoy (2018) realizaron un estudio titulado "Formulación de un recubrimiento comestible preservante de arándano empleando mucílago extraído de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)". Las investigaciones realizaron a partir del mucílago en polvo que presentó características químicas, lo cual favorece a la formulación del recubrimiento comestible para el arándano, definiendo que este recubrimiento tiene una característica delgada y que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión. Primero realizaron la extracción del mucílago de la penca de tuna por el método de escaldado, para luego determinar mediante análisis químico y proximal sus características como son el contenido de elementos químicos, porcentaje de cenizas, proteínas, fibra, carbohidratos, grasas y humedad. Después de realizar la caracterización del mucílago obtuvieron los siguientes datos como el contenido de carbohidratos 69,40 %, fibra 7,44%, grasas 0,23 %, proteínas 3,18 %, cenizas 11,46 % y humedad 8,29%; luego realizaron siete pruebas experimentales en la cual se utilizó el mucílago en polvo, el aceite de sacha Inchi, glicerol, polietilenglicol y agua destilada en donde se determinó en cada formulación la tasa de respiración, cantidad de sólidos solubles, pérdida de peso y aparición de hongos. Finalmente determinaron que la formulación del recubrimiento comestible compuesta por la solución de mucílago (1%), glicerol (3%) y aceite de sacha inchi (1%) lograron un óptimo efecto en la preservación del arándano.
- d) Ayquipa (2018) realizó el estudio de Caracterización de películas comestibles obtenidas a partir de mucílago de cáscara de tuna (*opuntia sp*) y almidón de cascara de papa (*solanum tuberosum*), en donde realizó la caracterización física de las películas comestibles formuladas donde los valores de espesor resultaron de 0.17 a 0.28 mm, con respecto a los resultados de densidad oscilaron entre 1.03 a 1.70 g/cm<sup>3</sup>, en opacidad se hallaron resultados



de 0.63 a 1.01 mm<sup>-1</sup>, además determinó que estas dos características fueron influenciadas por espesor ya que los que tuvieron mayor espesor resultaron ser más densos y opacos, con respecto al porcentaje de humedad oscila entre 10.28 a 25.13 % , solubilidad en agua de 49.97 a 62.58%, capacidad de retención de agua de 15.31 a 38.47% y finalmente los resultados de permeabilidad al vapor de agua tuvieron, valores de 1.39 a 7.20 x 10<sup>-18</sup>g/m<sup>2</sup>.min.pa. A partir de los resultados que obtiene determinó que los resultados de las propiedades físicas de las películas comestibles fueron influenciados por la composición de las formulaciones y por la homogenización de estas.

### 3.2 Marco teórico

#### 3.2.1 Arándano (*Vaccinium corymbosum*)

Los arándanos son frutas con propiedades atractivas y nutritivas porque representan una fuente importante de antioxidante y vitaminas. Los arándanos brindan grandes beneficios para la salud razón por lo que su demanda en el mercado internacional ha incrementado, convirtiéndolo en un producto atractivo para la industria (Scheihing, 2005; ADEX, 2013).

El fruto de arándano es muy perecedero por su alta frecuencia respiratoria (Godoy, 2004). Pertenece al tipo de frutos climatéricos produce etileno durante la cosecha y se descompone fácilmente, por lo que la vida útil después de cosecha es muy corta (Hancock, 2002).

##### 3.2.1.1 Descripción taxonómica

Tabla 2 – Clasificación taxonómica del arándano

Clasificación taxonómica	
Reino	Plantae
División	Magnolophytas
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Dicotiledonea
Subclase	Dilleniidea
Orden	Ericales
Familia	Ericaceas
Subfamilia	Vaccinioideae
Tribu	Vaccinieae
Subgénero	Cyanococcus
Género	Vaccinium
Especie	<i>Vaccinium corymbosum</i>

Extraído de Retamales y Hancock (2012)

##### 3.2.1.2 Tipos de arándano

- a) **Arándano azul (*Vaccinium corymbosum*):** Suelen crecer en el noreste de Estados Unidos, se caracteriza por tener hojas caducas y de color rojo, intenso cuando llega el otoño es un arbusto vertical de 1.8 m. de altura, con flores de roca e inflorescencia rosada en el fondo, palo pálido, se



distingue por su fruto negro-azul, bastante grande y delicioso, y es la especie más cultivada (Romero, 2016).

- b) **Arándano negro/Arándano Uliginoso (*Vaccinium uliginosum*):** Se encuentran en el hemisferio norte. Muy amplio en la costa y las regiones frías de Europa, América y Asia hasta más de 3000 m.s.n.m. del sur de estas regiones. Tiene frutos negros con pulpa blanca y sus flores son rosa pálido. No se suele cultivar, crece en suelos ácidos, aunque se recogen los frutos en forma silvestre (Romero, 2016).
- c) **Arándano Rojo (*Vaccinium vitis-idaea*):** Se cosecha de plantas silvestres. Crece en el norte de Europa, América y Asia. Aparecen formando bulto debajo de árboles de 10 a 30 cm de altura, presenta flores de tonos rosados, estambres incluidos dentro de la corola, sus frutos son redondeados y rojizos que aparecen en los finales de otoño, tiene una característica de sabor ácido y su uso está destinado mayormente a la elaboración de compotas y mermeladas (Romero, 2016).

### 3.2.1.3 Descripción botánica

**Raíces:** Las raíces del arándano se caracteriza por tener un aspecto fibroso y se extiende superficialmente lo que hace que se muy dependiente a la provisión de humedad, contar con la capa superficial de suelo suelto y buen aireado para así desarrollarse mejor (Gordó, 2008).

**Tallo:** Se originan desde la base de la planta., tienen características de color anaranjado, aunque depende la variedad y consigo llevan yemas vegetativas y florales, el grosor de los tallos depende de la edad de las plantas y en que parte de la planta se ubican (Gordó, 2008).

**Hojas:** Las hojas presentan peciolos cortos, en su mayoría las especies domésticas poseen hojas caedizas y algunas variedades como ojo de conejo y alto, tienen una coloración de hojas rojizas (Gordó, 2008).

**Flores:** Tienen corolas blancas o rosadas. Se encuentran en racimos axilares, además las flores difieren de yemas terminales de las ramas al inicio de otoño cuando se detiene el crecimiento vegetativo (Gordó, 2008).



**Fruto:** El fruto tiene generalmente es esférico, que puede variar de tamaño de 0.7 a 1.5 cm de diámetro dependiendo de la especie o variedad, su color característico es azul claro hasta negro. La epidermis del fruto está cubierta de cera denominada también pruina que tiene mucha importancia a la hora de comercializar. Posee un sabor característico incomparable de dulce y ligeramente ácido a la vez (Gordó, 2008).

### 3.2.1.4 Composición química

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2010), menciona que el arándano (*Vaccinum myrtillus L.*) por cada 100 g de fruto aporta 60 kcal, y contiene 2.4 g de fibra dietética, 0.74 g de proteína, 9.96 g de azúcares, 9.7 mg de vitamina C, 0.33 g de grasas y otros valores importantes que se pueden observar en el cuadro 03:

**Tabla 3 – Composición Química del arándano /100g**

Composición	Valor
Energía	60.00 kcal
Proteína	0.74 g
Lípidos	0.33 g
Carbohidratos	14.49 g
Azúcares	9.96 g
Fibra dietética	2.40 g
Cenizas	0.21 g
Agua	84.61 mg
Calcio	6.00mg
Magnesio	5.00mg
Fosforo	10.00 mg
Potasio	79.00mg
Sodio	6.00mg
Zinc	0.11 mg
Vitamina c	9.70mg
Tiamina	0.05 mg
Riboflavina	0.50 mg
Niacina	0.36 mg
Vitamina B6	0.40mg
Vitamina E	1.00mg

Extraído de Base de datos de nutrientes de USDA (2010)

### 3.2.1.5 Parámetros fisicoquímicos del fruto del arándano

Los arándanos, tienen un comportamiento respiratorio climatérico, que se caracteriza por un aumento de la respiración y el contenido de etileno durante el proceso de maduración. A diferencia de otras frutas climatéricas, los arándanos deben cosecharse cerca del periodo madurez, porque los arándanos no pueden mejorar sus propiedades sensoriales (sabor) después de la cosecha cabe señalar que existen algunos factores que inciden en la frecuencia respiratoria, como el tipo y la temperatura a la que son expuestas. Además, cuanto más pequeño es el arándano, más fácil es deshidratarse, debido a la relación entre de la superficie y su volumen (Defilippi et al., 2017).

Defilippi et al. (2017) señalan, que la ventaja del tamaño reducido de las bayas del arándano es que requiere menos tiempo para enfriar; por otro lado, la fruta tiene una piel fina y es sensible a los daños mecánicos y a la pérdida de humedad después de la cosecha. Sin embargo, esta baya tiene cera en la epidermis, y se debe de intentar mantener esta cera durante el procesamiento para reducir la deshidratación de la fruta.

- **Peso y diámetro:** El peso del arándano en fresco varía de 0.8 a 2.80 g y el diámetro oscila entre 1 y 3.2 cm; sin embargo, puede variar de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas donde se encuentre el cultivo (Feippe, et al., 2012).
- **Color:** Los arándanos son verdes en las primeras etapas de su desarrollo. Con el desarrollo de la madurez fisiológica y el resultado del proceso bioquímico naturales, se reflejan las principales características sensoriales, haciéndola apta para el consumo. Uno de ellos es la síntesis de pigmentos de antocianina, a través del cual el color de la piel cambia de verde rosado al rojo burdeos y finalmente al azul (Feippe et al., 2012).
- **Sólidos solubles totales (SST):** El porcentaje de sólidos solubles (SS) en los arándanos están compuestos de 65% a 80% de azúcar para este indicador, representa el dulzor de la fruta y en muchas especies también representa el dulzor de la fruta. En cuanto a la exportación de arándanos, al menos un índice aceptable mínimo es de 10 °Brix; en cambio en las



transacciones comerciales, este valor se utiliza como estándar de exportación necesario o al ingresar al mercado destino (Feippe et al., 2012).

- **Acidez titulable (AT):** El ácido cítrico es el principal ácido orgánico presente en el jugo de arándano, su concentración disminuye significativamente a medida que la fruta madura, lo que se diferencia de otros ácidos (como el ácido málico) que mantiene un nivel constante. Desde un punto de vista sensorial, en comparación con el ácido málico y el ácido tartárico, la detección del ácido cítrico durante la degustación es muy rápida de identificar (Hobson, 1993).

En la actualidad, los arándanos para consumo deben seleccionarse para que tengan una acidez y sólidos solubles equilibrados, así como un aroma y sabor agradable. Para los arándanos, el valor de acidez titulable varía de 0.40 a 1.31 g de ácido cítrico/100g de arándano (Sapers et al., 2004).

- **pH:** El arándano es considerado de buena calidad cuando su pH oscila entre 2.5 a 4.25. Además, en el almacenamiento una buena calidad del arándano está relacionado a un pH inferior de 3.5 (Beaudry, 1992).
- **Textura:** A medida que se desarrolla el grado de pigmentación de los frutos en las plantas, aumenta el grado de ablandamiento de la pulpa. La textura es un parámetro importante que lo correlaciona con las diferentes intensidades del tono de piel. Se recomienda comprender la curva de maduración de cada finca y variedad para comprender el proceso de ablandamiento de la fruta durante la cosecha. Esto se debe al hecho de que una vez que toda la fruta cambia al color azul, no se puede ver la diferencia de tono, pero la fruta seguirá reduciendo su textura. Comprender la dureza y suavidad de la fruta y tomar decisiones en función al mercado destino (Feippe et al., 2012).
- **Relación sólidos solubles/acidez titulable o índice de madurez:** Un indicador de la madurez el índice de madurez (relación de sólidos solubles y acidez titulable), que indica la baja relación de sólidos solubles y acidez titulable se relacionan a una buena calidad después de la cosecha, por lo que es un simple indicador de la calidad de la fruta, por el contrario, un

índice alto se relaciona con una mayor incidencia de hongos causantes de pudrición durante el almacenamiento. El ácido presente en los frutos de arándano es un mecanismo de resistencia a patógenos, por lo que variedades con altos niveles de acidez muestran más resistencia a patógenos. Además, la relación entre sólidos solubles y acidez titulable es útil si se cree que el sabor de la fruta no está determinado por la cantidad de azúcar y ácido presente, si no por la relación entre ellos. Aquellos con alto contenido de azúcar son agradables (Feippe et al., 2012).

### 3.2.1.6 Parámetros funcionales del fruto arándano

- **Capacidad antioxidante:** Cuando la fruta se cosecha al principio de la temporada, la capacidad antioxidante aumentará y se reducirá en la cosecha posterior y en condiciones normales de luz. Parte de la capacidad antioxidante de la mayoría de las frutas (incluidos los arándanos) pueden ser los flavonoides. El aumento del pH cambiara la estructura básica de las antocianinas, cambiando así el color de la fruta (Kushman y Ballinger, 2008).
- **Fenoles totales:** Moyer et al. (2002), Observaron que el contenido de fenoles en los arándanos varía entre 171 a 868 mg equivalentes de ácido gálico / 100g de fruta fresca. Entre los compuestos fenólicos de los arándanos se destacan ácidos fenólicos y antocianinas debido a su fuerte capacidad antioxidante. (Sellapan et al., 2002).
- **Antocianinas:** En el caso de arándanos, las antocianinas se encuentran en la piel y la pulpa de los arándanos y hacen que la fruta tenga un aspecto de azul oscuro. El contenido de antocianinas y fenoles en la piel de los frutos de arándano es mayor, 4 veces mayor que el de la pulpa de la fruta (Mainland y Tucker, 2002).

### 3.2.1.7 Producción del arándano

#### a) Producción Mundial de arándano

Entre los principales países productores de arándano se destacan Estados Unidos y Canadá, que representaron 56.9% y el 25.9% de la producción total en 2013, respectivamente. En cuanto a los países de Europa, su

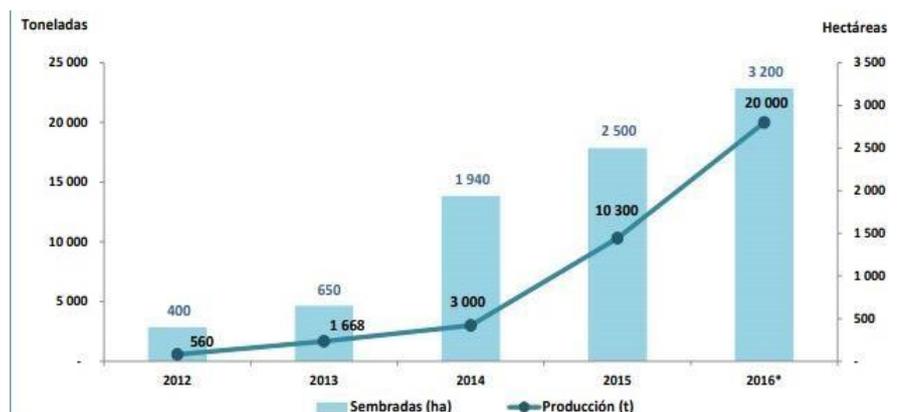


producción combinada solo representa el 12.4% de la producción total. México es otro país donde la producción ha aumentado con 10100 toneladas en 2013 (tasa de participación 2.4%), ocupando el cuarto lugar. En cuanto a Perú, si se considera separado a los estados miembros de la Unión Europea, ocupa el puesto 14 en 2013, mientras que la Unión Europea ocupa el séptimo lugar (Romero, 2016).

#### **b) Producción de arándanos en el Perú**

En cuanto a la producción nacional en diversas regiones, cabe señalar que la mayor parte se concentra en la región La Libertad, representando alrededor del 90% de la producción total y la producción exportadora del País, seguida de Ancash, Arequipa, Cajamarca, Ica, Lima y Lambayeque. La evolución de la producción nacional entre 2012 y 2016 se estima en una tasa de crecimiento anual promedio de 144.5 %. En este sentido, la producción nacional en 2012 fue de 560 toneladas; sin embargo, el incremento más significativo ocurrió en 2015, alcanzando las 10300 toneladas, lo que es un reflejo de la mayor superficie de siembra puesta en producción, un incremento de 23% respecto al 2014.

Para el año 2016 Sierra exportadora estima 20000 toneladas, lo que representaría el 94% más que en el año 2015, en ese sentido, se proyectó que en el 2017 aumentaría a 680 000 tonelada y por lo tanto en el año 2019 ascendería hasta 770 000 toneladas (Romero, 2016).



**Figura 1 — Perú, Producción de Arándanos y Áreas Sembrada**  
Extraído de Romero (2016).

### 3.2.1.8 Aplicación de tecnologías postcosecha

Las principales causas de deterioro de la vida útil del arándano son; pudriciones, deshidratación, ablandamiento, pérdida de apariencia, desarrollo de desórdenes y calidad sensorial para ello se ha desarrollado una serie de tecnologías para contrarrestar estas causas de deterioro a continuación se menciona algunas tecnologías más utilizadas:

- **Método de enfriamiento**

Existe una relación directa entre la temperatura con el metabolismo y la vida útil postcosecha de la fruta. La temperatura durante el proceso de la cosecha del arándano, generalmente se encuentra muy alta, por lo que la tasa de respiración de la fruta también es alta. Se sabe que el proceso de respiración de frutas consiste en el consumo de  $O_2$  y producción de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) para producir energía necesaria y mantener vida; sin embargo, existe el calor de respiración y agua liberados al medio, en general los arándanos son muy susceptibles a la pérdida de agua, lo que afecta negativamente la apariencia ya que se produce deshidratación. Por este motivo la importancia de mantener la temperatura y humedad adecuada para la fruta con el propósito de disminuir la deshidratación, incluso en muchos casos se observa una disminución de acidez ya que los ácidos son usados como sustratos para el proceso de respiración. Luego de la cosecha y llegada a packing, es

necesario utilizar sistemas eficientes para lograr una rápida extracción del calor de campo previo al almacenamiento y llegara a una temperatura de 0 y 1 °C, la cual es la temperatura adecuada para el almacenamiento y transporte. Con aire forzado es posible reducir de manera rápida a 0 – 1 °C en menos de 1 hora. Otro factor importante son las perforaciones del material de embalaje, así como la orientación para favorecer el flujo de aire frío. Una vez enfriado y alcanzado a la temperatura optima, es importante mantener la cadena de frío para evitar el alza de temperatura, evitar quiebre térmico, el almacenamiento a una temperatura baja debe estar acompañada con una alta humedad relativa (95% a 0 °C), condición que evita la deshidratación o la pérdida de agua, con un buen manejo de temperatura y humedad relativa entre 90 a 95%, los arándanos tienen una duración mínima de 14 días (Undurraga y Vargas, 2013).

- **Uso de atmósfera controlada y modificada**

La atmósfera modificada (AM) y la atmósfera controlada (AC) más comúnmente utilizadas se basan en cambios en la composición del gas (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), durante el almacenamiento y/o transporte, el principal impacto en la fisiología del fruto es la reducción de la actividad metabólica y el control de hongos. El principal beneficio de esta tecnología es la reducción de la deshidratación. El nivel de gas obtenido mediante el uso de AM depende de las características del fruto (frecuencia respiratoria, temperatura), de las características de la membrana (principalmente permeabilidad) y del entorno (temperatura). Por el contrario, en AC, el nivel de gas utilizado se mantiene y/o ajusta automáticamente durante todo el proceso de almacenamiento de fruta, lo que hace que no se vea afectado por los factores mencionados por AM. Las concentraciones que han mostrado ventaja en la conservación de arándanos son 2-5% de O<sub>2</sub> y 10 a 15% de CO<sub>2</sub> a 0 °C. El efecto de alta eficiencia se logra básicamente mediante el control de patógenos como *Botrytis*, y se ha demostrado que la concentración de más del 10% puede controlar eficazmente el patógeno. Uno de los factores que determina que concentración utilizar para obtener el mayor beneficio es la sensibilidad de una determinada variedad a nivel bajo de O<sub>2</sub> y altos niveles de CO<sub>2</sub>.

Nivel bajo de O<sub>2</sub> (<2%) o altos niveles de CO<sub>2</sub> (25%) desarrollaran procesos metabólicos, lo que conducirá a la formación de sabores o aromas extraños, pardeamiento o decoloración y una mayor incidencia de pudrición en la fruta y rechazo el momento de la venta (Undurraga y Vargas, 2013).

- **Recomendaciones en el uso de anhídrido sulfuroso en arándanos**

El dióxido de azufre es un gas incoloro, irritante y corrosivo, procede de la combustión del azufre y se utiliza en la conservación de la uva para el control de la pudrición causada por hongos desde hace más de 80 años. Esto está relacionado con la capacidad del dióxido de azufre para eliminar los conidios de hongos presentes en la superficie del fruto mediante vaporización a una concentración y tiempo de exposición conocidos. Por lo general, la aplicación se realiza inmediatamente después de la cosecha de los frutos a granel en condiciones de temperatura ambiente (20 – 25 °C) y la duración es de 20 a 30 minutos. En estas condiciones, Rivera, et al., (2013), estudiaron la efectividad del tiempo y concentración adecuada para el control de la pudrición después de la cosecha, y establecieron un valor de 200 – 300 ppm / h para asegurar más del 90 % de efectividad en el control. Al igual que en la uva esta técnica se ha adaptado en la conservación del arándano y evitar la aparición de la pudrición causada por hongos para que este proceso sea exitoso es necesario tener cámaras herméticas equipadas con sistemas de inyección y evacuación de SO<sub>2</sub> (González, 2017).

### 3.2.1.9 Transporte de gases

#### 1) Tasa de respiración

Los arándanos presentan un comportamiento respiratorio climatérico, que se caracteriza por el incremento de la tasa de respiración y el aumento en la producción de etileno como parte del proceso de maduración. Además, al igual que con otros productos frescos, la frecuencia respiratoria también se ve afectada por la temperatura. Debido al tamaño pequeño de la fruta (lo que se traduce en una relación superficie / volumen alto). Los arándanos tienen más probabilidades de perder agua (deshidratación) que

la fruta más grande (como las manzanas). Algunas ventajas de esta característica morfológica puede ser el menor tiempo requerido para el proceso de enfriamiento (USDA, 2010).

**Tabla 4 — Respiración del fruto de arándano a diferente temperatura.**

Temperatura (°C)	Respiración (mlCO <sub>2</sub> ) /kg por h)
0	3
10	9
20	34

Extraído de USDA (2002).

### 3.1.1.10 Fisiología de la maduración y deterioro del arándano

Godoy (2002), menciona que cuando los frutos alcanzan la madurez fisiológica comienzan a sufrir cambios en el color, dureza y sabores asociados con la madurez sensorial que finalmente los hacen más atractivos para el consumo. Los arándanos son frutos climatéricos, es decir cuando se recolectan desde la madurez fisiológica, pueden obtener características similares a las que se alcanzaron en el arbusto; pero una vez que alcanzan el estado de máxima calidad, dará lugar a una pérdida excesiva de la firmeza del fruto; por lo tanto, la sobremaduración debe ser evitado. La pérdida de sabor, color y la tasa de disminución de calidad después de la cosecha esta básicamente relacionada con la temperatura por lo que un manejo adecuado de la misma desde el inicio de la cosecha ayudara en gran medida a mantener la calidad del fruto a 4 y 5 °C (USDA, 2002).

### 3.2.1.11 Usos y beneficios

ASPA Perú (2003), menciona que el arándano crece de forma silvestre en distintas regiones de Norteamérica y Europa desde hace siglos y los europeos, canadienses y estadounidenses incorporan a su dieta consumiendo como fruta fresca, deshidratada y congelada, en comidas dulces o saladas. Además, tiene muchas aplicaciones industriales como en la industria farmacéutica, colorantes, pastelería, jugos concentrados, purés, mermeladas, salsas, helados, yogures, golosinas, conservas, etc. (Guevara, 2014).

### 3.2.2 Patógenos que causan pudrición en los arándanos

La pudrición de los arándanos cosechados es provocada por hongos, muchos de ellos tienen la capacidad de penetrar el fruto en estado de crecimiento y mantenerse hasta su estado de maduración y otros penetran los frutos ya maduros a través de heridas que son causadas durante la cosecha (INIA, 2014). A continuación, mencionamos estos hongos que causan pudrición en los frutos del arándano:

- **Pudrición gris por *Botrytis cinérea***

La pudrición gris causada por *Botrytis cinérea* se observa perfectamente en flores y frutos. La infección de la fruta puede ocurrir antes de que madure y se manifiesta cuando la fruta madura o llega a su destino, especialmente cuando existen condiciones favorables de desarrollo después de la cosecha como la rotura de la cadena de frío. Es la manifestación más sintomática en frutos maduros y se caracteriza por el ablandamiento de los frutos, el fruto se vuelve más opaco y no libera jugo, al inicio se manifiesta como un micelio blanquecino en los frutos para luego volverse de color plomizo o gris debido a la proliferación de conidióforos y conidios (Defilippi et al., 2017).

- **Pudrición por alternaría (*Alternaria spp*)**

Se manifiesta como un micelio blanco sobre las heridas, que luego de 3 días cubre el fruto en su totalidad o parcial (INIA, 2014).

- **Pudrición por Antracnosis (*Collectotrichum spp*)**

Al inicio se manifiesta el ablandamiento del fruto luego se va cubriendo de gotas transparentes, transcurrido las 24 o 48 horas, estas gotas se van transformando en una masa pegajosa con conidios de color rosa salmón (INIA, 2014).

- **Pudrición por *Asperigillus (Asperigillus spp)***

Estos hongos tienen la capacidad de crecer a temperaturas bajas de 0 - 5 °C y a 50 – 55 °C.

Se manifiesta en los frutos en forma de tinte rosado lo cual se va transformando en cabezuelas negras, verdes, amarillo y marrón (INIA, 2014).

- **Pudrición por *Geotrichum* (*Geotrichum sp*)**  
Se caracteriza por ser un hongo cosmopolita que afecta a los frutos maduros produciendo micelios blancos compactos y se desprenden desde la hifa terminal (INIA, 2014).
- **Pudrición por *Penicillium* (*Penicillium spp*)**  
Este hongo coloniza heridas, con un aspecto de estructuras reproductivas de color verde (INIA, 2014).
- **Pudrición por *Rhizopus* (*Rhizopus stolonifer*)**  
Se manifiesta con el ablandamiento del fruto, el cual es colonizado de forma rápida con esporangióforos largos y negros sin ramificar que se desprenden desde el nudo de rizoides (INIA, 2014).

### 3.2.2.1 El control de Hongos causantes de pudrición en postcosecha de arándanos permite mejorar las condiciones en destino:

- **El uso de anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>):** Ya sean las condiciones climáticas o la distancia del mercado, esto es de gran importancia. Sin embargo, el uso exitoso de esta tecnología dependerá de varios factores, como la relación concentración – tiempo del dióxido de azufre utilizado, el intervalo de tiempo entre la cosecha y la gasificación, la calidad de la fruta durante el procesamiento y el manejo de la fruta. La cadena de suministro se enfría durante el almacenamiento. Si no se considera estos factores, no es solo una forma de resolver el problema, sino que también puede convertirse en otra razón para el deterioro de la calidad y el estado (Defilippi et al., 2017).
- **La atmósfera modificada (AM):** Mantener un ambiente bajo de O<sub>2</sub> y alto en CO<sub>2</sub> en el empaque. Debido a que los arándanos son extremadamente perecederos, esta tecnología puede ser adecuada para el envasado marítimo y el transporte de arándanos. Sin embargo, su implementación requiere un manejo adecuado de la temperatura (Burberry, 2017). A 0 °C la concentración de elongación postcosecha efectiva es de 2 – 5 % de O<sub>2</sub> y 10 – 15 % de CO<sub>2</sub> cuando la concentración de CO<sub>2</sub> es mayor o igual al 10% se puede lograr el control de patógenos como los hongos. En la actualidad, se está prestando cada vez más atención a la aplicación de películas o revestimientos comestibles hechos

de una variedad de materiales naturales y biodegradables como una tecnología respetuosa con el medio ambiente (Defilippi et al., 2017).

- **Recubrimientos comestibles:** Pueden usarse como una solución alternativa biodegradable para prolongar la vida de las frutas porque pueden crear una barrera protectora, son semipermeables al gas y al vapor de agua y también pueden reducir la reproducción de microorganismos. En las últimas dos décadas, tiene una ventaja en el mercado debido a sus ventajas ambientales sobre los recubrimientos sintéticos. Los recubrimientos comestibles tienen ventajas que incluyen propiedades antimicrobianas, permeabilidad selectiva al aire  $O_2$  y  $CO_2$ , mejor apariencia, buenas propiedades mecánicas y biodegradabilidad. Además, los recubrimientos no son tóxicos, son ecológicos y económicos, y se pueden producir en combinación, de modo que aprovechan las ventajas de cada compuesto que constituye el recubrimiento (Dutta et al., 2009).

### 3.2.3 Recubrimientos Comestibles

**3.2.3.1 Definición:** Se puede definir como sustrato continuo, comestible y transparente delgado, que generalmente se sumerge en una solución formadora de recubrimiento para mantener su calidad, formando así una estructura alrededor del alimento para mantener su calidad. La solución puede estar compuesta por polisacáridos, compuestos proteicos o lipídicos o mezclas de los mismos (Vásconez et al., 2009).

**3.2.3.2 Importancia y funciones de los RC:** Los RC pueden utilizarse como barrera a los gases y al vapor de agua, por ello se aplican en la superficie de los alimentos como los recubrimientos de las frutas y verduras frescas, y su función principal es limitar la pérdida de humedad, el impacto respiratorio de la fruta en el medio ambiente reduciendo la absorción de oxígeno por las frutas, reduciendo así la tasa de actividad respiratoria (Bosquez, 2003).

#### 3.2.3.3 Tipos de recubrimientos comestibles

##### a) Hidrocoloides

Los hidrocoloides forman recubrimientos con propiedades de barrera y con propiedades mecánicas, actúan como barrera a los gases de oxígeno y dióxido de carbono, pero no pueden funcionar bien ante la transmisión



del vapor de agua. Están compuestos por polisacáridos (derivados de celulosa, almidón, quitosano, alginato, carragenina, gelatina, pectina, mucilago) y proteínas de origen animal como (gelatina, caseína y albumina o proteína de suero) y composición proteica vegetal (soja, gluten de maíz) (Muñoz, 2011).

#### **b) Polisacáridos**

Los polisacáridos solubles en agua son cadenas poliméricas largas muy utilizada en la industria alimentaria. Estos compuestos no son tóxicos y están ampliamente distribuidos. Debido a su hidrofiliidad, la película de polisacárido tiene buenas propiedades de barrera a los gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) en determinadas condiciones, pero debido a su hidrofiliidad, su función como barrera para evitar la pérdida de agua es muy pobre (Pastor, 2010). Se ha probado una variedad de polisacáridos y sus derivados para su uso potencial en películas o revestimientos comestibles. Estos incluyen alginatos, pectina, carragenina, gomas (como agar de algas), quitosano, almidón, derivados de celulosa, mucílagos y mezclas (Ruiz y Guerrero, 2009). Entre las posibles ventajas de los recubrimientos a base de polisacáridos, se puede mencionar que sus películas no grasas alta en calorías se pueden utilizar para extender la vida útil de frutas y verduras sin el alto riesgo de desarrollar condiciones anaeróbicas. La agricultura aplicada se ha vuelto popular debido a sus características de cambiar la atmósfera interna de manera similar a una atmósfera controlada (Bósquez, 2003).

#### **c) Proteínas**

Están las proteínas de origen animal y vegetal tales como el colágeno, gelatina, proteínas miofibrilares de pescado, queratina, proteínas de huevo, caseína, proteínas de suero de leche, zeína de maíz, gluten de trigo, proteínas de soja, de palta, y otras que pueden utilizarse para elaborar recubrimientos (Quintero, 2006). Los recubrimientos elaborados a base de proteínas tienen buena barrera frente a gases como  $O_2$  y  $CO_2$ ; pero no frente al agua (Cha y Chinnan, 2004).

#### d) Lípidos

Se ha demostrado que los lípidos por su naturaleza hidrofóbica dan mejores resultados como recubrimiento de frutos, ya que reducen la respiración, deshidratación y mejora la apariencia otorgándole brillo y además brinda barrera al vapor de agua. Los lípidos más utilizados como recubrimientos son ceras de abeja, candelilla y carnauba; los triglicéridos, monoglicéridos acetilados, ácidos grasos, alcoholes y ésteres de ácidos grasos de sacarosa (Pérez y Baez, 2008).

#### 3.2.3.4 Aditivos formadores de RC

Según Guilbert (1996) los aditivos cumplen la función de otorgar propiedades nutricionales, mecánicas y sensoriales a los recubrimientos comestibles, para ello se utiliza aditivos como antioxidantes, colorantes, agentes antimicrobianos, ácidos orgánicos, saborizantes entre otros. Estos aditivos son:

- a) **Plastificantes:** Alcoholes polihídricos, ceras, aceite, ácidos, glicerol.
- b) **Emulsificantes y surfactantes:** Polietilenglicol, grasas y aceites.
- c) **Conservantes químicos:** Ácido ascórbico, ácido benzoico, ácido propiónico y sorbato de potasio.
- a) **Plastificantes:** Son moléculas con bajo peso molecular, baja volatilidad y tiene una naturaleza química parecidos a los polímeros formadores de recubrimientos comestible. Su uso es para mejorar la funcionalidad y flexibilidad de los recubrimientos; los plastificantes deben ser miscibles con el polímero y solubles en el solvente (Morales, 2011). Según Guilbert (1996). Los plastificantes más utilizados en alimentos son:
  - Mono, di y oligosacáridos (glucosa, jarabes y miel).
  - Polioles (sorbitol, glicerol, polietilenglicol y sus derivados).
  - Lípidos y derivados (ácidos grasos, monoacilgliceroles, derivados éster y surfactantes).
  - **Glicerol:** Es conocido también como glicerina o 1,2,3 propanotriol, es un compuesto alcohólico con 3 grupos hidroxilo (OH), lo cual facilita su solubilidad en agua. Tiene característica de líquido viscoso, incoloro, un característico olor, sabor dulce y baja toxicidad. El



glicerol tiene la capacidad higroscópica lo que significa que tiene la capacidad de ceder y absorber humedad del ambiente. Su temperatura de ebullición es de 290 °C, es miscible en agua y etanol, además debido a su naturaleza hidrofílica aumenta la permeabilidad de agua formando puentes de hidrogeno con las moléculas de agua (Ginez y Godoy, 2018).

#### **b) Emulsificantes y surfactantes**

La función de los emulsificantes es promover y/o estabilizar las emulsiones (Bósquez, 2003). En particular, los emulsionantes no imparten necesariamente estabilidad duradera, sino tienen la capacidad de absorber rápidamente en la interfaz recién creada durante el proceso de emulsificación, las proteínas y los polisacáridos suelen impartir estabilidad a largo plazo (Bósquez, 2003).

#### **c) Antimicrobianos (conservadores)**

Los microorganismos y los procesos bioquímicos son las principales causas de los cambios alimentarios, en frutas y verduras, los principales problemas son los ataques de mohos, levaduras y el pardeamiento enzimático (García, 2009). Los agentes antimicrobianos se utilizan para controlar el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias. Son compuestos que se utilizan para retrasar o prevenir la degradación fisicoquímica o microbiana de los alimentos, que puede verse agravada por cambios adversos provocados por las enzimas, el oxígeno, la humedad, o la ligera pérdida de humedad. Más importante es que los agentes antimicrobianos tienen 3 tipos de efectos sobre los microorganismos (García, 2009):

- Inhibición de la biosíntesis de los ácidos nucleicos o de la pared celular.
- Daño a las membranas
- Interfieren en la mayoría de procesos metabólicos esenciales.

Los que han causado mayor interés como antimicrobianos son: quitosano, aceites esenciales, polipéptidos antimicrobianos, bacteriocinas, ciertos

enzimas como el lactoperoxidasa, lisozima, ácidos grasos y orgánicos (Pastor, 2010).

### 3.2.3.5 Métodos de aplicación de las películas comestibles (PC) y recubrimientos comestibles (RC)

- **Por inmersión:** Para frutas y verduras, se sumerge en un tanque que contenga una fórmula que pueda formar una cubierta, posteriormente se debe escurrir y secar para finalmente formar una película en la superficie del producto (Pérez y Báez, 2008). Esta tecnología es de bajo costo y si se maneja adecuadamente, el recubrimiento se puede distribuir uniformemente (Méndez, 2006).
- **Por aspersión:** Es un método convencional que se suele utilizar en muchas situaciones. Debido a la alta presión, se requiere un menor costo de la solución filmogénica para obtener un recubrimiento uniforme (García, 2009).
- **Aplicación por frotación:** El método de fricción usa aire comprimido (menos de 5 PSI o 35 Kpa) y generalmente se usa en líneas de producción de empaques con rodillos móviles para lograr una dispersión uniforme (Tharanathan y Kittur, 2003).
- **Atomizaciones:** Requiere equipos esenciales para su aplicación, el efecto es bueno y es una de las tecnologías más utilizadas en industrias de gran escala que utilizan recubrimientos para sus productos (Méndez, 2006).

### 3.2.3.6 Principales propiedades de los recubrimientos comestibles

#### a) Propiedades de barrera

La naturaleza del recubrimiento comestible juega un papel muy importante en la reducción del proceso de deshidratación de las frutas y verduras, cuanto mayor sea la hidrofobicidad de los componentes utilizados para desarrollar el RC menor será la permeabilidad al vapor de agua por lo tanto menor la deshidratación. La transferencia del vapor de agua depende de la naturaleza hidrofóbica en los recubrimientos, dado que a través de los movimientos del vapor de agua en los polímeros se puede controlar la transferencia de humedad del producto hacia el medio ambiente, así que se busca que sea lo más lento posible. Los



recubrimientos a base de polisacáridos y proteínas, muestran resistencia al agua y poseen baja propiedad de barrera por su naturaleza hidrofílica por lo que se podría incorporar lípidos, que emulsificados en la solución formadora de recubrimiento formarían una capa doble sobre el producto lo que puede ayudar a prevenir reacciones degradativas (Bourtoom, 2008).

#### b) **Propiedades mecánicas**

Cuando se recubre las frutas con recubrimientos comestibles, se desarrollan dos fuerzas; una fuerza de cohesión que se da dentro de las moléculas de los RC y otra de adhesión que se da entre el fruto y el recubrimiento y el grado de cohesión reflejan sus propiedades de barrera y mecánica y una adhesión alta otorga durabilidad del recubrimiento sobre la fruta (Ruiz y Guerrero, 2009).

#### **3.2.3.7 Propiedades fisicoquímicas de recubrimientos comestibles**

Las principales propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible son:

- **Propiedades de espesor**

La mayoría de los recubrimientos comestibles son de naturaleza hidrofílica, por lo que recientemente se ha determinado que la permeabilidad al vapor de agua es dependiente del espesor del recubrimiento comestible, cuanto más incrementa el espesor de recubrimiento será mayor la resistencia a la transferencia de masa a través de ella dando como consecuencia, que la presión parcial del vapor de agua de equilibrio en la superficie inferior del recubrimiento aumenta (Bourtoom, 2008).

- **Contenido de humedad**

Es una de las propiedades más importantes de los recubrimientos comestibles, son determinantes para establecer el crecimiento microbiano y su estabilidad. Además, es de suma importancia determinar la tasa de absorción de humedad del recubrimiento comestible comparado con la humedad intermedia del alimento y como esta influye en el secado y en el tiempo de almacenamiento del producto (Calero y Yunga, 2020).



- **Solubilidad en agua**

Es una propiedad substancial, ya que está relacionada con la descomposición del recubrimiento comestible, si el recubrimiento comestible posee mayor solubilidad indica que su resistencia al agua es menor; por lo tanto, es más susceptible a degradarse (Calero y Yunga, 2020).

- **Densidad**

La densidad está relacionada muchas veces por la presencia de plastificantes como la glicerina, ya que cuando existe un incremento de densidad del recubrimiento se debe a la presencia de glicerina, lo que hace que su carácter hidrofílico incremente y de esa manera sean susceptibles a hidratarse y ganar peso, además plastificantes como la glicerina, disminuyen su capacidad de cohesión entre las cadenas de los polímeros, debilitando las fuerzas de cohesión entre las cadenas de los polímeros, aumentando la movilidad de las mismas y mejorando la flexibilidad de la matriz polimérica. Así que la disminución de la cohesión de los polímeros se traduce en el aumento de permeabilidad a los gases y al vapor de agua de los recubrimientos comestibles, por lo tanto, cuanto mayor sea la cantidad de glicerina presente la densidad será menor y viceversa (Calero y Yunga, 2020).

- **Capacidad de retención de agua (CRA)**

Esta propiedad es importante, en la elaboración de un recubrimiento comestible, ya que es un parámetro que indica la capacidad de interacción del polímero con el agua de solvatación y es una medida indirecta de la consistencia de la dispersión formada. Pues una mayor capacidad de retención de agua, reflejará la alta capacidad de interacción del polímero con el agua de solvatación (Hernández, 2016)

- **Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad se calcula a partir de la combinación de la ley de Fick y la de Henry para la solubilidad (Aider, 2010). Depende del componente hidrofóbico del recubrimiento comestible, ya que, a través del movimiento del vapor de agua en los polímeros, controla la transferencia del vapor de agua desde la fruta hacia el medio ambiente, por lo que se busca que sea lo más lento posible (Trejo et al., 2001).

- **Barrera contra la luz, RUV, pérdida de color y opacidad**

Los recubrimientos actúan como catalizadores de oxidación y degradación de los compuestos nutricionales de los alimentos, para evitar estas reacciones se pueden adicionar elemento que puedan absorber en el espectro UV (Falguera et al, 2011). Las propiedades de barrera contra la luz están relacionadas con el color y la opacidad. En frutas y hortalizas el brillo es una característica agradable, por lo, que se busca un equilibrio entre las características sensoriales y nutricionales (Falguera et al, 2011). La vitamina E al igual que otras vitaminas liposolubles, aumentan la transparencia de los recubrimientos; pero durante la vida anaquel, existe contacto con la luz, razón por la cual se cataliza la rancidez de los lípidos (Zhang et al., 2007).

- **Resistencia a la tensión, elongación y al rompimiento**

Estas propiedades están relacionadas con la estructura química del recubrimiento o película. La resistencia a la tracción (TS, MPa) se refiere a la máxima resistencia a la tracción exhibida por la película, mientras que el alargamiento a la rotura (EB%) es una medida de estiramiento o flexibilidad de la película, los cuales se miden hasta que la película se rompa (Zhang et al., 2007). Según las características del recubrimiento, se puede agregar diferentes aditivos dependiendo de las características que se busquen en la película o recubrimiento, pueden agregarse diferentes aditivos.

### 3.2.3.8 Acción de los recubrimientos comestibles en los cambios fisicoquímicos

A continuación, se mencionan los cambios, causas que la provocan, así como efecto que tiene los recubrimientos sobre algunos frutos:

- **Firmeza:** La pérdida de dureza durante la maduración de estas características es uno de los principales factores que determinan la calidad de muchos frutos antes de la madurez y la longevidad después de la cosecha. Los frutos tienen una estructura celular dura, ordenada y bien definida, y a las paredes celulares son blandas y difusas, las características de las plantas durante la maduración en el tejido del fruto, el ablandamiento del fruto se atribuye a la degradación de los componentes de la pared celular (principalmente pectina), que es

provocada por la acción de enzimas específicas (como pectinasa, y poligalacturonasa). Se ha observado que una baja concentración de  $O_2$  y un contenido alto de ( $CO_2$ ) reducirán de actividad de las enzimas que causan la degradación de la pared celular, de modo que las frutas y verduras permanezcan firmes en vida después de la cosecha (Quintero y Muñoz, 2010), Los recubrimientos han mostrado resultados favorables con respecto a la retención de la firmeza en frutos.

- **Color:** Estas características son el criterio principal para que los consumidores determinen si la fruta está madura. Los cambios de color durante el periodo de maduración de la mayoría de las frutas son principalmente producto de la degradación de la clorofila y la síntesis de pigmentos. Por ejemplo, los carotenoides y los principales factores que causan la degradación de la clorofila son los cambios en el pH, la oxidación y actividad de la clorofilasa. cambios que ocurren en muchas frutas (Quintero, 2006).
- **Pérdida de peso:** La mayoría de las frutas están compuestas principalmente de agua, por lo que la pérdida de peso en estos productos es el resultado directo a la caída en el contenido de agua. El principal mecanismo de pérdida de agua es la difusión de agua en frutas y plantas frescas. Vapor de agua, que se origina por la presión entre el interior y el exterior del fruto (Quintero y Muñoz, 2010). El recubrimiento en la superficie del fruto dificulta la difusión del vapor de agua, reduciendo así el contenido de humedad de la velocidad de transferencia de masa, la pérdida, el espesor y la permeabilidad a la humedad de la capa de barrera son factores importantes. La disminución del contenido de humedad puede ser una de las principales causas de deterioro, ya que no solo conduce a la pérdida de apariencia. (por deshidratación), textura (ablandamiento, flacidez, pérdida de consistencia y jugosidad) (Ruiz y Guerrero, 2009).
- **Tasa respiratoria:** Quintero y Muñoz (2010), mencionaron que las células vegetales continúan siendo metabólicamente activas después de la cosecha y continúan obteniendo la energía necesaria del proceso de respiración aeróbica. La ventaja de utilizar recubrimiento es que forman una barrera en la superficie del fruto, lo que cambia la composición del

gas interno y reduce la frecuencia respiratoria, prolongado así la vida postcosecha del producto. sin embargo, cabe destacar que siempre que la fruta mantenga la respiración aeróbica, se puede obtener una reducción de la frecuencia respiratoria y un retraso en la maduración de la fruta. El límite mínimo de  $O_2$  y el límite máximo de  $CO_2$  son beneficioso para el cambio de atmósfera, fuera de estos límites, la atmósfera puede tener efectos nocivos, como la madurez el aumento de las enfermedades fisiológicas y el olor desagradable debido a la acumulación de productos fermentados

### 3.2.3.9 Propiedades funcionales

Según Méndez (2006) las principales propiedades funcionales del recubrimiento comestible son:

- Disminuir pérdida de peso
- Disminuir la pérdida de humedad
- Disminuir el transporte de dióxido de carbono y oxígeno
- Disminuir el paso de aceite y grasa
- Disminuir el transporte de solutos
- Mejorar el manejo de los alimentos
- Mejorar las propiedades mecánicas
- Retener los componentes volátiles
- Contener aditivos
- Se usa en alimentos como barrera entre los componentes
- Incrementa el tiempo de vida útil
- Mantener las propiedades organolépticas y nutricionales de los alimentos
- Actúan como antimicrobianos
- Contrarrestar la oxidación de las grasas, vitaminas, sabores y colores
- Eliminar la respiración aeróbica en frutas y verduras frescas
- Incrementar la integridad estructural del producto que se recubre

### 3.2.4 El quitosano

El quitosano, se obtiene de la desacetilación de la quitina. La quitina es un polisacárido que contiene nitrógeno y se encuentra en los exoesqueletos de insectos y las conchas de los crustáceos. La quitina es una sustancia blanca, dura e inelástica que es principal fuente de contaminación superficial de las zonas costeras. Debido a su muy lenta biodegradación, se ha acumulado una gran cantidad de desechos en la industria de procesamiento de productos del mar. Por lo tanto, es muy importante

obtener productos de valor agregado (como el quitosano y sus derivados) y sus aplicaciones en diferentes campos (Hirano, 2009). Otra fuente de quitosano son las paredes de hongos *Zigomycetes*, porque el quitosano es el principal componente estructural de estas paredes. El quitosano se puede separar del micelio de los hongos extrayéndolo primero con una solución de ácido acético y luego usando precipitación de Na (OH) para una serie de extracciones (THARANATHAN Y KITTUR, 2003). Mientras que los hidrocoloides son neutros o tienen pH negativo, el quitosano es un hidrocoloide atípico ya que el pH del sistema biológico de este es de carga positiva. El quitosano actúa como antifúngico y antimicrobiano, puede ser como fungistático o fungicida, dependiendo de las cepas y las características del quitosano (Tharanathan y Kittur, 2003).

#### **3.2.4.1 Fuentes de quitosano**

El quitosano se obtiene por desacetilación de la quitina en soluciones alcalinas concentradas, la diferencia está en que el C-2 tiene una sustitución acetarmida y el de este una sustitución amino. Así que el paso de la quitina a quitosano es posible mediante desacetilación y reversión de quitosano a quitina por acetilación (Gacén, 1996)

La quitina se encuentra en muchas especies de plantas y animales en los cuales actúa como refuerzo de las células. Se sitúa en las paredes celulares de los hongos, mohos, levaduras y exoesqueletos de invertebrados tales como cangrejos, jambas e insectos. La quitina se obtiene a partir de las cascaras de crustáceos, que se encuentran en fábricas de proceso de mariscos. El biopolímero quitosano adquiere el nombre de quitosano cuando su grado de desacetilación es mayor a 50% y si es 100% se le denomina quitano. Gracias a los aminos que contienen facilita su solubilidad en medios ácidos, otorgándoles una gran cantidad de aplicaciones (Gacén, 1996).

#### **3.2.4.2 Estructura del quitosano**

El quitosano es copolímero formado de 2-acetilamina-2-desoxi-b-D-(+) glucopiranososa y 2-amino-2-desoxi-b-D-Glucopiranososa (Gacén, 1996).

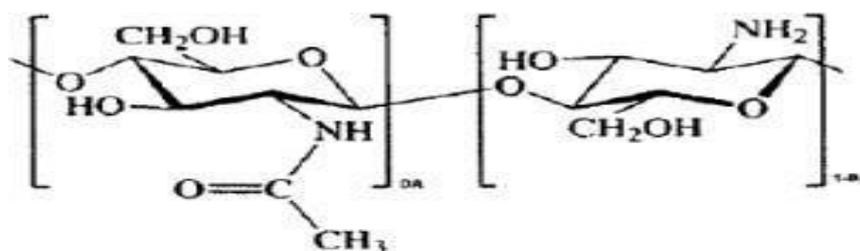


Figura 2 – Estructura química del quitosano

Extraído de Gacén (1996)

### 3.2.4.3 Propiedades fisicoquímicas del quitosano

- a) **El grado de desacetilación:** La diferencia que radica entre la quitina y el quitosano es el grado de desacetilación que tienen ya que determina las propiedades del quitosano como propiedades físicas, químicas y biológicas. El grado de desacetilación determina que el producto sea soluble, además es importante tomar en cuenta la distribución de los grupos acetilo dentro de la molécula. Los factores que puede afectar el grado de desacetilación son: el tamaño de partícula y la densidad de a quitina. El nivel máximo de desacetilación que se puede lograr es de 75 – 85 % (Nieto y Orellana, 2011).
- b) **Peso molecular y viscosidad:** El quitosano tiene una amplia gama de viscosidades en medios ácidos diluidos que generalmente dependen de su peso molecular, el cual es menos que el de la quitina, el quitosano tiene alta viscosidad por lo que se parece a las gomas naturales, debido a esta propiedad se pueden utilizare como estabilizantes (Nieto y Orellana, 2011).
- c) **Biodegradabilidad:** Tal como otros compuestos orgánicos, el quitosano es biodegradable, gracias a la acción de sus propias enzimas, razón por la cual se ha dado varios usos a este compuesto. Además de su biodegradabilidad se suma la no toxicidad debida también a la acción de su enzima lo que hace más interesante su uso (Nieto y Orellana, 2011).

#### 3.2.4.4 Obtención del quitosano

En los estudios realizados por Giraldo (2015), se describe las diferentes etapas de obtención de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón, lo cual es el proceso más industrializado que a continuación se detalla:

- **Descarnado:** Con la finalidad de reducir los malos olores, se realiza una limpieza previa de los exoesqueletos. El descarnado consiste en retirar las proteínas y carnosidades de los exoesqueletos mediante el agente corrosivo Na (OH).
- **Molienda y tamizado:** Para facilitar el contacto de los exoesqueletos y los reactivos, se realiza la molienda hasta llegar a un tamaño de 300 a 500 $\mu$ m. Luego de obtener quitina o el quitosano se puede seguir reduciendo de tamaño hasta 250 $\mu$ m, sin embargo, esto depende del uso que se le dará al biopolímero.
- **Desproteínización:** La desproteínización se realiza con el fin de retirar las proteínas, que puedan interferir la pureza de la quitina, para tal fin se utiliza el Na OH sometiéndolo a una temperatura alta y en un corto tiempo para evitar la despolimerización de cadenas polisacáridos. Las proteínas tienen una estructura primaria formada por aminoácidos, una estructura secundaria por la forma helicoidal y la terciaria están mantenida por enlaces hidrogeno razón por lo que en contacto con los ácidos y álcalis se rompen los enlaces iónicos de hidrógeno, como consecuencia dando el despliegue de la proteína, lo que lleva a su destrucción total y la pérdida de su actividad biológica, esta destrucción irreversible toma la forma de la desnaturalización o la coagulación de las proteínas para retirarlas de los exoesqueletos.
- **Desmineralización:** Esta etapa se realiza con HCL con el fin de retirar el ( $Ca(CO_3)$ ) que se encuentran en los exoesqueletos de camarón, el carbonato de calcio reacciona con iones  $H_3O^+$  y  $Cl^-$  disociados en la solución. Esta reacción es exotérmica, por lo que se recomienda realizar a temperatura ambiente y en un corto tiempo para que no se despolimerice.

- **Segunda Desproteínización:** Esta etapa es opcional, aunque si se requiere un grado más alto de desacetilación se puede realizar para lograr una quitina o quitosano con mayor pureza.
- **Desacetilación:** Existen tres métodos para llevar a cabo esta operación: por desacetilación homogénea, heterogénea y enzimática. Consiste en convertir los grupos acetilo en aminos. La desacetilación homogénea se realiza suspendiendo la quitina en un medio álcali a menos de 4°C para solubilizar la quitina y para que la conversión de los grupos acetilo no aminos, no se localicen en la cadena, se somete a una temperatura ambiente. La desacetilación heterogénea consiste en disolver la quitina en medio álcali caliente en un corto tiempo para evitar la despolimerización del biopolímero. La desacetilación enzimática consiste en desacetilar la quitina por medio de la conversión de los monómeros 2- Acetilamina-2- desoxi-D-(+)-Glucopiranososa a Amino-2-desoxi-D-Glucopiranososa, la desventaja de este método es que la enzima no es muy efectiva en la desacetilación de la quitina insoluble.
- **Decoloración:** Esta etapa es opcional ya puede causar despolimerización y desnaturalización. Consiste en retirar los pigmentos de antoxantinas, utilizando peróxido de hidrogeno  $H_2O_2$  o xileno en una solución de etanol.

#### 3.2.4.5 El quitosano como recubrimiento comestible

- Los recubrimientos desarrollados a base de quitosano tienen buena capacidad de permeabilidad a gases como  $O_2$  y  $CO_2$ . este biopolímero se utiliza básicamente para prolongar la vida útil de las frutas frescas (Djioua et al., 2010).
- El quitosano fue aprobado por la FDA como un alimento seguro para el consumidor y el medio ambiente (FDA, 2013).
- El quitosano tiene una propiedad formadora de película con actividad antimicrobiana, una buena compatibilidad con otros componentes. Además, es apropiada para reemplazar los polímeros no biodegradables

y no renovables, ofreciendo grandes beneficios para la prolongación de la vida útil de frutas frescas (Acevedo et al., 2015).

- El quitosano en combinación con otros compuestos puede actuar como antifúngicos en postcosecha de muchas frutas frescas entre ellas el arándano y para mejorar su capacidad es importante encontrar materiales adecuados (NO et al., 2007).
- El quitosano en combinación con otro material adecuado forma una capa semipermeable sobre las frutas y verduras retrasando el metabolismo respiratorio y la maduración de la fruta, por lo tanto, evitan la pérdida de humedad y por ende evitan la pérdida de peso manteniendo la calidad del fruto (Acevedo et al., 2015).
- El quitosano tiene actividad antimicrobiana contra hongos, levaduras y bacterias. Los recubrimientos a base de quitosano tienen la capacidad de modificar la atmosfera interna y así prolongar la vida de almacenamiento y la senescencia de los frutos. (NO et al., 2007). Además, se ha observado que el quitosano reduce una serie de hongos a excepción de los Zigomicetos (Cruañes y Locaso, 2011).
- El grado de efectividad antimicrobiana del quitosano está relacionada con la estructura fisicoquímica de cada polímero, lo que significa que cuanto mayor sea el grado de desacetilación, mayor capacidad antimicrobiana (Jung y Kim, 2009).
- La actividad antimicrobiana del quitosano depende del sustrato sobre el que actúa, como temperatura, humedad, la composición en nutrientes, el pH y la actividad de agua (Cuero, 2009).
- La acción de oligómeros del quitosano, de bajo peso penetran en las células microbianas e impedir la síntesis de ARN, deteniendo el crecimiento celular. El quitosano juega un papel doble actuando directamente el crecimiento fúngico y activando defensas en el tejido del huésped (El Gaouth et al., 2001).

### 3.2.5 Penca de tuna

Es una cactácea que crece en los valles interandinos donde sus condiciones de crecimiento son adecuadas. Los cladodios mayores son denominados como pencas, del cual se puede extraer mucílago, el cual es considerado un polisacárido ideal para el desarrollo de recubrimientos comestibles por tener características específicas. La penca de tuna posee dos capas en la epidermis, una capa de células verdes que es denominada como colénquima y la capa inferior denominada como parénquima, en este tejido se encuentran las células mucilaginosas donde se almacena el mucilago. Entre las propiedades funcionales que se le atribuido están sus propiedades funcionales debido a su contenido de fibra dietética y pectina, lo cual hace que su uso sea como alimento funcional. Además, tiene propiedades medicinales gracias a su poder antioxidante, anticancerígeno, antiviral, anticolesterolémico y control de diabetes (Ginez y Godoy, 2018).

#### 3.2.5.1 Mucílago de penca de tuna

De acuerdo con Sáenz y Sepúlveda (1993), el mucílago es un hetero polisacárido de alto peso molecular, que tiene casi 30 000 sub unidades de arabinosa (35 a 45 %), galactosa (20 a 25 %), ramnosa (7 a 8%), xilosa (7 -8 %) y ácido galacturónico (19 a 31%) y las moléculas de mucilago tienen una gran cantidad de cargas negativas es decir son polielectrolitos (Majdoub, et al. 2001), que unen al  $Ca^{+2}$ , al igual que la pectina. Se presenta en diversas proporciones ya sea en los cladodios como en la piel y la pulpa de la fruta. En el estudio realizado por Sáenz y Sepúlveda (1993), determinaron que el rendimiento en las cascara es 0.5 % y en los cladodios 1.2 % por lo tanto claramente se puede observar que el rendimiento en los cladodios es mayor que en la cáscara de la fruta.

#### 3.2.5.2 Composición química del mucílago

La cantidad de monómeros en las moléculas varía dependiendo de factores como: variedad, edad, condiciones ambientales y estructura utilizada para la extracción (fruto, cáscara y Cladodios) y otros factores. El mucílago se encuentra como sal de calcio en los parénquimas de la penca (Rodríguez, 2014).

**Tabla 5 – Composición química del mucílago de penca de tuna**

Humedad(%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Ca (ppm)	K (ppm)
8.29	3.18	11.46	5.9	0.19

Extraído de Ginez y Godoy (2018)

### 3.2.5.3 Métodos de extracción

Diversos estudios realizados, señalan que las metodologías de extracción de mucílago son muy variadas, desde metodologías simples a metodologías complicadas. El método de extracción depende mucho de la fuente del mucílago ya sea del cladodio o fruto y la parte específica de la que se extraerá el hidrocoloide de la piel, pulpa, cladodio o semilla (Rodríguez, 2014).

- **Método tradicional:** Con este método se obtiene mucílago de color café claro debido a la oxidación enzimática a la que se somete la clorofila o polifenoles de la penca. El procedimiento es muy parecido, se selecciona y limpia las pencas, se procede a la molienda con agua destilada, se centrifuga y se utiliza el sobrenadante, con la finalidad de insolubilizar el polisacárido (mucílago) se precipita con etanol, se seca y finalmente se obtiene el mucílago (Abraján, 2008).
- **Método de escaldado:** Se inicia con un previo acondicionamiento de las pencas de tuna se seleccionan y limpian, se pela, se procede a la reducción de tamaño en cubos de 2 a 3 cm, luego se realiza el escaldado por un tiempo de 7 minutos a 83 °C, cabe resaltar que este paso es de suma importancia para obtener mucílago sin el color café indeseado lo cual es debido a la oxidación enzimática causada en los polifenoles de los cladodios. Con este método se obtiene mucílago de un color ideal para el desarrollo de un recubrimiento comestible. Luego del escaldado se procede a la molienda con agua destilada, se centrifuga y se utiliza el sobrenadante, se precipita el mucílago con etanol y finalmente se seca y se obtiene el mucílago en polvo (Rodríguez, 2014).
- **Decoloración del mucílago:** Se realiza el acondicionamiento se selecciona, se limpia la penca de la tuna, se procede a pelar, luego se realiza la molienda, se centrifuga, con el fin de insolubilizar el mucílago

se procede a precipitar con etanol, después de esta operación se decolora el polisacárido con hipoclorito de sodio, esta operación se realiza con una agitación constante durante 1 hora, luego se retira el precipitado por medio de una filtración y se procede a lavar con etanol para facilitar la operación del secado (Abraján, 2008).

### 3.2.5.4 Composición química de los diferentes macrocomponentes del mucílago

En cuanto a su contenido en carbohidratos oscila alrededor de 70g/100g. En cuanto a su contenido en proteínas y lípido es importante cuando el mucílago está destinado al desarrollo de un recubrimiento ya que se sabe que las proteínas tienen capacidad emulsionante y por ello muchas veces se utiliza como aditivos emulsionantes en el desarrollo del recubrimiento comestible (Abraján, 2008).

**Tabla 6 – Valores en porcentaje en pesos de los diferentes macrocomponentes del mucilago en los diferentes procesos de extracción**

Porcentaje	Escaldado	Tradicional	Decolorado
Carbohidratos (g/100g)	72.9	68.9	72.6
Fibra cruda (g/100g)	0.6	1.3	0.1
Proteína (g/100g)	4.0	3.0	3.7
Grasa (g/100g)	0.6	0.9	0.7
Ceniza (g/100g)	21.9	25.9	22.8

Extraído de Abraján (2008)

### 3.3 Marco conceptual

- a) **Proporción:** Es la relación adecuada entre partes de una cosa o relativa a otra; es la relación entre la cantidad de soluto y la cantidad de solución o solvente; a menor proporción se soluto disuelto en el solvente, menor concentración, cuanto mayor sea la relación, mayor será la concentración de la solución (Zavala et al., 2011).
- b) **Formulación:** Es la combinación de ingredientes en una relación o proporción adecuada según una formula dada (Pérez y Gardey, 2019)
- c) **Pudrición:** Es la descomposición de los órganos carnosos de una planta o fruto causada por la actividad de hongos o bacterias, más o menos con o sin mal olor. (Infojardin, 2020)
- d) **Vida útil:** Se define como una estimación de la duración de un producto sin perder sus características esenciales. Esta estimación generalmente la proporciona la empresa para proporcionar información a los consumidores (Navarro, 2017)
- e) **Inmersión:** Implica sumergir el alimento en el sustrato comestible o sumergirlo en la solución formadora de recubrimiento comestible. Es especialmente adecuado para alimentos de forma irregular que requieren una capa gruesa y uniforme. Es importante limpiar y secar previamente el producto a procesar y una vez retirado de la solución, se puede drenar el exceso de solución para obtener un recubrimiento uniforme (Parzanese, 2009).
- f) **Solución precursora:** Según Webster Dictionary (2019), la solución precursora es una solución indispensable, y otra solución puede ser producida por un compuesto que actúa como sustrato en la primera etapa del proceso de composición y en etapas posteriores.
- g) **Tasa de respiración:** Se define como la cantidad de oxígeno consumido y la cantidad de dióxido de carbono emitido por cada kg de fruta y por hora. Por lo tanto, si los frutos una vez cosechados se colocan en un ambiente con menos oxígeno y dióxido de carbono de lo normal, su velocidad de respiración será más lenta y la duración será mayor (USDA, 2002).
- h) **Antimicrobianos (conservadores):** Los antimicrobianos se utilizan para controlar el crecimiento de mohos, levadura y bacterias, son compuestos utilizados para retrasar o prevenir la degradación fisicoquímica o microbiana de los alimentos (García, 2009).

## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1 Tipo y Nivel de investigación

**4.1.1 Tipo de investigación:** La investigación tuvo como fin la solución de los problemas, como la pudrición causada por hongos y pérdida de peso del arándano durante el almacenamiento. Para la formulación del recubrimiento comestible se manipuló variables (Debold et al., 2006), como % de mucílago, % quitosano y % de glicerol; por lo tanto, es una Investigación Experimental.

**4.1.2 Nivel de Investigación:** El estudio corresponde al nivel de investigación explicativa, ya que tuvo como fin ver el efecto que tiene las variables independientes sobre las variables dependientes (Fidias, 2012), es decir en este estudio se vio el efecto que tiene la proporción de quitosano, mucílago de penca de tuna y % de glicerol (variables independientes), sobre las variables dependientes tales como las características fisicoquímicas del recubrimiento comestible, efecto sobre la pudrición, características fisicoquímicas y sobre la pérdida de peso del arándano.

### 4.2 Diseño de la investigación

En el proceso de formulación del recubrimiento comestible donde intervino tres variables independientes en diferentes proporciones de quitosano, mucílago extraído de penca de tuna y glicerol, las cuales influyeron directamente en las variables dependientes, tales como características fisicoquímicas del recubrimiento comestible, los efectos sobre la pudrición causada por hongos, pérdida de peso y las características fisicoquímicas del arándano, por lo tanto esta investigación experimental se centró en analizar en ver los efectos de las variables independientes sobre las variables dependientes. Por lo tanto, el diseño experimental es un diseño completamente al azar (DCA) con 8 tratamientos cada tratamiento con 3 repeticiones y 24 observaciones tal como se muestra en la tabla 7.

Además, las variables independientes como el quitosano, mucílago y glicerol se proporcionaron con 2 niveles cada una:

- Quitosano: 40 y 50 ml
- Mucílago: 40 y 50 ml
- Glicerol: 2.5% y 5%

Donde el porcentaje de glicerol que se añadió fue en base a la solución total (solución de quitosano + solución de mucílago).

**Tabla 7 – Diseño de la investigación**

Quitosano (ml)	Mucílago (ml)	Glicerol (%)	Tratamiento y su abreviación	Repeticiones	Observaciones
40	40	2.5% (2ml)	F1(40Q-40M-2G)	F1A	1
				F1B	2
				F1C	3
		5% (4ml)	F2 (40Q-40M-4G)	F2A	4
				F2B	5
				F2C	6
	50	2.5% (2.25ml)	F3 (40Q-50M-2.25G)	F3A	7
				F3B	8
				F3C	9
		5% (4.5ml)	F4 (40Q-50M-4.5G)	F4A	10
				F4B	11
				F4C	12
50	40	2,5% (2.25ml)	F5 (50Q-40M-2.25G)	F5A	13
				F5B	14
				F5C	15
		5% (4.5ml)	F6 (50Q-40M-4.5G)	F6A	16
				F6B	17
				F6C	18
	50	2.5% (2.5ml)	F7 (50Q-50M-2.5G)	F7A	19
				F7B	20
				F7C	21
		5% (5ml)	F8 (50Q-50M-5G)	F8A	22
				F8B	23
				F8C	24

### **4.3 Descripción ética de la investigación (si le corresponde)**

En el presente trabajo de investigación se aplicó la ética de la investigación ya que se consideró las buenas prácticas de investigación en todas las etapas desde la elaboración del proyecto de investigación hasta finalizar con la presentación del informe final de tesis el cual tiene originalidad, transparencia, honestidad y veracidad a la hora de proponer, ejecutar y presentar la investigación; además se utilizó citas y referencias en caso de haber presentado información procedente de otras fuentes.

### **4.4 Población y Muestra con las etapas concernientes a la presentación de informe final de tesis**

#### **4.4.1 Población**

Se consideró como población los frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum*) comercializados en las fruterías del mercado las Américas del distrito de Abancay, provincia de Abancay, región Apurímac; los frutos de arándano que se comercializan en estas fruterías, tienen como lugar de procedencia la provincia de Ica, región Ica. Las mismas que se han utilizado para este estudio y su análisis respectivo.

#### **4.4.1 Muestra**

Se consideró 6 kg de frutos de arándano, variedad azul, calibre 16 (16 mm de diámetro), que no presenten daños físicos y microbiológicos. Se consideró esta cantidad debido a que se realizó pruebas preliminares con los que se determinó que 6 kg de arándano es la cantidad adecuada para realizar las evaluaciones de pudrición, pérdida de peso y el análisis fisicoquímico del arándano antes y después del almacenamiento.

En cuanto a los insumos como el quitosano y glicerina utilizados en el presente estudio fueron de procedencia alemana importados por la empresa Merk Peruana S.A.C. El quitosano fue adquirido en polvo con un grado de desacetilación de 85% y la glicerina como líquido viscoso.

En cuanto a la penca de tuna se recolectó del valle de Pachachaca ubicado en la provincia de Abancay, región Apurímac.

## 4.5 Procedimiento

### ETAPA I

#### 4.5.1 Extracción de mucílago de penca de tuna

El tratamiento de la materia prima para la extracción por el método del escaldado propuesto por Rodríguez (2014), se realizó en el Laboratorio de procesamiento de productos agroindustriales de la Escuela académico profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a continuación, se detalla los pasos que se siguieron:

- 1. Recolección:** Con la finalidad de obtener materia prima para la extracción de mucílago, se recolectó las pencas de tuna que se encontraban en estado idóneo utilizando un cuchillo, la cantidad de penca de tuna recolectada fue de total 20 kg, las cuales se colocó en unos baldes con agua para evitar que estas pierdan humedad y sin exposición directa a rayos solares.
- 2. Adecuación:** Para que la materia prima quede sin espinas ni piel se utilizó un cuchillo y un guante, se pasó a remover la piel y las espinas, una vez realizada la adecuación se procedió a colocar la cáscara de la penca y las espinas en un tacho con bolsa para desecharlas, mientras que el mucílago se colocó en un balde para su posterior reducción de tamaño.
- 3. Troceado:** Para facilitar la molienda de la materia prima se redujo el tamaño de la penca sin cáscara y sin espinas utilizando un cuchillo con el cual se redujo el tamaño de la penca en cubos de 2 a 3 cm aproximadamente.
- 4. Pesado:** Con el fin de tener el dato exacto de materia prima a utilizar, en una balanza se procedió a pesar el mucílago troceado en cubos en el cual se obtuvo 7 kg de penca troceada.
- 5. Escaldado:** Con el objetivo de obtener mucílago sin el color café indeseado, se procedió con el escaldado, para lo cual la penca troceada se colocó en una olla al cual se agregó agua destilada en una relación de 1:2 (peso de penca/volumen de agua); es decir, 7 kg de penca con 14 L de agua destilada, una vez agregado el agua destilada, los trozos de penca fueron sometidos a una temperatura de escaldado de  $80 \pm 2$  °C por 7 minutos.
- 6. Enfriamiento:** Con el fin de evitar realizar la operación de la molienda, con una mezcla caliente, se procedió a enfriar la penca escaldada durante 1 hora a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se procedió a realizar la molienda.

7. **Molienda:** Con el fin de obtener mucílago en polvo y facilitar las operaciones previas a esta, se realizó la molienda respectiva de la mezcla de penca escaldada para ello se utilizó una licuadora donde se llevó a cabo la molienda obteniendo una mezcla total de 14 L.
8. **Tratamiento térmico:** Este paso se realizó con la finalidad de obtener el extracto de penca que se llevó a cabo en una olla a  $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 1 h.
9. **Maceración:** Esta operación se realizó con la finalidad de recuperar la mayor cantidad de mucilago en fase acuosa y además la mezcla se enfriará durante esta operación para que al momento de agregar etanol en la etapa de precipitación el etanol no se evapore. Para lo cual el extracto de penca ya con tratamiento térmico se dejó macerar por 24 horas a  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una refrigeradora.
10. **Filtración:** Para eliminar los trozos que no hayan sido reducidos durante la molienda y las fibras de la penca se utilizó una coladora para filtrar y así obtuvo la solución sobrenadante de 14 litros.
11. **Precipitación:** Para extraer el mucílago existente se procedió a realizar la precipitación, al sobrenadante ya concentrado, se le agregó etanol a  $96^{\circ}$  en una relación de 1:2(v/v); es decir a 14 litros de mezcla filtrada se le agregó 28 litros de etanol para precipitar el mucílago existente, el sobrenadante que es el mucílago se separó con una cuchara a un frasco y lo que quedó en la base fibra y agua se desechó.
12. **Secado:** Para obtener el extracto en polvo, después de obtener el mucílago precipitado, se extendió el mucílago en bandejas de aluminio y se llevó a la estufa donde se realizó el secado. Se programó la estufa en  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se realizó el secado durante 15 horas.
13. **Reducción de tamaño:** Para obtener mucílago en polvo se redujo el tamaño del mucílago ya seco se colocó en un mortero para proceder a reducir el tamaño hasta convertirlo mucílago en polvo.
14. **Tamizado:** Para que el polvo de mucílago sea relativamente fino y sea ideal para su uso como insumo para elaborar el recubrimiento comestible, se realizó el tamizado con un colador hasta obtener un polvo blanquecino relativamente fino.

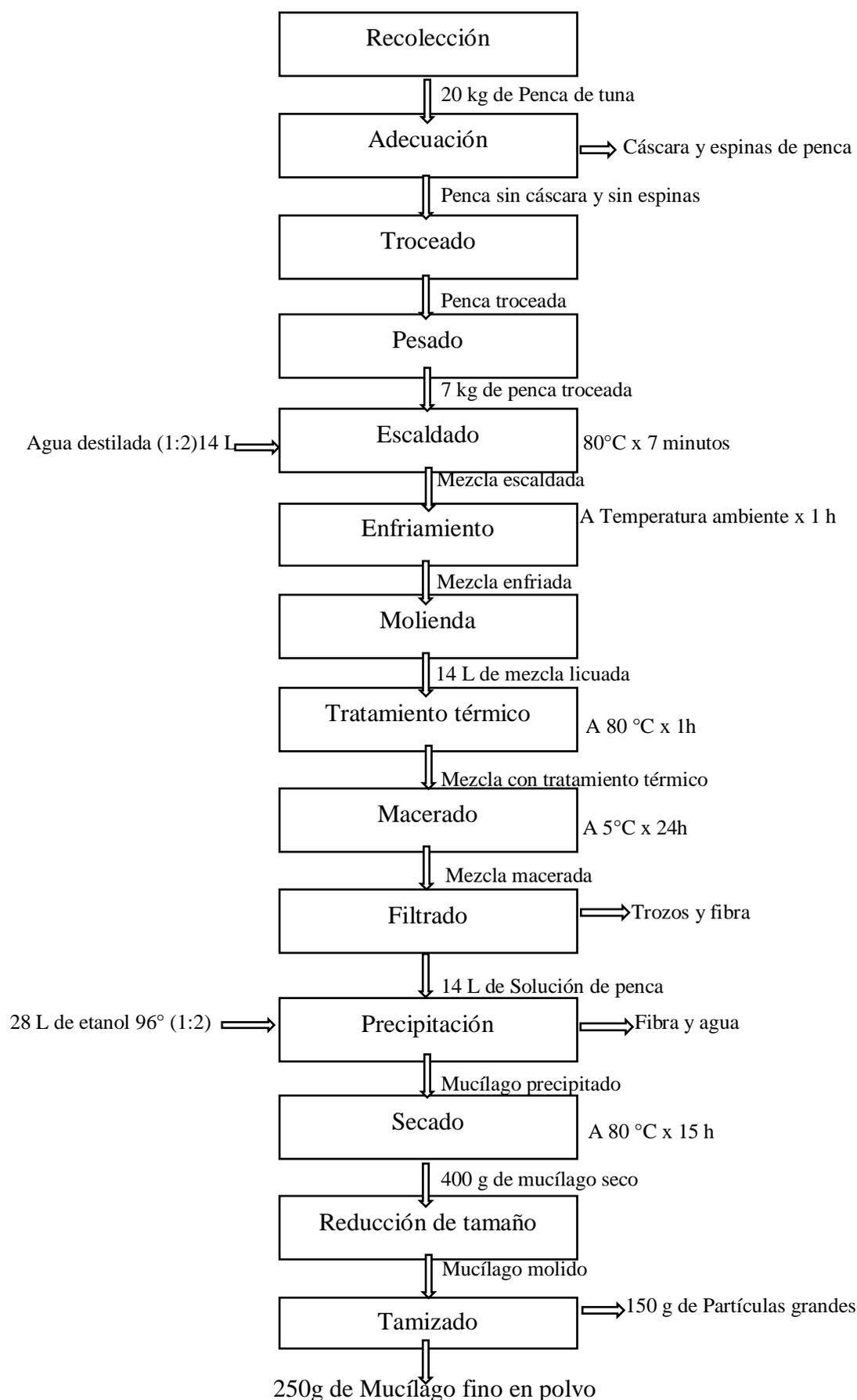


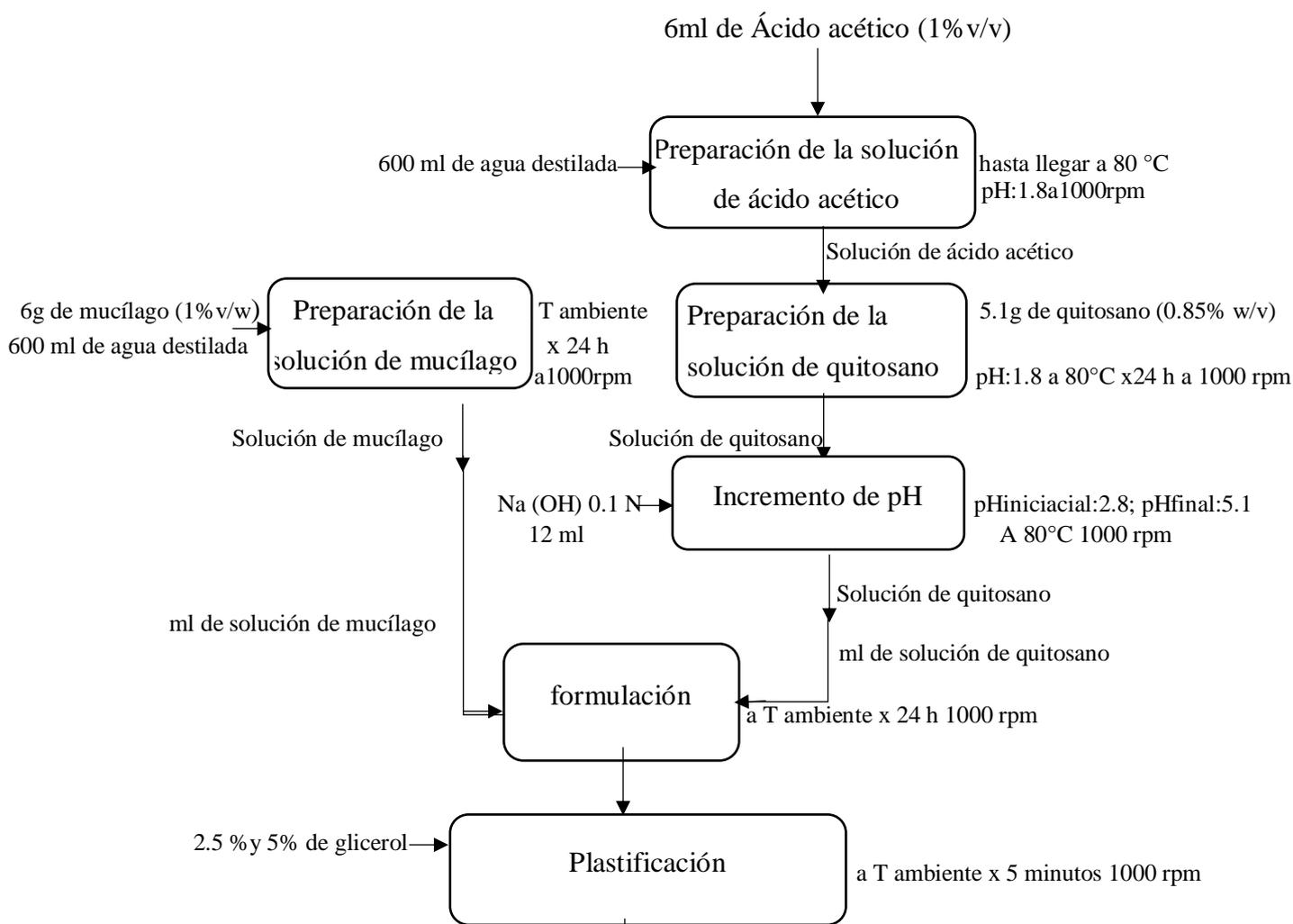
Figura 3 – Diagrama de flujo de extracción de mucílago de penca de tuna



## ETAPA II

### 4.5.2 Obtención del recubrimiento comestible

A partir de la revisión de varios estudios realizados como los de (Ruiz y Guerrero, 2009); (Ginez y Godoy, 2018); (Cruañes y Locaso, 2011) y (Abanto, 2018) se establece el siguiente procedimiento de obtención de recubrimiento comestible que a continuación, detallaremos el procedimiento:



Recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano

**Figura 4 — Diagrama de flujo del procedimiento de elaboración de recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano**

1. **Preparación de la solución de ácido acético:** Para disolver el quitosano, se preparó una solución ácida, ya que el quitosano es hidrofóbico, para ello se utilizó de ácido acético (1% v/v), agua destilada y un agitador para su respectiva agitación, la preparación de esta solución consistió en disponer 600ml de agua destilada en un vaso precipitado de capacidad 1000 ml, al cual se agregó 1% v/v (6 ml) de ácido acético se agitó a 1000 rpm con una temperatura ascendente hasta llegar a 80 °C una vez realizada la agitación se midió el pH que registró 1.8.
2. **Preparación de la solución de quitosano:** Para preparar dicha solución se hará uso de 5.1g (0.85w/v) de Quitosano el cual se agregará a la solución de ácido acético preparada previamente mientras esta se mantiene a 80 °C en constante agitación, luego de agregar el quitosano se quitó la graduación de temperatura del agitador y se dejó agitando por 24 horas a 1000 rpm a temperatura ambiente.
3. **Preparación de la solución de mucílago:** Para preparar la solución de mucílago se hizo uso de 6 g (1% w/v) de mucílago en polvo y 600 ml de agua destilada, para lo cual se vertió agua destilada a un vaso precipitado de capacidad 1000 ml a donde se agregó el mucílago en constante agitación, una vez disuelto se dejó agitando la solución a 1000 rpm, a temperatura ambiente por 24 horas, cabe mencionar que esta solución se dejó agitando al mismo tiempo que la solución de quitosano.
4. **Incremento de pH:** Para que la disolución del quitosano sea más eficiente, una vez transcurrido las 24 horas de agitación de la solución de quitosano, se realizó el incremento del pH de un pH inicial de 2.8 a 5.1, utilizando NaOH 0.1 N, esta operación consistió en primera medir el pH inicial y en constante agitación graduar la temperatura a 80°C para que se pueda disolver. una vez marcado esta temperatura se agregó 12 ml de NaOH 0.1N en constante agitación hasta que se disuelva bien marcando un pH final de 5.1.
5. **Formulación:** Consistió en la preparación de las diferentes formulaciones, cada formulación se detalla a continuación, se realizó con sus 3 repeticiones respectivas:
  - Formulación F1: Se elaboró con 40 ml de solución de quitosano, 40ml de solución de mucílago y se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura ambiente transcurrido este tiempo, se le adicionó 2.5% v/v de



glicerol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

- Formulación F2: Se elaboró con 40 ml de solución quitosano, 40ml de solución de mucílago y se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 5% v/v de glicerol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.
- Formulación F3: Se elaboró con 40 ml de solución de quitosano, 50 ml de solución de mucílago y dejó agitando a 100 rpm por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 2,5% v/v de glicerol. Tras agregar glicerol se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.
- Formulación F4: Se elaboró con 40 ml de solución de quitosano, 50 ml de solución de mucílago y se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 5% v/v de glicerol. Se agitó durante 5 minutos para integrar los componentes de la solución.
- Formulación F5: Se elaboró con 50 ml de solución de quitosano, 40ml de solución de mucílago y se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 2.5% v/v de glicerol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.
- Formulación F6: Se elaboró con 50 ml de solución de quitosano, 40ml de solución de mucílago y se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 5% v/v de glicerol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.
- Formulación F7: Se elaboró con 50 ml de solución de quitosano, 50 ml de solución de mucílago, se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 2.5%v/v de glicerol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.
- Formulación F8: Se elaboró con 50 ml de solución de quitosano, 50 ml de solución de mucílago, se dejó agitando a 1000 rpm por 24 horas a temperatura

ambiente, transcurrido este tiempo se le adicionó 5% v/v de glicerol. Se agitó por 5 minutos para integrar bien los componentes de la solución.

### ETAPA III

#### 4.5.3 Determinación de las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible obtenido

La determinación de las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible obtenido se realizó basándonos en el procedimiento establecido por Jutinico (2018): Cabe resaltar que el análisis fisicoquímico del recubrimiento comestible, se realizó sin intervención de una muestra testigo ya que en este caso solo se necesitó analizar las propiedades fisicoquímicas de cada formulación, para ello se realizó un previo secado de las distintas formulaciones de la solución de quitosano y mucílago elaboradas, lo cual consistió en verter con una pipeta, 10 ml de cada formulación con sus respectivas repeticiones en placas Petri, una vez que estas se encontraban en las placas se efectuó movimientos ligeros de la placa para que las soluciones se distribuyan uniformemente, luego se realizó el secado a temperatura ambiente durante 48 horas. Transcurrido este tiempo se despegó el recubrimiento con sumo cuidado haciendo uso de una pinza una vez despegadas estuvieron listas para su respectivo análisis:

- a) **Espesor:** Para determinar el espesor del recubrimiento comestible, se utilizó un micrómetro digital marca Mitutoyo 102-701. Se realizó 3 mediciones en diferentes lados de cada muestra.
- b) **Densidad:** La densidad del recubrimiento comestible se determinó, a partir de la relación de peso y volumen de cada muestra, para lo cual se cortó 3 trozos de cada formulación de 2 cm x 2 cm los cuales se pesaron en una balanza analítica marca T-scale, luego se determinó el volumen teniendo los datos del área de la muestra, como las muestras tienen forma de cuadrado se utilizó la fórmula del área de un cuadrado (lado al cuadrado) y altura (espesor). Ya teniendo estos datos se procedió a determinar la densidad por triplicado de la siguiente manera:

$$v = Axh = l^2xh \dots\dots\dots\text{Ecuacion.1}$$



Donde:

$v = \text{volumen (cm}^3\text{)}$

$A = \text{Area (cm}^2\text{)}$

$l = \text{lado (cm)}$

$h = \text{Altura=espesor}$

$$\rho = \frac{W}{V} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$\rho = \text{Densidad (} \frac{g}{\text{cm}^3\text{)}$

$W = \text{peso (g)}$

$V = \text{volumen ( cm}^3\text{ )}$

c) **Opacidad:** Los valores de transmisión de luz de los recubrimientos se obtuvieron mediante el uso del espectrofotómetro de luz visible a 600 nm. Para ello recubrimiento comestible fueron cortadas en rectángulos (1 x 4 cm) se pusieron en celdas de cuarzo y se utilizó una celda vacía como blanco referencia. Los valores de opacidad se expresaron como la tasa de absorbancia a 600 nm y el espesor registrado de cada muestra. Además, los resultados de absorbancia se expresaron en unidades adimensionales (Artigas et al., 2002).

La opacidad se obtuvo por triplicado con la ecuación de Wang et al. (2018):

$$\text{Opacidad} = \frac{A_{600}}{x} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$A_{600} = \text{Absorbancia a 600 nm.}$

$X = \text{Es el espesor del recubrimiento comestible.}$

$\text{Opacidad} = \text{Opacidad del recubrimiento comestible (mm}^{-1}\text{)}$



d) **Contenido de humedad:** Para determinar el contenido de humedad se utilizó el método gravimétrico mediante el secado. En primer lugar, se cortó trozos del recubrimiento comestible de 2cmx2cm cada uno por triplicado, se pesaron en una balanza analítica y se registraron los pesos iniciales para luego colocarlos en placas Petri rotuladas respectivamente y se dejó secando en una estufa a 105 °C por 24 horas. Transcurrido este tiempo se retiró las placas contenidas de las muestras de la estufa y se procedió a pesarlas de nuevo para obtener el peso final de las muestras. El contenido humedad se determinó con la siguiente ecuación propuesta por (AOAC 934.01, 2000):

$$\%C.H = \frac{p_i - p_f}{p_f} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

%C.H=porcentaje de contenido de humedad

$P_i$ =peso inicial

$P_f$ =peso final

e) **Solubilidad en agua:** La solubilidad en agua del recubrimiento se realizó por triplicado con las muestras que se utilizaron para determinar el contenido de humedad ya que una vez obtenidas el peso seco inicial en este caso, se sumergieron en vaso precipitado contenido 80 ml de agua destilada. Las muestras se mantuvieron en constante agitación a 300 rpm por 10 minutos a temperatura ambiente. Los trozos restantes que quedaron después de la agitación se secaron nuevamente en una estufa marca Mabe, a 60°C hasta lograr un peso constante. La solubilidad en agua se obtuvo con la ecuación de (Wang et al., 2018)

$$\%sw = \frac{p_i - p_f}{p_i} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$



Donde:

$S_w$ =solubilidad en agua

$P_i$ =peso en seco inicial

$P_f$ =peso final

- f) **Capacidad de retención de agua:** Para determinar la capacidad de retención de agua se procedió a cortar de la misma manera trozos de recubrimiento 2 cm x 2cm por triplicado, para luego pesarlos en una balanza analítica, obtenido los pesos iniciales se procedió a sumergirlos en vaso precipitado contenido de 80 ml de agua destilada, se dejó sumergido durante 10 minutos sin intervención de la agitación, transcurrido este tiempo se eliminó el exceso de agua y se secó con un papel filtro para luego pesarlos nuevamente y así obtener el peso final en la balanza analítica T-Scale. Se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% CRA = \frac{pf - pi}{pi} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$\%CRA$ : Porcentaje de capacidad de retención de agua

$P_i$ =peso inicial

$P_f$ =peso final

- g) **Permeabilidad al vapor de agua:** Las mediciones de permeabilidad al vapor del agua (PVA) se determinaron gravimétricamente por triplicado de acuerdo con el método usando tubos de ensayo con diámetro de 1.3 cm. Luego se cortaron trozos de recubrimiento comestible según la medida del diámetro del tubo 1.3 de diámetro aproximadamente, a estos trozos se midió el espesor, estos valores fueron registrados para determinar la permeabilidad de vapor de agua. Ya obtenida el espesor se puso sobre los tubos de ensayo que contenían 6ml agua destilada. Este montaje se ubicó en un desecador a 22°C inicial en el interior del desecador durante 24 horas. Además, se midió la temperatura interna y externa del tubo para determinar la presión de vapor de agua en la superficie del



recubrimiento (cara orientada hacia el interior de tubo) y la presión de vapor de agua en la superficie del recubrimiento (cara orientada hacia afuera del tubo) y los pesos se tomaron cada 8 horas.

La tasa de transmisión del vapor de agua (PVAT) se obtuvo utilizando la ecuación de (Wang et al., 2018):

$$PVAT = \frac{\Delta G}{t \times A} \dots\dots\dots Ecuación 7$$

Donde:

$\Delta G$  = Es el cambio de peso (g)

t = tiempo durante el cual ocurre el cambio de peso (s)

A = El área de la copa ( $m^2$ )

Luego de ello, de ello se aplicará la ecuación 3 para halla la permeabilidad al vapor de agua (PVA):

$$PVA = \frac{PVAT \times l}{\Delta p} \dots\dots\dots Ecuación 8$$

Donde:

l = Grosor del recubrimiento (m)

$\Delta p$  = Es la diferencia de presión entre ambas caras del recubrimiento comestible (Pa)

## ETAPA IV

### 4.5.4 Aplicación del recubrimiento comestible

La aplicación del recubrimiento comestible se realizó por el método de inmersión propuesto por Méndez (2006). El estudio se realizó con arándanos variedad azul. Para esta etapa se tomó en cuenta, las evaluaciones posteriores como la evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición, pérdida de peso y las características fisicoquímicas del arándano, así que aparte de las muestras de arándano a las que se aplicó el recubrimiento comestibles correspondiente a cada formulación con sus respectivas 3 repeticiones, fue imprescindible utilizar muestras



testigo a las que no se aplicaron el recubrimiento comestible, para ver el efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre el arándano.

1. **Selección y clasificación:** Para que el efecto del recubrimiento se vea alterado, se seleccionaron 6 kg de arándano los cuales se pusieron en una bandeja y se procedió su respectiva clasificación de las bayas que no presenten daños físicos y microbiológicos como golpes, magulladuras, deshidratadas, rajadura, heridas frescas y rajaduras. Además, se seleccionaron bayas del mismo calibre en este caso calibre 16. Cabe mencionar que los arándanos que se utilizaron para muestras testigo fueron sometidos al mismo procedimiento de selección lavado y desinfección que los arándanos que se recubrieron.
2. **Lavado:** Con el fin de eliminar sustancia y partículas extrañas se realizó el lavado con agua potable por inmersión en un frasco con sumo cuidadoso para no dañar las bayas.
3. **Desinfección:** Para reducir la carga microbiana, los frutos de arándano fueron sumergidos en una solución de hipoclorito de sodio a 10 ppm durante 5 minutos.
4. **Secado:** Con el fin de facilitar la aplicación del recubrimiento en los frutos, una vez lavados y desinfectados se secaron los arándanos se pusieron en una bandeja y para evitar su excesiva manipulación para esta operación se usó un ventilador para el respectivo secado por aproximadamente 30 minutos sin dejar rastros de humedad.
5. **Recubrimiento de frutos:** Para recubrir los arándanos se utilizó el método de inmersión, lavados y secos los frutos, esto es muy importante ya que si no se encuentran lavados y secos corren el riesgo de contaminarse antes de tiempo y generar pudriciones no deseadas, alterando el desarrollo del experimento, por otro lado, si no está seco, el recubrimiento no se adherirá al arándano. Tomando en consideración este dato se colocaron las soluciones de la 8 formulación con 3 repeticiones cada una, en vasos precipitados, donde sumergió 50 arándanos para cada repetición durante 1 minuto.
6. **Secado:** Para evitar que los frutos se encuentren húmedos durante el almacenamiento, se procedió al secado para ello también se utilizó un ventilador. Transcurrido el tiempo de inmersión de los frutos, estos se retiraron en una bandeja en grupos por repetición, para someterlos al secado durante 30 a 40 minutos bajo la transferencia de aire por un ventilador.



7. **Almacenamiento:** Con el fin de ver la acción del recubrimiento durante el transcurso de los días, los arándanos recubiertos con el recubrimiento comestible y secos, fueron almacenadas en clamshells rotulados, simultáneamente se almacenó el tratamiento testigo (3 repeticiones 50 arándanos cada uno). Los almacenamientos se llevaron a cabo durante 8 días a temperatura ambiente.

## ETAPA V

### 4.5.5 Evaluación del efecto de recubrimiento comestible sobre la pudrición, las características fisicoquímicas y sobre el peso del arándano

- a) **% Pudrición:** Según el método que utiliza Cruañes y Locaso (2011) para determinar el porcentaje de pudriciones y hongos se llevó a cabo una evaluación visual:
- Para ver el efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pudrición de los arándanos, se evaluó los arándanos recubiertos con las diferentes formulaciones con sus respectivas repeticiones y las muestras testigo sin recubrimiento comestible, durante 8 días de almacenamiento a diario.
  - Se tomaron los datos contabilizando la cantidad conforme se observaban la aparición de pudriciones durante los 8 días de evaluación para ver el efecto de los tratamientos aplicados en los arándanos y las muestra testigo.
  - Al culminar los 8 días de almacenamiento, se procedió con la contabilización final del porcentaje frutas con presencia de podredumbre de los 24 clamshell correspondiente a los 8 tratamientos incluido los tratamientos testigo.
  - Tras tener los datos de la contabilización del porcentaje se determinaron la eficacia de cada tratamiento.
  - La Eficacia se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\% \text{BPmt} - \% \text{BPmtf}}{\% \text{BPmt}}$$

Donde:

E = Eficacia

%BPmt = Porcentaje de bayas podridas en la muestra testigo

%BPmtf = Porcentaje de bayas podridas en muestras con tratamientos formulados

- Luego de determinar la eficacia de cada tratamiento se determinó aquella que tiene mejor eficacia contra la podredumbre.
- b) pH:** Este parámetro se determinó antes y después del almacenamiento utilizando el método de análisis establecido por la norma AOAC 945.10 (2000), utilizando el pHmetro. Se tomó una muestra de 5 arándanos de cada repetición de los 8 tratamiento incluido las muestra testigo, los cuales fueron triturados y exprimidos en vasos precipitados cada repetición por separado, para obtener el zumo del fruto del cual se analizó de forma directa, introduciendo el pHmetro en el zumo de arándano.
- c) Acidez:** La acidez se determinó de la misma forma antes y después del almacenamiento utilizando el método de análisis establecido por la norma AOAC 942.15 (2000), se realizó tomando una muestra de 10 frutos de arándano, que se trituró y exprimió, luego se tomó una muestra de 10 ml del zumo y se diluyó en 50 ml de agua destilada, luego se procedió a adicionar 3 gotas de fenolftaleína e NaOH al 0.1N; se realizó la titulación hasta llegar a un pH de 8.0 +- 0.2. Al finalizar se tomó el gasto de NaOH para multiplicar el factor de determinación de ácido cítrico (0.064) con el cual se determinó la acidez del arándano.
- d) Sólidos solubles:** De igual forma esta medida se determinó antes y después del almacenamiento, utilizando el método de análisis establecido por la norma AOAC 932.12 (2000). Se obtuvo a partir del zumo de los 2 frutos correspondientes a cada repetición de cada tratamiento, midiendo los grados °Brix con un refractómetro.
- e) Control de pérdida de peso del arándano:** Se determinó según el método utilizado por Abanto (2018). El control del peso se llevó a cabo durante los 8 días de almacenamiento a diario, la lectura se realizó en una balanza digital, se determinó el peso inicial de frutos desde el día cero y durante los días posteriores de almacenamiento. Este análisis se evaluó determinando la diferencia de pesos entre el primer día y cada día del muestreo en %.

## 4.6 Técnica e instrumentos

### 4.6.1 Técnicas

Las técnicas para el desarrollo de las diferentes etapas de estudio fueron las siguientes:

- Para la extracción del mucilago se utilizó el método de escaldado (Rodríguez, 2014).
- Para la determinación de la solubilidad en agua del recubrimiento comestible obtenido, se utilizó el método gravimétrico (Jutinico, 2018)
- Para la determinación de la capacidad de retención de agua del recubrimiento comestible obtenido, se utilizó el método compresión (Jutinico, 2018)
- Para la determinación de la permeabilidad al vapor de agua del recubrimiento comestible obtenido, se utilizó el método gravimétrico (Jutinico, 2018)
- La aplicación del recubrimiento comestible obtenido en los arándanos, fue utilizando el método de inmersión (Méndez, 2006).
- La determinación de las características fisicoquímicas del arándano recubierto tales como pH, acidez y °Brix, se desarrolló utilizando el método (AOAC, 2000).

### 4.6.2 Instrumentos

#### A. Materiales

- Recipientes de plástico
- Cuchillo
- Baldes
- Termómetro digital
- Guantes de látex
- Mandil
- Agua destilada
- Bandejas de acero inoxidable
- Coladores
- Mesa de acero inoxidable
- Vasos precipitados
- Desecador
- Tubos de ensayo
- Picetas
- Placas Petri
- Pinza
- Mortero
- Agua de mesa embotellada
- Vasos descartables
- Cartillas de evaluación sensorial.
- Lapiceros
- Útiles de escritorio



## B. Equipos

- Espectrofotómetro
- Licuadora
- Estufa
- Refractómetro
- pHmetro
- Balanza analítica digital
- Termómetro calibrado.
- Balanza digital capacidad máxima de 10 Kg.
- Agitador magnético con calentamiento

## C. Materia prima y Reactivos

- Arándano
- Solución de mucílago extraído de penca de tuna
- Solución de quitosano
- Glicerol
- Etanol 96%
- Ácido acético
- Agua destilada

### 4.7 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, para determinar la significancia de los tratamientos. Análisis estadístico se realizó el análisis de los resultados en base al diseño experimental, se analizó los resultados de las diferentes etapas del experimento como la caracterización fisicoquímica del recubrimiento comestible, los efectos del recubrimiento comestible sobre pudrición, sobre la pérdida de peso y sobre las características fisicoquímicas. Tenemos 3 variables independientes, además el Diseño experimental propuesto en el presente proyecto es el diseño completamente al azar, entonces se utilizó la representación de ANOVA mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde

Y= Es la variable respuesta

$\mu$  = Es la medida general

$\alpha_{ij}$  = Es el efecto de las formulaciones del recubrimiento comestible

$\epsilon_{ij}$  = Es el error experimental

### **Estadístico**

La prueba estadística a emplearse será el F de Fisher mediante el análisis de varianza ANOVA.

### **Nivel de significancia**

A un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$

### **Regla crítica o regla de decisión**

Existe diferencias cuando P – value < nivel de significancia caso contrario no hay diferencia significativa.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

##### 5.1.1 Resultados del análisis fisicoquímico del recubrimiento comestible

El resultado de análisis de las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible se presenta en la Tabla 8, los promedios de las repeticiones de cada formulación muestran diferencias significativas de formulación a formulación con un nivel de 95% de confianza, por lo tanto, se puede decir que si existe diferencias significativas en cuanto a las propiedades fisicoquímicas los cuales son comprobados estadísticamente ver Anexo 6 y los datos para este análisis se utilizó el resultado total del análisis fisicoquímico que se encuentra detallado en el Anexo 1.

**Tabla 8 – Resultados de análisis fisicoquímico del recubrimiento comestible**

Formulación	Espesor (mm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Opacidad (mm <sup>-1</sup> )	Contenido de humedad (%)	Solubilidad en agua (%)	CRA (%)	PVA(g/m.s.pa)
F1	0.04±0.006 <sup>d</sup>	1.59±0.226 <sup>a</sup>	7.80±0.498 <sup>cd</sup>	13.23±1.711 <sup>d</sup>	56.46±0.41 <sup>ab</sup>	26.16±0.24 <sup>ab</sup>	1.8x10 <sup>-10</sup> ±4.6x10 <sup>-11ab</sup>
F2	0.05±0.005 <sup>abc</sup>	1.60±0.344 <sup>a</sup>	7.19±0.014 <sup>e</sup>	19.17±1.796 <sup>a</sup>	57.66±0.53 <sup>a</sup>	27.31±0.40 <sup>a</sup>	2.1x10 <sup>-10</sup> ±3.3x10 <sup>-11a</sup>
F3	0.04±0.007 <sup>cd</sup>	1.02±0.012 <sup>b</sup>	7.96±0.02 <sup>cd</sup>	12.53±1.40 <sup>de</sup>	55.62±0.50 <sup>bc</sup>	25.17±0.98 <sup>bc</sup>	1.7x10 <sup>-10</sup> ±8.1x10 <sup>-11ab</sup>
F4	0.04±0.005 <sup>cd</sup>	1.25±0.048 <sup>ab</sup>	7.47±0.012 <sup>de</sup>	17.43±1.31 <sup>ab</sup>	55.68±0.63 <sup>bc</sup>	24.29±0.90 <sup>cd</sup>	1.7x10 <sup>-10</sup> ±1.3x10 <sup>-11ab</sup>
F5	0.05±0.003 <sup>a</sup>	0.49±0.023 <sup>c</sup>	8.69±0.042 <sup>a</sup>	10.66±1.40 <sup>f</sup>	53.15±0.54 <sup>d</sup>	19.65±0.48 <sup>e</sup>	1.4x10 <sup>-10</sup> ±8.9x10 <sup>-12b</sup>
F6	0.05±0.007 <sup>ab</sup>	0.42±0.016 <sup>c</sup>	8.49±0.061 <sup>ab</sup>	15.69±1.28 <sup>bc</sup>	55.30±0.54 <sup>cd</sup>	22.73±0.89 <sup>de</sup>	1.5x10 <sup>-10</sup> ±1.7x10 <sup>-11ab</sup>
F7	0.04±0.004 <sup>bcd</sup>	0.49±0.056 <sup>c</sup>	8.26±0.04 <sup>abc</sup>	11.84±0.93 <sup>ef</sup>	53.63±0.41 <sup>d</sup>	20.61±0.35 <sup>fg</sup>	1.6x10 <sup>-10</sup> ±5.2x10 <sup>-12ab</sup>
F8	0.04±0.007 <sup>abcd</sup>	0.42±0.046 <sup>c</sup>	8.04±0.125 <sup>bc</sup>	14.61±1.46 <sup>c</sup>	54.13±0.37 <sup>d</sup>	21.92±0.21 <sup>ef</sup>	1.6x10 <sup>-10</sup> ±6.2x10 <sup>-12ab</sup>

lvalores son el promedio ± desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b</sup>superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas (p<0.05)

##### a) Resultados del análisis de espesor

El análisis de varianza de espesor se muestra en el anexo 6 tabla 24, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de espesor existe una diferencia estadísticamente significativa, además en la tabla 8 se muestra la comparación de medias por tukey donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, lo que indica en la formulación, la proporción de quitosano y mucilago si influyen en el espesor dando como resultado que una las formulaciones que presenta mayor espesor es el F5 (50Q-40M- 2.25G) con 0.05±0.003mm, a diferencia del F1(40Q- 40M- 2G) que presenta menor espesor 0.04±0.006 mm, mientras que las demás formulaciones presentan valores dentro de este rango.



### **b) Resultados del análisis de densidad**

El análisis de varianza de densidad, se muestra en el Anexo 6 tabla 25, donde el valor de P es  $< 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de densidad existen diferencias estadísticamente significativas. Por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se presenta en la tabla 8 donde se puede apreciar grupos estadísticamente diferentes de densidad, lo que también indica que la proporción de re quitosano, mucilago y glicerina si influye en la densidad, dando como resultado grupos en donde el primer grupo está conformado por F1(40Q- 40M- 2G) y F2 (40Q-50M-4G), los cuales presentan mayor densidad  $1.59 \pm 0.226$  y  $1.60 \pm 0.344$   $g/cm^3$  respectivamente, el segundo grupo conformado por F3 (50Q-40M-2.25G), el cual presenta un valor intermedio de densidad, el tercer grupo por F4 (40Q-50M-4.5G) el cual presenta un valor intermedio de densidad y el cuarto grupo conformado por F5,F6,F7 y F8 los cuales presentan menor densidad.  $0.49 \pm 0.023$   $g/cm^3$ ,  $0.42 \pm 0.016$   $g/cm^3$ ,  $0.49 \pm 0.056$   $g/cm^3$  y  $0.42 \pm 0.046$   $g/cm^3$  respectivamente.

### **c) Resultados de análisis de opacidad**

El análisis de varianza de opacidad se muestra, en el Anexo 6 tabla 26, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de opacidad, existe diferencia estadísticamente significativa, por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 8, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, lo que indica que la proporción de quitosano, mucílago y glicerol si influye en el grado de opacidad del recubrimiento comestible, dando como resultado que el F5 (50 Q- 40M- 2.25G) que presenta mayor opacidad  $8.69 \pm 0.042$  y el F2 (40Q- 40M-4G) presenta menor opacidad de  $7.19 \pm 0.014$  a diferencia de las demás formulaciones que presentan valores dentro de este rango.

**d) Resultados de análisis de contenido de humedad**

El análisis de varianza de contenido de humedad se muestra, en el Anexo 6 tabla 27, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de contenido de humedad, existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 8, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, lo que indica que la proporción de quitosano, mucilago y glicerol si influye en el contenido de humedad del recubrimiento comestible, siendo el F2 (40Q-50M -4G) el que presenta mayor porcentaje de humedad  $19.17\% \pm 1.796\%$  seguido del F4(40Q-50Q-4.5G) con  $17.43\% \pm 1.31\%$ , F6(50Q-40M-4.5G) con  $15.69\% \pm 1.28\%$  y F8(50Q- 50M-5G) con  $14.61\% \pm 1.46\%$  mientras que los que presentaron menor porcentaje de contenido de humedad fue F1(40Q- 40M- 2G) con  $13.23\% \pm 1.711\%$ , F3(40Q-50M-2.25G) con  $12.53\% \pm 1.40\%$ , F7(50Q-50M-2.5G) con  $11.84\% \pm 0.93\%$  y por último la formulación que contiene el menor porcentaje de contenido de humedad de todas es F5 (50Q-40M-2.25G) que presenta menor porcentaje de humedad  $10.66\% \pm 1.40\%$ .

**e) Resultados de análisis de solubilidad en agua**

El análisis de varianza de solubilidad en agua se muestra, en el Anexo 6 tabla 28, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de solubilidad en agua, existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 8, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, lo que indica que la proporción de quitosano, mucílago y glicerol si influye en la solubilidad en agua del recubrimiento comestible, siendo el F2(40Q-50M-4G) presenta mayor porcentaje de solubilidad en agua  $57.66\% \pm 0.53\%$  seguido de F1(40Q- 40M- 2G) con  $56.46\% \pm 0.41\%$  y F5(50Q-40M-2.25G) es el que presenta menor porcentaje de solubilidad en agua  $53.15\% \pm 0.54\%$  y las demás formulaciones muestran valores intermedios a estas.



**f) Resultados de análisis de capacidad de retención de agua**

El análisis de varianza de capacidad de retención de agua se muestra, en el Anexo 6 tabla 29, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de capacidad de retención de agua, existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 8, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, lo que indica que la proporción de quitosano, mucílago y glicerol si influye en la capacidad de retención de agua del recubrimiento comestible, siendo el F2 (40Q- 50M-4G) y F1(40Q-40M-2G) son las formulaciones que presentan mayor capacidad de retención de agua  $27.31\% \pm 0.40\%$  y  $26.16\% \pm 0.24\%$  respectivamente, mientras que el F5(50Q- 40M-2.25G) presenta menor capacidad de retención de agua  $19.65\% \pm 0.48\%$ , a diferencia de las demás formulaciones que presentan un valor intermedio a estas formulaciones.

**g) Resultados de análisis de permeabilidad al vapor de agua**

El análisis de varianza de permeabilidad al vapor de agua se muestra, en el Anexo 6 tabla 30, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis de permeabilidad al vapor de agua, existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 8, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, lo que indica que la proporción de quitosano, mucílago y glicerol si influye en la permeabilidad al vapor de agua del recubrimiento comestible, siendo el F2 (40Q- 50M-4G) es la formulación que presentan mayor permeabilidad al vapor de agua  $2.1 \times 10^{-10} \pm 3.3 \times 10^{-11} \text{ g/m.s.pa}$ , seguido de F1(40Q-50M-2G) con  $1.8 \times 10^{-10} \pm 4.6 \times 10^{-11}$  mientras que el F5(50Q- 40M-2.25G) presenta menor permeabilidad al vapor de agua  $1.4 \times 10^{-10} \pm 8.9 \times 10^{-12} \text{ g/m.s.pa}$  y las demás formulaciones presentan un valor intermedio a estas formulaciones.

**5.1.2 Resultados de la evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición**

En la tabla 9 y 10 se muestra los resultados del efecto que tiene las formulaciones a base de quitosano y mucílago de penca de tuna sobre la pudrición, haciendo una comparación con las muestras testigo (sin recubrimiento que ha sido preparada y



almacenada en las mismas condiciones). El efecto se muestra en términos de porcentaje y eficacia. El resultado total y detallado por día de esta evaluación se encuentra en el Anexo 4 tabla 23, a partir del cual se obtuvo los resultados finales que se muestran en la tabla 9 y 10.

En la tabla 9 se muestra el resultado del análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición en términos de porcentaje, mediante la prueba Tukey con un nivel de confianza de 95 %.

**Tabla 9 – Resultados de análisis de la presencia de bayas podridas en las muestras, en los 8 días de almacenamiento, expresado en porcentaje.**

Formulación	% de bayas podridas
Testigo	90±10 <sup>a</sup>
F6	7.33±1.15 <sup>b</sup>
F8	7.33±1.15 <sup>b</sup>
F4	7.33±1.15 <sup>b</sup>
F2	7.33±1.15 <sup>b</sup>
F3	5.33±1.15 <sup>b</sup>
F7	4.00±0 <sup>b</sup>
F5	3.33±2.30 <sup>b</sup>
F1	0±0 <sup>b</sup>

l valores son el promedio ± desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b</sup>superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza del efecto que tienen las formulaciones sobre la pudrición se muestra, en el Anexo 9 tabla 38, en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis del efecto que tienen las formulaciones sobre la pudrición, existen diferencias estadísticamente significativas, por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 9, donde se puede apreciar grupos estadísticamente diferentes en donde el primer grupo está conformado por la muestra testigo (sin recubrimiento comestible) y el segundo grupo conformado por las muestras recubiertas con las distintas formulaciones como el F1(40Q- 40M-2G), F2(40Q-40M-4G), F3(40Q-50M-2.25G), F4(40Q-50Q-4.5G), F5(50Q-40M-2.25G), F6(50Q-40M-4.5G), F7(50Q-50M-2.5G) y F8(50Q- 50M-5G). Este resultado indica que hay diferencias significativas entre el efecto que tienen las formulaciones sobre la pudrición en arándanos, y las muestras testigo (sin

recubrimiento comestible); Lo que significa que la aplicación del recubrimiento comestible en los arándanos si tiene efectos que disminuyen la incidencia de pudrición presentando un rango de incidencia de pudrición 0 a 7%, siendo la mejor formulación en este caso, F1 (40Q- 40M- 2G) presentando 0% de incidencia de pudrición en los 8 días de almacenamiento, las demás formulaciones tuvieron también efectos que disminuyeron notablemente la pudrición de  $3.33\% \pm 2.30\%$  que presenta el F5(50Q-40M-2.25G) a  $7.33\% \pm 1.15\%$  valor que presentan el F2,F4,F8 y F6;en comparación con las muestras testigo que presenta alto porcentaje de incidencia de pudrición de  $90\% \pm 10\%$ .

Cabe resaltar que en los días de evaluación se evidenció que las primeras bayas con pudrición, se presentaron en el día 2 de almacenamiento en las muestras testigo, en el día 7 en las formulaciones F2(40Q-40M-4G), F4(40Q-50Q-4.5G), F6(50Q-40M-4.5G) y F8(50Q- 50M-5G) mientras que en las formulaciones F3(40Q-50M-2.25G), F7(50Q-50M-2.5G) y F5(50Q-40M-2.25G) las primeras apariciones de pudrición se dieron en el día 8 de almacenamiento (Ver Anexo 15, figura 33 y 34).

Los resultados del análisis del efecto de las formulaciones sobre la pudrición en términos de Eficacia, durante los 8 días de almacenamiento, se muestran en la tabla 10, en donde se puede apreciar el promedio de eficacia de las repeticiones de las muestras recubiertas con cada formulación, en donde muestran diferencias significativas con un nivel de confianza de 95 % con respecto a las muestras testigo, por lo tanto, se puede decir si existe diferencias significativas, para lo cual son comprobados estadísticamente.

**Tabla 10 – Resultados de análisis del efecto del recubrimiento comestible que tiene sobre la pudrición (expresado como eficacia).**

Formulación	Eficacia (E)
F1	$1.00 \pm 0.00^a$
F5	$0.96 \pm 0.03^{ab}$
F7	$0.96 \pm 0.01^b$
F3	$0.94 \pm 0.02^b$
F2	$0.92 \pm 0.01^b$
F8	$0.92 \pm 0.01^b$
F6	$0.92 \pm 0.02^b$
F4	$0.92 \pm 0.02^b$
Testigo	$0.00 \pm 0.00^c$

Los valores son el promedio  $\pm$  desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b</sup>superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).



En la tabla 10 se puede apreciar diferencias significativas  $p < 0.05$ , entre la eficacia que tienen las formulaciones sobre la pudrición en arándanos en comparación con las muestras testigo (sin recubrimiento comestible); Lo que indica que la aplicación del recubrimiento comestible en los arándanos es eficaz ya que presenta un valor de eficacia de  $0.92 \pm 0.01$  a  $1.00 \pm 0.01$ , este último es el valor más alto de eficacia el cual presenta F1(40Q- 40M- 2G), indicando que esta formulación (F1) es la formulación que tiene mejor eficacia contra la incidencia de pudrición en arándanos y las demás formulaciones como el F4, F6, F8 y F2 presentan un valor de eficacia de  $0.92 \pm 0.01$ , un poco inferior a la eficacia que tiene el F1; pero estadísticamente no hay diferencia significativa entre el eficacia de las formulaciones; sin embargo son significativamente diferentes con las muestras testigo indicando que no hay eficacia alguna si no hay ningún recubrimiento que contrarreste la pudrición.

### 5.1.2 Resultados de la evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímicas del arándano.

En la tabla 11 se muestra los resultados del análisis del efecto que tiene las formulaciones sobre las características fisicoquímicas, para ello, se realizó la evaluación de las características fisicoquímicas el arándano recubierto y la muestras testigo antes del almacenamiento y otra evaluación después de los 8 días de almacenamiento. En donde se muestran diferencias significativas con un nivel de confianza de 95 % de formulación a formulación y las muestras testigo. El resultado total y detallado se encuentra en el Anexo 3 tabla 22, a partir del cual se obtuvo el resultado final que se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11 – Resultados de análisis del efecto del recubrimiento comestible que tiene sobre las características fisicoquímicas del arándano.**

Formulación	Antes del almacenamiento			Después del almacenamiento		
	°Brix	pH	Acidez	°Brix	pH	Acidez
F1	14.77±0.45 <sup>ab</sup>	3.25±0.34 <sup>a</sup>	1.01±0.04 <sup>ab</sup>	15.30±0.46 <sup>a</sup>	3.29±0.34 <sup>a</sup>	0.99±0.02 <sup>a</sup>
F2	13.67±0.29 <sup>c</sup>	3.35±0.21 <sup>a</sup>	0.90±0.10 <sup>abc</sup>	14.43±0.31 <sup>a</sup>	3.44±0.27 <sup>a</sup>	0.87±0.09 <sup>a</sup>
F3	15.03±0.15 <sup>ab</sup>	2.89±0.17 <sup>ab</sup>	0.97±0.10 <sup>abc</sup>	15.40±0.40 <sup>a</sup>	2.95±0.16 <sup>ab</sup>	0.90±0.12 <sup>a</sup>
F4	14.83±0.29 <sup>ab</sup>	3.27±0.32 <sup>a</sup>	0.75±0.09 <sup>c</sup>	14.83±0.70 <sup>a</sup>	3.34±0.30 <sup>a</sup>	0.71±0.15 <sup>a</sup>
F5	15.50±0.46 <sup>a</sup>	3.38±0.04 <sup>a</sup>	0.98±0.11 <sup>abc</sup>	15.93±0.06 <sup>a</sup>	3.58±0.13 <sup>a</sup>	0.94±0.11 <sup>a</sup>
F6	14.10±0.10 <sup>bc</sup>	3.15±0.29 <sup>ab</sup>	0.79±0.05 <sup>bc</sup>	14.83±0.15 <sup>a</sup>	3.20±0.31 <sup>ab</sup>	0.72±0.06 <sup>a</sup>
F7	14.60±0.52 <sup>abc</sup>	3.17±0.03 <sup>ab</sup>	0.86±0.07 <sup>abc</sup>	15.23±0.55 <sup>a</sup>	3.27±0.05 <sup>a</sup>	0.82±0.07 <sup>a</sup>
F8	14.80±0.26 <sup>ab</sup>	2.93±0.04 <sup>ab</sup>	1.07±0.13 <sup>a</sup>	14.80±0.66 <sup>a</sup>	3.06±0.10 <sup>ab</sup>	0.99±0.11 <sup>a</sup>
Testigo	15.33±0.35 <sup>a</sup>	2.63±0.10 <sup>b</sup>	0.78±0.04 <sup>bc</sup>	15.37±0.93 <sup>a</sup>	2.71±0.44 <sup>b</sup>	0.77±0.23 <sup>a</sup>

Ivalores son el promedio  $\pm$  desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a</sup><sup>b</sup>superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza de las características fisicoquímicas del arándano antes y después del almacenamiento se muestra, en el Anexo 8 tabla 32, 33, 34, 35 y 36 en el que se aprecia diferencia significativas  $P < 0.05$ , por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 11, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos; además desde el punto de vista de evolución de las características fisicoquímicas del arándano antes y después del almacenamiento, las muestras recubiertas con las diferentes formulaciones tienen la misma evolución que las muestras testigo, ya que se puede apreciar que el °Brix incrementa, el pH incrementa y la acidez disminuye ligeramente en todo los tratamientos ya sea en muestras aplicadas con recubrimiento comestible y en las muestras testigo, lo que significa que el recubrimiento comestible no altera de ninguna manera la evolución natural de las características fisicoquímicas del arándano.

#### 5.1.4 Resultados de la evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre el peso de los arándanos durante los días de almacenamiento.

En la tabla 12, se muestra los resultados del análisis del efecto que tiene las formulaciones sobre la pérdida de peso con el cual se puede ver la deshidratación, haciendo una comparación con las muestras testigo. En donde se puede apreciar los resultados del análisis de del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso realizada con un nivel de confianza de 95 %. El resultado total y detallado por día se encuentra en el Anexo 2 tabla 21, a partir del cual se obtuvo resultados finales que se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12 – Resultados de análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso (expresado en porcentaje de pérdida de peso durante los 8 días de almacenamiento)**

Formulación	% de pérdida de peso
Testigo	20.35±2.23 <sup>a</sup>
F7	15.68±2.19 <sup>ab</sup>
F3	15.59±0.59 <sup>ab</sup>
F6	15.12±2.26 <sup>ab</sup>
F5	14.87±1.58 <sup>ab</sup>
F8	14.86±0.65 <sup>ab</sup>
F2	14.25±3.95 <sup>b</sup>
F4	13.81±0.52 <sup>b</sup>
F1	10.86±0.59 <sup>b</sup>

lvalores son el promedio ± desviación estándar de tres observaciones independientes por tratamiento.

<sup>a,b</sup>superíndices con diferentes letras dentro de una columna indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

El análisis de varianza del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso, se muestra en el Anexo 7 tabla 31 donde el valor de P es  $< 0.05$  lo que significa que entre los valores obtenidos como resultado del análisis del efecto sobre la pérdida de peso existe una diferencia estadísticamente significativa. Por lo que se procedió a la comparación de medias por tukey lo cual se muestra en la tabla 12, donde también se puede apreciar que existe diferencias significativas entre la media de los tratamientos, donde se puede apreciar grupos estadísticamente diferentes en donde el primer grupo está conformado por la muestra testigo (sin recubrimiento comestible) que presenta alto porcentaje de pérdida de peso  $20.35\% \pm 2.23\%$ , el segundo grupo por F7(50Q-50M-2.5G), F3(40Q-50M-2.25G), F6(50Q-40M-4.5G), F5(50Q-40M-2.25G) y F8(50Q- 50M-5G) y el tercer grupo conformado por F1(40Q- 40M- 2G), F2(40 Q-40M-4G), F4(40Q-50Q-4.5G), siendo el F1 la formulación que tiene menor porcentaje de pérdida de peso  $10.86\% \pm 1.13\%$  .

## 5.2 Contratación de hipótesis

### 5.2.1 Hipótesis estadística

#### a) Hipótesis estadística (nula y alterna)

##### Características fisicoquímicas del recubrimiento comestible

##### Espesor(mm)

En este caso en los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha:  $0.04 \neq 0.05 \neq 0.04 \neq 0.04 \neq 0.05 \neq 0.05 = 0.04 \neq 0.04$ .

##### Densidad( $g/cm^3$ )

En este caso en los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha:  $1.59 = 1.60 \neq 1.02 \neq 1.25 \neq 0.49 = 0.42 = 0.49 = 0.42$

##### Opacidad

En este caso en los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha:  $7.80 \neq 7.19 \neq 7.96 \neq 7.47 \neq 8.69 = 8.49 \neq 8.26 \neq 8.04$

##### Contenido de humedad (%)

En este caso en los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha:  $13.23 \pm 1.711 \neq 19.17 \pm 1.796 \neq 12.53 \pm 1.40 \neq 17.43 \pm 1.31 \neq 13.23 \pm 1.40 \neq 12.53 \pm 1.28 \neq 11.84 \pm 0.93 \neq 10.66 \pm 1.46$

##### Solubilidad en agua (%)

En este caso en los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha:  $57.66 \neq 56.46 \neq 55.68 \neq 55.62 \neq 55.30 \neq 54.13 = 53.63 = 53.15$

##### Capacidad de retención de agua (%)

En este caso en los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos



Ha: 27.31≠26.16≠25.17≠ 24.29≠ 22.73≠21.92≠ 20.61≠ 19.65

### **Permeabilidad al vapor de agua (%)**

En este caso en dos de los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha: 2.1X  $[[10]]^{(-10)} \neq 1.8X [[10]]^{(-10)} = 1.7X [[10]]^{(-10)} = 1.7X [[10]]^{(-10)} = 1.6X [[10]]^{(-10)} = 1.6X [[10]]^{(-10)} = 1.5X [[10]]^{(-10)} \neq 1.4X [[10]]^{(-10)}$

### **Efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición (% de pudrición)**

En este caso de en uno de los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha: 90±10≠7.33=7.33=7.33=7.33=5.33=4.00=3.33=0

### **Eficacia de las formulaciones sobre la pudrición**

En este caso en tres de los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha: 1.00≠ 0.96≠ 0.96= 0.94= 0.92= 0.92= 0.92= 0.92≠ 0.00

### **Efecto del recubrimiento comestible sobre el peso de los arándanos durante los 8 días de almacenamiento.**

#### **% de pérdida de peso**

En este caso en dos de los tratamientos existe diferencia estadísticamente significativos entre las medias de tratamientos

Ha: 20.35≠ 15.68= 15.59= 15.12= 14.87= 14.86≠ 14.25= 13.81= 10.86

#### **b) Estadístico**

Se utilizó el estadístico de Fisher (F).

#### **c) Nivel de significancia**

El nivel de significancia será de  $p=0.05$ .

#### **d) Región crítica o decisión**

Si  $p>0.05$ : entonces no existe el efecto de los factores en estudio sobre las medias de las variables de respuesta; entonces se acepta la hipótesis nula.



Si  $p < 0.05$ : entonces si existe el efecto de los factores en estudio sobre las medias de las variables de respuesta; entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

### 5.3 Discusión

#### 5.3.1 Características fisicoquímicas del recubrimiento comestible

En la tabla 8 se muestran los resultados de las características fisicoquímicas, en donde se puede apreciar que:

- En el caso del espesor, según lo obtenido, en la tabla 8 existe diferencias significativas sobre todo entre el F5 (50Q-40M- 2.25G) que tiene un valor alto en espesor con  $0.05 \pm 0.003$  mm, a diferencia del F1(40Q- 40M- 2G) que presenta menor espesor  $0.04 \pm 0.006$  mm. Esto se pudiera deberse a diversos factores como al uso de placas Petri de diferente tamaño, el homogenizado de la mezcla, así como también a la proporción de componentes en los diferentes tratamientos. Al respecto Escobar (2020) realizó un estudio sobre la elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón. En donde obtiene resultados de espesor  $0.05 \pm 0.00$  mm en todas las formulaciones; es decir, obtuvo resultados homogéneos, a diferencia de los datos que se obtuvo en este estudio donde los datos difieren de  $0.05 \pm 0.0027$  mm a  $0.04 \pm 0.0027$  mm, ya que en nuestro caso la proporción de mucílago, quitosano y glicerina si influye en el espesor mientras que en el estudio de Escobar (2020), la proporción de partículas de almidón no influye en el espesor razón por la cual la diferencia de resultados obtenidos de Escobar (2020) y el en el presente trabajo de investigación. De igual forma Sandoval et al. (2017) en su estudio de *Síntesis de nanocompositos y su inclusión en recubrimientos comestibles a base de quitosano y mucilago de linaza*, en donde determina el espesor del recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza y recubrimiento comestible a base de quitosano por separado, en donde los resultados de espesor del recubrimiento comestible a base mucílago de linaza fluctúa entre 0.043 a 0.067 mm; en cambio en el recubrimiento comestible a base quitosano el espesor fluctúa entre 0.053 a 0.09 mm, así que se puede notar claramente que el recubrimiento comestible a base de quitosano es el que presento mayor espesor mientras que el recubrimiento comestible a base de mucílago de linaza presento menor espesor, por lo tanto al igual que en el estudio de Sandoval et al. (2017), los

resultados de espesor que obtuvimos en el presente estudio también se debe a la proporción de quitosano ya que todas las formulaciones donde la proporción de quitosano ha sido mayor como en F5(50Q-40M-2.25G), F6(50Q-40M-4.5G), F7(50Q-50M-2.5G) y F8(50Q- 50M-5G), el espesor resultó ser mayor a diferencia de las formulaciones que contienen menor proporción de quitosano como F1(40Q- 40M- 2G), F2(40Q-40M-4G), F3(40Q-50M-2.25G), F4(40Q-50Q-4.5G) los cuales presentaron menor espesor. esto se atribuye a cambios de la estructura del recubrimiento comestible ocasionados por el hinchamiento que provoca el agua en los polímeros insolubles con agua como es el caso del quitosano (Park et al.,1993). Así mismo Domínguez (2016) en su estudio de desarrollo y caracterización de películas biodegradables de quitosano, alcohol polivinílico y mucílago de nopal para conservación de fresa, donde hace un estudio de la interacción de los componentes del recubrimiento comestible mediante microscopia electrónica de barrido y espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier donde las películas realizadas con solo quitosano, se mostró amorfo mientras que películas compuestas a base de quitosano, alcohol polivinílico, mucílago de nopal y glicerol, resultaron ser homogéneas lo que indica que hay buena afinidad entre los componentes esto se debe a los grupos OH, CH y C-C que se forman a la hora de interactuar estos componentes sobre todo cuando interviene el glicerol y el alcohol poli vinílico el cual le otorga cristalinidad y forma que a la hora de mezclarse el quitosano con agua empieza a hincharse debido a su interacción con las moléculas de agua donde los puentes de hidrógeno formado le proporcionan rigidez e hinchamiento razón por lo que se obtuvo diferencia de espesor en aquellos que tienen mayor proporción de quitosano.

Además, Bourtoom (2008) menciona que “cuanto mayor sea el espesor del recubrimiento será mayor la resistencia a la transferencia de masa a través de ella” en este caso será mayor la resistencia a la transferencia de humedad del producto hacia el medio ambiente para evitar la deshidratación, de acuerdo con lo mencionado, se determina que la formulación que presenta mayor espesor es el F5 (50Q-40M- 2.25G); y efectivamente en la tabla 12 donde muestra los resultados de análisis del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso donde se puede apreciar que F5 (50Q-40M- 2.25G) presenta una pérdida de peso de  $14.87 \pm 1.58\%$  valor intermedio a las demás formulaciones, mientras que F1 a pesar de presentar menor espesor la pérdida



de peso con esta formulación fue  $10.86 \pm 0.59\%$  valor inferior a todas las formulaciones incluido las muestras testigo. Este hecho que difiere de alguna manera de la afirmación de Bourtoom (2008), afirmando lo que menciona Carneiro y Vicente (2012) que la inclusión del quitosano extiende la vida de anaquel de frutas y hortalizas en gran manera; pero tiene efectos mínimos o nada contra la pérdida de peso; sin embargo equilibra una característica de los recubrimientos a base de polisacáridos pues estas tienen capacidad de cambiar la atmósfera interna de manera similar a una atmósfera controlada lo que también actúa bien contra la pérdida de peso o deshidratación (Bósquez, 2003). A partir de los resultados y la bibliografía revisada en esta parte del estudio, se define que la mejor formulación en cuanto a espesor es F1 ya que a pesar de tener menor espesor actuó mejor contra la pudrición y la pérdida de peso gracias a la proporción de los componentes que tiene.

- En cuanto a la densidad, en la tabla 8 muestra que existe grupos estadísticamente diferentes, sobre todo entre el primer grupo conformado por F1(40Q- 40M- 2G) y F2 (40Q-50M-4G), los cuales presentan mayor densidad  $1.59 \pm 0.226$  y  $1.60 \pm 0.344$   $g/cm^3$  respectivamente, y el cuarto grupo conformado por F5, F6, F7 y F8 los cuales presentan menor densidad.  $0.49 \pm 0.023$   $g/cm^3$ ,  $0.42 \pm 0.016$   $g/cm^3$ ,  $0.49 \pm 0.056$   $g/cm^3$  y  $0.42 \pm 0.046$   $g/cm^3$  respectivamente. Al respecto Ayquipa (2018) en su trabajo de investigación de caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna (*opuntia spp*) y almidón de cáscara de papa (*solanum tuberosum*). Obtuvo resultados de densidad de 1.03 a 1.70  $g/cm^3$ , cercanos a los valores que se obtuvo en el presente trabajo de investigación; sin embargo, nuestros datos presentaron valores de densidad mucho menores como 0.42  $g/cm^3$ (F8), Esto también indica la influencia de la glicerina ya que se utilizó mayor cantidad de glicerina 5 ml, mientras que las proporciones de glicerina que utilizó Ayquipa (2018), fue menor 2 ml.

Además, Calero y Yunga (2020) mencionan que la glicerina influye directamente en el incremento gradual de la densidad del recubrimiento comestible, ya que la glicerina aumenta la capacidad hidrofílica de los recubrimientos. Por lo tanto, las fuerzas de cohesión de las cadenas del polímero se debilitan aumentando la movilidad de las mismas; sin embargo, el

hecho de que disminuya la cohesión de los polímeros hace que incremente la permeabilidad a los gases y al vapor de agua de los recubrimientos, por lo que a mayor cantidad de glicerina incorporada la densidad será menor y viceversa. Teniendo en cuenta lo mencionado se puede apreciar en la tabla que efectivamente la adición de la glicerina si influye en la densidad ya que el F8 (50Q- 50M-5G) que contiene 5ml de glicerina muy superior al de las otras formulaciones, presenta menor densidad  $0.42 \text{ g/cm}^3$  por lo tanto menor cohesión y adherencia al fruto; por otra parte el F2 (40 Q-40M-4G) y F1 (40Q-40M- 2G), entre los cuales se aprecia que no hay diferencia significativa, es decir, son casi iguales pues a estas se añadió menor cantidad de glicerina 2 y 4 ml respectivamente dando como resultado densidad mayor  $1.60$  y  $1.59 \text{ g/cm}^3$ . Así que se determina que las mejores formulaciones en cuanto a la densidad son el F2(40 Q-40M-4G) y F1 (40Q- 40M- 2G) ya que a una mayor densidad mayor adherencia del recubrimiento en el fruto por lo tanto mejor efecto contra la pudrición que según la tabla 9 donde se muestra los resultados del efecto que tiene el recubrimiento comestible contra la pudrición efectivamente F1 presenta mejores resultados contra la pudrición con  $0\pm 00\%$  de incidencia de pudrición hasta el día 8 de almacenamiento. Además, el hecho de que cuando se incrementa la adición de glicerina influye la capacidad hidrofilia del recubrimiento comestible que cuanto menor sea la adición de glicerina será mayor la densidad por lo tanto mayor cohesión así reducir el PVA y así evitar la deshidratación esta afirmación se vio reflejada en la tabla 12 donde se muestra los resultados del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso, donde F1 y F2 presenta menores porcentajes de pérdida de peso en los 8 días de almacenamiento  $10.86\% \pm 0.59\%$  y  $14.25\% \pm 3.95\%$  respectivamente. A partir de los resultados y la bibliografía revisada en esta parte del estudio se define que la formulación F1 es el que presentó mejores resultados en cuanto a densidad es alta lo que ayuda a una adherencia mejor al fruto y así disminuir la pérdida de peso y contrarrestar la pudrición.

- En cuanto a la opacidad, en la tabla 8 muestra que existe diferencias estadísticamente significativas, sobre todo entre F5 (50 Q- 40M- 2.25G) que presenta mayor opacidad  $8.69 \pm 0.042$  y el F2 (40Q- 40M-4G) presenta menor opacidad de  $7.19 \pm 0.014$ . Al respecto, el estudio de Calero y Yunga (2020) muestra que sus resultados de opacidad del recubrimiento comestible a base

de almidón modificado oscilan de 4.47 a 6.55, datos inferiores de opacidad en comparación a los datos que se obtuvo en el presente estudio esta diferencia de resultados debido a que los componentes de los recubrimientos son diferentes por lo tanto influye en el grado opacidad.

Además, Falguera et al. (2011) menciona que las propiedades de barrera contra la luz están relacionadas con el color y la opacidad. En frutas y hortalizas el brillo es una característica agradable, por lo que se busca un equilibrio entre las características sensoriales y nutricionales. La vitamina E al igual que otras vitaminas liposolubles, aumentan la transparencia de los recubrimientos, es decir, si el recubrimiento está elaborado a partir de lípidos le da mejor apariencia, le otorga brillo, (Zhang et al., 2007). Tomando en cuenta lo mencionado, en el presente trabajo de investigación si bien es cierto el quitosano y mucílago no son lípidos, el glicerol si forma parte de la estructura de los lípidos (Lafuente, 2017); por lo que se incorporó para que el recubrimiento comestible tenga mayor transparencia y menor opacidad que otorgue brillo al arándano. Esta afirmación se vio reflejada en las muestras recubiertas con toda la formulación propuesta en el presente estudio, tuvieron resultados favorables con respecto al color ya que resultaron más atractivas por su brillo a diferencia de la muestra testigo que fue más opaca.

- En cuanto a porcentaje de contenido de humedad, en la tabla 8 se muestra que existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos, sobre todo entre F2 (40Q-50M y 4G) el que presenta mayor
- porcentaje de humedad  $19.17 \pm 1.796\%$ . y F5 (50Q-40M-2.25G), es el que presenta menor porcentaje de humedad  $10.66 \pm 1.40\%$ . Al respecto Alfonso (2011) realizó un estudio de caracterización de películas de quitosano y la afectación de las propiedades por aplicación de aceites esenciales, en donde obtuvo resultados de 21% de contenido de humedad con la formulación de 1% de quitosano, mientras que con 3% de quitosano obtuvo 19% de contenido de humedad, en general, el contenido de humedad disminuyó a medida que se iba incorporando el quitosano. Este comportamiento es similar a lo que ocurrió en el presente estudio donde, F5 que contiene 50ml, mayor cantidad de solución de quitosano, presentó menor porcentaje de contenido de humedad, mientras que el F2 que contiene 40 ml, menor cantidad de solución de quitosano, presentó alto porcentaje de humedad. Afirmando lo que se mencionó anteriormente que a medida que se va incrementando el quitosano, disminuye



el porcentaje de humedad, esto se atribuye a lo compacta que se va volviendo la estructura del recubrimiento comestible con mayor concentración de quitosano, debido a mayor concentración de quitosano los grupos funcionales de quitosano, disminuye la disponibilidad de grupos hidroxilo (Park et al., 2004).

Además, Calero y Yunga (2020) mencionan que el contenido de humedad es la propiedad que determina el crecimiento microbiano y la estabilidad, además, la tasa de absorción de humedad es importante en comparación con la humedad intermedia del alimento y cómo influye en el secado y tiempo de almacenamiento del producto. En este caso para determinar la formulación ideal en cuanto a contenido de humedad será el que este en el intermedio ya que si el contenido de humedad es alto es susceptible al crecimiento microbiano y si es muy bajo el contenido de humedad a ciertas temperaturas se puede descomponer (Calero y Yunga, 2020); por lo tanto, se determina que las mejores formulaciones en cuanto a contenido de humedad son los valores intermedios el F1 (40Q- 40M- 2G) que contiene  $13.23 \pm 1.711\%$ . Esta afirmación se ve reflejada en la tabla 9 donde se muestra los resultados del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pudrición donde efectivamente F1 (40Q- 40M- 2G) presenta  $0 \pm 00\%$  de pudrición hasta el día 8 de almacenamiento debido a que presenta un valor intermedio en cuanto a contenido humedad por lo que el recubrimiento comestible en esta formulación no se descompone porque no es muy bajo su contenido de humedad tampoco es muy alto para que los microorganismos se desarrollen y generen pudrición.

- Con respecto a la solubilidad en agua, en la tabla 8 se muestra que existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos, donde los valores de solubilidad obtenidos oscila entre  $53.15 \pm 0.54\%$  a  $57.66 \pm 0.53\%$ , sobre todo entre el F2(40Q-50M-4G) que presenta el mayor valor solubilidad en agua y F5(50Q-40M-2.25G) que presenta menor porcentaje de solubilidad en agua, al respecto Vasco et al. (2016) realizaron su estudio, *Uso de recubrimientos comestibles de alginato para preservar la calidad de zanahorias mínimamente procesadas en donde* obtuvo resultados de solubilidad de las películas un máximo en 40% con la mayor concentración de alginato y calcio, lo cual es menor al porcentaje obtenido en el presente estudio, a pesar que ambos recubrimientos comestibles están desarrollados a



partir de hidrocoloides; esta diferencia se debe a que los hidrocoloides, poseen aplicaciones limitadas, relacionando este hecho con su gran naturaleza hidrofílica: sin embargo, en el estudio Vasco et al. (2016) incluyen el calcio para reticular el alginato, lo hace que el recubrimiento sea más insoluble que los de otros hidrocoloides.

Además, Calero y Yunga (2020) mencionan que la solubilidad en agua es considerada una propiedad física muy substancial que, si el recubrimiento comestible se descompone fácilmente, el film posee mayor solubilidad y tiene menor resistencia al agua, es decir, son más susceptibles a degradarse. Tomando en cuenta lo mencionado en la tabla se puede apreciar que el F2(40Q-50M-4G) presenta mayor porcentaje de solubilidad en agua indicando que este es propenso a degradarse más rápido en cambio F5(50Q-40M-2.25G) que presenta menor porcentaje de solubilidad en agua indicando que es mayor su resistencia y durabilidad para así evitar la degradación; efectivamente los resultados de las formulaciones frente a la pudrición que se muestra en la tabla 9 donde se puede apreciar que si efectivamente F5 con  $3.33 \pm 2.3\%$  presenta menor porcentaje de incidencia donde además las primeras bayas con pudrición aparecieron en el día 8 recién, mientras que F2 que presenta  $7.33 \pm 1.15\%$  donde la las primeras bayas con pudrición que aparecieron fue un día antes el día 7 de almacenamiento lo que explica que la formulación F2 se degradó antes que el F5. Sin embargo, a partir de los resultados y la bibliografía revisada en esta parte del estudio se define que la mejor formulación en cuanto a solubilidad en agua es F1 que presenta un valor intermedio lo que hace que no sea tan degradable.

- En cuanto a capacidad de retención de agua, en la tabla 8 se muestra que existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos, donde el valor de capacidad de retención de agua obtenidos oscila entre  $19.65 \pm 0.48\%$  a  $27.31 \pm 0.40\%$ , siendo el F2 (40Q- 50M-4G) la formulación que presenta mayor capacidad de retención de agua  $27.31 \pm 0.40\%$ , seguido a esta la formulación es F1(40Q- 40M- 2G) que también presenta mayor capacidad de retención de agua  $26.16 \pm 0.24\%$  mientras que el F5(50Q- 40M-2.25G) es el que presenta menor capacidad de retención de agua  $19.65 \pm 0.48\%$ . Al respecto Anchundia et al. (2016) realizó un estudio de caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano, donde obtuvo resultados



de capacidad de retención de agua de 4.83 %, lo que indica que fue mucho menor a comparación de lo que se obtuvo en el presente estudio, esto se atribuye a la diferencia de componentes en el recubrimiento donde el almidón que forma la mayor parte de la harina de plátano a diferencia de otros almidones de otras fuentes, tiene menor capacidad de interactuar con el agua de solvatación (Hernández, 2016); mientras que en el presente estudio la inclusión del mucílago ha sido beneficioso ya que este polisacárido tiene la capacidad de retener el agua y mantenerlo por mucho tiempo lo que ayudo a incrementar la capacidad de retención de agua por lo tanto, su buena formación como recubrimiento comestible (Quintana, 2016).

Además, Hernández (2016) menciona que esta propiedad de capacidad de retención de agua es de vital importancia en la elaboración de recubrimientos comestibles puesto que indica la capacidad de interacción del polímero con el agua de solvatación y es una medida indirecta de consistencia de la dispersión formada. Cuanto mayor sea la capacidad de retención de agua, pues esta mostrará la alta capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación. Así que tomando en cuenta lo mencionado, el F5(50Q- 40M- 2.25G) tiene menor capacidad de interacción con el agua de solvatación por lo tanto menor consistencia y deficiente en la formación del recubrimiento mientras que F2 (40Q- 50M-4G) y F1(40Q- 40M- 2G), son las mejores formulaciones en cuanto a capacidad de retención de agua pues los polímeros de estas tienen mayor mejor interacción con el agua de solvatación dando como resultado mejor consistencia y formación del recubrimiento comestible. Esta afirmación se ve reflejada en los resultados que se obtuvo frente a la pudrición y la pérdida de peso que se muestra en las tablas 9 y 12 respectivamente en donde F1 y F2 ser efectivas contra la pudrición y pérdida de peso. A partir de los resultados y la revisión de la bibliografía en esta parte del estudio, se define que F1 es la mejor formulación en cuanto a CRA ya que presenta un valor alto lo que refleja su buena formación como recubrimiento comestible y así actuar mejor contra la pérdida de peso y la pudrición.

- En cuanto a permeabilidad al vapor de agua, en la tabla 8 se muestra que existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos, donde los valores de permeabilidad al vapor de agua obtenidos oscilan entre  $2.1 \times 10^{-10} \pm 3.3 \times 10^{-11} \text{ g/m.s.pa}$  a  $1.4 \times 10^{-10} \pm 8.9 \times 10^{-12} \text{ g/m.s.pa}$  siendo el F2 (40Q-50M-4G) la formulación que presentan el mayor valor de



permeabilidad al vapor de agua, mientras que el F5(50Q- 40M-2.25G) presenta menor permeabilidad al vapor de agua. Al respecto Salinas et al. (2015) en su estudio de Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de Nopal como alternativa para la aplicación en frutos, obtiene la formulación que presentó mayor permeabilidad al vapor de agua fueron las elaboradas con 1.5% de grenetina con un valor de  $1.758 \times 10^{-10}$  (g/m. s. pa), en contraste con las elaboradas con 0.5% mucílago de nopal, 0.5% cera de abeja y 0.5% grenetina la cuales presentaron la menor permeabilidad al vapor de agua  $7.578 \times 10^{-11}$  (g/m. s. pa) ya que se adicionó un lípido que es la cera de abeja. En cambio, en el presente estudio nuestros resultados de PVA son mayores a los que obtuvo Salinas et al. (2015). Esta diferencia de resultados obtenidos se debe a que, al añadir lípidos hidrofóbicos como la cera de abeja, se mejora la barrera al vapor de agua de las películas (Pérez y Baez, 2008), en cambio en el presente estudio se incluyó el glicerol, que forma parte de los lípidos, tiene una característica higroscópica o hidrofílica, por lo tanto, aumenta la permeabilidad al vapor agua (Ginez y Godoy, 2018).

Además, Trejo et al. (2001) menciona que la permeabilidad al vapor de agua depende del componente hidrofóbico del recubrimiento comestible, ya que, a través del movimiento del vapor de agua en los polímeros, controla la transferencia del vapor de agua desde la fruta hacia el medio ambiente, lo que se traduce en la deshidratación, por lo que se busca que sea lo más lento posible. Así que tomando en cuenta lo mencionado, el F5 es la mejor formulación en cuanto a permeabilidad al vapor de agua ya que la permeabilidad al vapor de agua es menor por lo tanto lenta permeabilidad al vapor de agua para evitar la deshidratación, mientras que frutos recubiertos con el F2 serían propensos a la deshidratación ya que presenta mayor permeabilidad al vapor de agua; Sin embargo frente a esta afirmación los resultados de pérdida de peso que se muestran en la tabla 12 muestran que tanto F5 y F2 tuvieron resultados favorables contra la pérdida de peso e incluso el F 2 es el que presenta menor porcentaje pérdida de peso  $14.25 \pm 3.95\%$  frente a F5 con  $14.87 \pm 1.58\%$ , este resultado se atribuye a la proporción de los componentes de estas formulaciones, donde F5 contiene mayor cantidad de quitosano que el F2 lo que hace que F5 sea más hidrofílico y además se sabe que el quitosano tiene efectos mínimos contra la pérdida de peso (Carneiro y Vicente, 2012). A partir de los resultados obtenidos y la bibliografía revisada



en esta parte del estudio se define que la mejor formulación en cuanto a PVA es F1 ya que tuvo resultados intermedios lo que hace que su permeabilidad al vapor de agua no sea acelerada retardando así la deshidratación.

### 5.3.2 Efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición

En la tabla 8 muestra que existe grupos estadísticamente diferentes, donde la muestra testigo (sin recubrimiento comestible) es el primer grupo y al segundo grupo corresponden todas las muestras recubiertas con las distintas formulaciones propuestas en este estudio tales como el F1(40Q- 40M- 2G), F2(40 Q-40M-4G), F3(40Q-50M-2.25G), F4(40Q-50Q-4.5G), F5(50Q-40M-2.25G), F6(50Q-40M-4.5G), F7(50Q-50M-2.5G) y F8(50Q- 50M-5G). Donde el F1(40Q- 40M- 2G) es la formulación que presento  $0\% \pm 0.00\%$  de pudrición hasta el día 8, lo que indica que es la formulación más efectiva contra la pudrición, las demás formulaciones presentaron porcentajes de pudrición en un rango de  $3.33\% \pm 2.04\%$  a  $7.33\% \pm 2.04\%$ , comparado con las muestras testigo que presento  $90\% \pm 2.04\%$  de pudrición. En donde claramente se puede evidenciar que el recubrimiento comestible si es efectivo contra la pudrición. Al respecto Ginez y Godoy (2018) en su estudio de Formulación de un recubrimiento comestible preservante de arándano empleando mucílago extraído de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), obtuvieron resultados poco efectivos con respecto a la pudrición ya que las formulaciones se reportaron pudriciones desde el segundo día y cuarto día respectivamente, reportándose al final de 6 días de almacenamiento a temperatura ambiente en un rango 10 a 90 % de pudriciones, por lo que se concluye que las formulaciones presentadas en el presente trabajo de investigación resultaron más efectivas que en el de Ginez y Godoy (2018), esta diferencia se debe a la composición de las formulaciones ya que en nuestro estudio las formulaciones están compuestas de quitosano, mucílago de penca de tuna y glicerol; mientras que en el estudio de Ginez y Godoy (2018) las formulaciones están compuestas de mucílago de penca de tuna, glicerol, polietilenglicol y aceite de sachá inchi, confirmando así que el quitosano actúa como antifúngico y antimicrobiano (Tharanathan y Kittur, 2003), debido a su peso molecular del quitosano, los oligómeros del quitosano penetran en las células microbianas donde las moléculas del quitosano son capaces de atravesar la pared celular de las bacterias e impiden la síntesis de ARN y proteínas llegando hasta la membrana plasmática, deteniendo el crecimiento celular además actúa directamente contra el crecimiento fúngico



activando defensas en el tejido del huésped e incluso tiene la capacidad de formar una barrera externa para quelar metales y así provocar la supresión de nutrientes esenciales para crecimiento microbiano (El Gaouth et al., 2002), razón por lo cual el quitosano es considerado como anti fúngico y antimicrobiano.

Además, es importante analizar lo que se menciona en los resultados de evaluación de pudrición sobre los días en los que se evidenció las primeras bayas con pudrición durante el almacenamiento en las muestras testigo (sin recubrimiento comestible) fue en el segundo día de almacenamiento, en las formulaciones F2(40 Q-40M-4G), F4(40Q-50Q-4.5G), F6(50Q-40M-4.5G) y F8 (50Q- 50M-5G) apareció en el día 7, en las formulaciones F3(40Q-50M-2.25G), F5(50Q-40M-2.25G) y F7 (50Q-50M-2.5G) en el día 8 y por último el F1 (40Q- 40M-2G) se mantuvo sin pudrición hasta el día 8 lo que significa que hubo factores como la proporción de quitosano, mucílago y glicerol influyeron en este resultado y no solo la proporción, sino también las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible, en el caso de la influencia de la proporción, en las formulaciones donde apareció las primeras bayas con pudrición en el día 7, son aquellas a las que se añadió mayor proporción de glicerina (5%) lo que aumenta su carácter hidrofílico (Calero y Yunga, 2020), lo que incrementa además el porcentaje de humedad de estas formulaciones que se muestra en la tabla 8 y este incremento de % de humedad influye en el secado del producto por lo tanto, son más susceptibles al crecimiento microbiano y por ende a la pudrición; en cambio en las formulaciones donde se añadió menor cantidad de glicerina (2.5%) las primeras bayas con pudrición que aparecieron fue en el día 8 y en específico en F1 no hubo incidencia de pudrición, esto debido a que esta formulación presenta mejores propiedades fisicoquímicas relacionadas cómo su densidad es alta lo que hace que se adhiera mejor al fruto, % de contenido humedad que es intermedio que permite que no se descomponga tampoco es muy alta lo que es una barrera para el crecimiento microbiano, su solubilidad en agua es intermedia lo que hace que no sea tan degradable, en cuanto a su CRA es alta por lo que su formación y consistencia como recubrimiento comestible fue buena.

### **5.3.3 Efecto del recubrimiento comestibles sobre las características fisicoquímicas del arándano.**

En la tabla 11 muestra que existe diferencias estadísticamente significativas, donde las muestras recubiertas con las diferentes formulaciones tienen la misma



evolución que las muestras testigo, ya que se puede apreciar las características fisicoquímicas y su respectivo ciclo de incremento °Brix, pH y disminución ligera de la acidez en todo los tratamientos ya sean muestras aplicadas con recubrimiento comestible y las muestras testigo, lo que significa que el recubrimiento comestible no altera de ninguna manera el ciclo natural de las características fisicoquímicas del arándano. Además, Gonzales y Quispe (2019) en su estudio de “Efecto del recubrimiento comestible a base de pectina y quitosano en la vida útil de arándanos”, determinaron las características fisicoquímicas del arándano recubierto antes y después de almacenamiento de 15 días donde las características fisicoquímicas del arándano antes del almacenamiento el °Brix oscila entre 13.9 a 14.5, acidez de 0.92 a 0.99, pH entre 3.04 a 3.07 y las características fisicoquímicas después del almacenamiento donde °Brix oscila de entre 14.6 a 14.7, acidez de 0.92 a 0.85, pH entre 3.10 a 3.12. Confirmando lo que mencionamos que durante el almacenamiento el °Brix incrementa, el pH incrementa y la acidez disminuye ligeramente en ambos estudios lo que indica que los recubrimientos comestibles no alteran el ciclo natural de madurez del arándano.

También Segura (2019) en su estudio de aplicación de recubrimiento comestible a base de nanoemulsión de aceite esencial de canela y alginato de sodio en la calidad postcosecha del arándano azul, obtuvo resultados similares donde al final de los 15 días de almacenamiento, obtuvo resultados en los que se observó un aumento lento en el °Brix en un rango de 14 a 15.3 °Brix en los tratamientos recubiertos, mientras que en el tratamiento testigo de 14.6 a 15.9, de la misma forma la acidez disminuyó ligeramente hasta presentar un valor mínimo de 0.6% en cada uno de los tratamientos recubiertos, y el pH también incremento ligeramente de 4.6 a 4.8. Afirmando nuevamente que los recubrimientos comestibles no alteran el ciclo natural de madurez del arándano tal como sucedió también en el presente estudio.

#### **5.3.4 Efecto del recubrimiento comestible sobre el peso de los arándanos durante los 8 días de almacenamiento.**

En la tabla 12 se muestra el análisis estadístico sobre la pérdida de peso durante los 8 días de almacenamiento en donde se puede apreciar que existe grupos estadísticamente diferentes, el primer grupo corresponde al tratamiento testigo (sin recubrimiento) el cual presenta mayor pérdida de peso  $20.35 \pm 2.23\%$  y el último grupo por F1(40Q- 40M- 2G), F2(40 Q-40M-4G), F4(40Q-50Q-4.5G). Al respecto Ginez y Godoy (2018) en su estudio de "Formulación de un recubrimiento

comestible preservante de arándano empleando mucílago extraído de la penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), obtuvieron resultados efectivos con respecto a la pérdida de peso desde el punto de vista de los días en el que se registró pérdida de peso ya que las formulaciones reportaron pérdida de peso desde el tercer día de los 6 días de almacenamiento; mientras que en el presente estudio la pérdida de peso se registró desde el segundo día de almacenamiento y desde el punto de vista general de los días de almacenamiento nuestro estudio presentó mejores resultados ya que se registró pérdida de peso en un rango de  $10.86 \pm 1.13\%$  a  $15.68 \pm 1.13\%$ ; mientras que en el estudio de Ginez y Godoy (2018) se registró de 7 a 60 % de pérdida de peso. Esto debe a la composición de las formulaciones, ya que en nuestro estudio las formulaciones están compuestas de quitosano, mucílago de penca de tuna y glicerol; mientras que en el estudio de Ginez y Godoy (2018), las formulaciones están compuestas de mucílago de penca de tuna, glicerol, polietilenglicol y aceite de sacha inchi, como se puede ver Ginez y Godoy (2018) agregaron polietilenglicol componente surfactante y emulsificante, así que mientras más plastificantes y surfactantes haya en la composición del recubrimiento la hidrofiliidad incrementa por lo tanto mayor la deshidratación (Ruiz y Guerrero, 2009).

También Gonzales y Quispe (2019) realizaron un estudio sobre recubrimientos comestible a base de quitosano y pectina en la vida útil de arándano, donde al final de 15 días de almacenamiento a 4 °C, obtuvo resultados % de pérdida de peso en un rango de 5.44 a 8.12 % de pérdida de peso, valores inferiores a lo que se obtuvo en el presente estudio, esto debido a la diferencia de las condiciones de almacenamiento, ya que Gonzales y Quispe (2019) aparte de recubrirlos con el recubrimiento comestible, las muestras los almacenó a una temperatura de refrigeración de 4 °C, en este caso intervino otro parámetro de conservación de la vida útil del arándano, ya que la temperatura actúa directamente con el metabolismo de la fruta disminuyendo la tasa de respiración, ya que a mayor temperatura, la tasa de respiración es alta, por lo tanto la fruta libera mayor cantidad de agua hacia el medio ambiente, reflejándose en la deshidratación, por lo tanto una temperatura de refrigeración, ayudará a que la tasa de respiración sea baja por lo tanto disminuirá la deshidratación (Undurraga y Vargas, 2013); en cambio en el presente estudio solo se recubrió y se almacenó a temperatura ambiente por lo tanto la deshidratación fue mayor a lo que obtuvo (Gonzales y Quispe, 2019).



Además, F1 es la formulación que presenta  $10.86 \pm 1.13\%$  de pérdida de peso después de los 8 días de almacenamiento, lo que indica que es la formulación que mejor actuó contra la pérdida de peso; sin embargo no hay mucha la diferencia con la acción de las demás formulaciones como el F4(40Q- 40M- 2G), F2(40 Q-40M-4G), F8(50Q- 50M-5G), F5(50Q-40M-2.25G),F6), F6(50Q-40M-4.5G), F3(40Q-50M-2.25G), y F7(50Q-50M-2.5G) que presentaron pérdida de peso de  $13.81 \pm 1.13\%$  a  $15.68 \pm 1.13\%$  de pérdida de peso, incluso las muestras testigo muestran  $20.35 \pm 1.13\%$  de pérdida de peso; así que se puede apreciar que todas la formulaciones muestran valores cercanos a los de las muestras testigo pero mejores que esta, lo que indica que el recubrimiento comestible a base de quitosano y mucílago de penca de tuna tiene un efecto intermedio contra la deshidratación lo que se refleja mediante la pérdida de peso. Esto se debe a la proporción de quitosano, mucílago y glicerol ya que la como menciona Pastor (2010), el quitosano y mucílago ambos son polisacáridos que, debido a su hidrofiliidad, la película de polisacárido tiene buenas propiedades de barrera a los gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ) en determinadas condiciones, pero debido a su hidrofiliidad también, su función como barrera para evitar la pérdida de agua es muy pobre sobre todo de quitosano (Ruiz y Guerrero, 2009); sin embargo, a esta desventaja equilibra una característica de los recubrimientos a base de polisacáridos como el mucílago pues estas tienen capacidad de cambiar la atmosfera interna de manera similar a una atmosfera controlada lo que también actúa bien contra la pérdida de peso o deshidratación (Bosquez, 2003). Por otra parte el hecho de que las formulación F1, F2 y F4 hayan presentado mejores resultados frente a la pérdida de peso se debe también a sus propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible porque a pesar que estas presentaron menor espesor actuaron mejor contra la pérdida de peso, en cuanto a las densidades de estas formulaciones fueron altas lo que facilitó la cohesión y adherencia al fruto reduciendo lo cual y la capacidad de retención de agua fue alta en estas formulaciones lo que ayudó a su buena consistencia y formación como recubrimiento comestible todo esto le otorgo la capacidad de contrarrestar mejor la pérdida de peso.

Y con respecto a los resultados que se observan en las tablas 11 y 12, la relación de pérdida de peso y la acidez, en donde la acidez durante los días de almacenamiento disminuye, pero no tan notoriamente; mientras que la pérdida de peso si es notoria pues oscila entre  $10.86\%$  a  $20.35\%$ , esto se puede atribuir a factores como el número de días de almacenamiento y la temperatura de



almacenamiento; al respecto Núñez et al. (2008) en su estudio en arándanos sometidos a periodos de almacenamiento y temperaturas sometieron muestras de arándano sin ningún tipo de recubrimiento comestible a diferentes temperaturas de 1, 5 y 32 °C por 12, 24, 36 y 48 horas en donde durante las 48 horas (2 días) a temperaturas de 1°C la pérdida de peso fue de 0.3%, a 5 °C la pérdida de peso fue de un promedio de 6.8% y a 32 °C el promedio de pérdida de peso fue de 18.5 %. Este estudio demuestra que la temperatura de almacenamiento es factor importante que interviene en la aceleración de pérdida de peso de los frutos ya que a mayor temperatura la tasa de respiración del fruto incrementa por lo tanto la pérdida de humedad es mayor (Undurraga y Vargas, 2013). Por lo tanto, se puede explicar que en el presente estudio la temperatura de almacenamiento fue a temperatura ambiente promedio de 18 °C por 8 días, donde el proceso de pérdida de peso fue considerable pero el recubrimiento comestible ayudó a disminuir la pérdida de peso en comparación con el estudio que realizó Núñez et al. (2008); Sin embargo, la cuestión es el cambio de acidez que en el presente estudio no disminuyó de manera considerable como la pérdida de peso esto se puede atribuir a que los días de almacenamiento fueron solo 8 días así que la disminución de la acidez no debería ser mucho como demuestran algunos estudios como el de Godoy (2004), quien realizó un estudio de conservación de arándanos donde evaluó los cambios de acidez durante el almacenamiento donde al inicio fue de 1.06 y a los 10 días de almacenamiento 1.02. así que también, se puede apreciar que la disminución de la acidez no fue mucho, esto se puede atribuir a que, a pesar de la pérdida de peso, este compensado por el metabolismo del arándano durante el almacenamiento por eso disminuye de manera gradual (Godoy, 2004).

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se determinó, que la mejor Formulación es de 40 ml de solución de quitosano, 40 ml de solución de mucílago y 2 ml de glicerol, que corresponden a la formulación F1, que es el que resultó tener mejores efectos en la prolongación de la vida útil del arándano.
- Se determinó las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible obtenido a partir de mucílago de penca de tuna con quitosano, donde se vió que F1(40Q- 40M- 2G), presentó mejores propiedades fisicoquímicas; en cambio F6(50Q-40M-4.5G) es el que resultó ser un poco deficiente en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, esto se vio reflejada en los efectos que tuvieron estas formulaciones sobre la pudrición y pérdida de peso.
- La evolución de la pudrición en las muestras recubiertas con las formulaciones se empezó a manifestar a partir del día 7 y 8 de almacenamiento, con F1 (40Q – 40M – 2G) no se manifestó pudrición hasta el día 8 siendo la mejor; mientras que en el tratamiento testigo la pudrición se manifestó a partir del día 2, demostrando así que el recubrimiento comestible propuesto tiene efectos fungicida contra los hongos y disminuyen la pudrición causada por este. Además, las formulaciones propuestas no alteraron ciclo natural de las características fisicoquímicas del arándano y evita la pérdida de peso excesiva durante el almacenamiento donde las formulaciones que resultaron tener mejores efectos contra la pérdida de peso fueron F1, F2 y F4.

#### 6.2 Recomendaciones

- Investigar el tipo de envase adecuado, para arándanos recubiertos con recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano.
- Determinar el tipo de almacenamiento adecuado para arándanos recubiertos con recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano ya sea el lugar, humedad y la temperatura de almacenamiento.
- Determinar los efectos del recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano en el arándano si se almacena en temperatura de refrigeración o congelación.
- Realizar un estudio en el que el recubrimiento comestible a base de mucílago extraído de penca de tuna con quitosano tenga un lípido en su componente y ver cómo influye en el arándano.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABANTO G.** *Aplicación de dos recubrimientos comestibles quitosano y cera de abeja para determinar el mejor efecto en la prolongación de la vida útil del Arándano.* Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. 2018.

**ABRAJÁN, V.** *Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible.* Tesis doctoral. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. 2008.

**ACEVEDO, A. SALVIA, M. ROJAS, Y BELLOSO, M.** *Películas comestibles de nanoemulsiones cargadas de aceites esenciales.* Caracterización fisicoquímica y propiedades antimicrobianas. Hidrocoloides alimentarios. México. 2015.

**ADEX.** *Reporte de exportaciones.* Ficha N°7. San Borja - Perú. 2013.

**AIDER, M.** *Aplicación de quitosano para la producción de películas de base biológica activa y su potencial en la industria alimentaria.* LWT. Ciencia y tecnología de alimentos. 2010 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.021>

**ALCALDE, C.** *Descripción de la cosecha y poscosecha de 4 variedades de vaccinium sp en viru, La libertad.* Tesis. Universidad Nacional de Trujillo. Perú. 2018.

**ALFONSO, C.** *Caracterización de películas comestibles de quitosano y la afectación de aceites esenciales.* Tesis. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2011.

**ALMEIDA, A.** *Estudio de la conservación de la papaya (Carica papaya L.) asociado a la aplicación de películas comestibles.* Revista Venezolana de ciencia y Tecnología de Alimentos. Venezuela. 2011.

**ANCHUNDIA, K., SANTACRUZ, S. Y COLOMA, J.** *Caracterización física de películas comestibles a base de cascara de plátano.* Universidad Laica de Eloy y Alfaro de Manabí. Ecuador. 2016.



**AOAC.** *Official methods of analysis of AOAC International*, Association of official analytical chemist l. 17a ed. 1245 pg. Galthersburg. Maryland, Estados Unidos. 2000.

**ARTIGAS, J. CAPILLA, P. Y PUFOL J.** *Tecnología de color*. Universidad de valencia, Edit.Maite simon.Valencia 2002. ISBN: 8437054362

**ASPA** (Asociación de promoción Agraria Perú). *El cultivo del Arándano*. Boletín Mensual de la Asociación de Proción Agraria. Perú. 2003.

**AYQUIPA E.** *caracterización física de películas comestibles obtenidas de mucílago de cáscara de tuna (opuntia spp) y almidón de cáscara de papa (solanum tuberosum)*. Tesis. Abancay. 2018.

**BEAUDRY, R.** *Características de calidad del arándano y cómo se pueden optimizar*. Informe anual de la Sociedad de Horticultura del Estado de Michigan. Estados Unidos. 1992.

**BOURTOOM, T.** *Recubrimientos de películas comestibles: características y propiedades*. Revista internacional de investigación de alimentos. España. 2008.

**BÓSQUEZ E.** *Efecto de plastificantes y calcio en la permeabilidad al vapor de agua de películas a base de goma de mezquite y cera de candelilla*. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2003. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62040203>.

**BLUEBERRIES.** *Novedades en el uso de anhídrido sulfuroso para el control de pudrición gris en arándanos*. Revista de investigación Alimentaria. Chile. 2017.

**CALERO, M. y YUNGA, A.** *Diseño de un recubrimiento comestible a base de almidón modificado de fruta pan*. Tesis. Ecuador. 2020.

**CARNEIRO C. y VICENTE M.** *Caracterización física de un alginato/lisozima Recubrimiento de nanolaminado y su evaluación en 'Coalho'Vida útil del queso*. Tecnología de bioprocesos. Nueva York. 2012.



**CRUAÑES, M. y LOCASO, D.** *Quitosano: Antimicrobiano biodegradable en postcosecha de arándanos (Vaccinium myrtillus L.)*. Revista Iberoamericana de tecnología Postcosecha. Vol. 12. Pg.63. México. 2011.

**CUERO, R.** *Acción antimicrobiana del quitosano exógeno. En: quitina y quitinasas*, Ed. Jollés. Tesis Doctoral. Chile. 2009.

**CHA, D. Y CHINNAN, M.** *Envases antimicrobianos a base de biopolímeros: una revisión. Revisiones críticas en ciencia de los alimentos y nutrición*. Estados Unidos. 2004.

**DEBOLD, B., VAN D. Y MEYER J.** *Manual de técnica de la investigación educacional*. Barcelona. 2006.

**DEFILIPPI, B., ROBLEDO, P., Y BECERRA, C.** *Variedades de arándanos*. En Morales, C. (Ed.). Manual de manejo agronómico del arándano. Boletín INIA N° 06. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. 2017.

**DOMINGUEZ, B.** *Desarrollo y caracterización de películas biodegradables a base de quitosano, alcohol polivinílico y mucilago de nopal para conservación de fresa*. Tesis doctoral. Centro politécnico nacional. Querétaro. 2016.

**DUTTA, P., TRIPATHI, S., MEHROTRA, G. Y DUTTA, J.** *Perspectivas de la obtención de biopelículas antimicrobianas a base de quitosano*. Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Estados Unidos. 2009.

**DJIOUA, T., F. CHARLES, M. FREIRE, H. FILGUEIRAS, M. DUCAMP, C. Y SALLANON. H.** *Efectos combinados del tratamiento térmico postcosecha y el recubrimiento de quitosano sobre la calidad de los mangos recién cortados*. Revista internacional de ciencia y tecnología de los alimentos. Estados Unidos. 2010.

**EL GAOUTH, A; ARUL, J; PONNAMPALAM, R; BOULET, M.** *Efecto del recubrimiento de quitosano sobre la capacidad de almacenamiento y la calidad de las fresas frescas*. Revista de ciencia de los alimentos. Estados Unidos. 2001.



**ESCOBAR J.** *Elaboración y caracterización de biopelículas elaboradas con quitosano y adicionadas con partículas de almidón.* Tesis. Mexico.2020.

**FALGUERA V. QUINTERO J., JIMÉNEZ A., E IBARZ A.** *Películas comestibles y Recubrimientos: Estructuras, funciones activas y tendencias en su uso.* Tendencias en alimentación Ciencia y tecnología. México. 2011.

**FEIPPE A., IBÁÑEZ F., FREDES A., VARELA P., LADO J.** *Efecto del estado de desarrollo de arándanos sobre las propiedades físico – químicas.* INIA. 2012.

**FERNÁNDEZ N., ECHEVERRIA D., MOSQUERA S Y PAZ S.** *Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas.* Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 1. 2017.

**FDA.** *Generally Recognized as Safe (GRAS) Notice Inventory.* 2013. Disponible en [https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/?set=GRASNotices&sort=GRN\\_No&ordr](https://www.accessdata.fda.gov/scripts/fdcc/?set=GRASNotices&sort=GRN_No&ordr).

**FIDIAS G.** *Proyecto de investigación: Introduccion a la metodología científica.* 6ª edición. Edit. Episteme. Caracas. 2012.

**GARCÍA A.** *“Efectos de películas de quitosano sobre la vida de anaquel del queso panela.”* Tesis de licenciatura. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 2009.

**GACEN J,** *Quitina y quitosano nuevos materiales textiles.* Boletín intexter. UPC. Perú. 1996.

**GAMARRA J.** *Estrategias de mercado para fomentar la exportación del arándano desde Lima a Estados Unidos a partir del 2017.* Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú. 2016.

**GINEZ P. y GODOY M.** *Formulación de un recubrimiento comestible preservante de arándano empleando mucílago extraído de la penca de tuna (opuntia ficus-indica).* tesis. Universidad del callao. Perú. 2018.



**GIRALDO J.** *Obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano.* Tesis Doctoral. Argentina. 2015.

**GODOY, A.** *Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional.* Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar de Plata. Buenos Aires – Argentina. 2002.

**GODOY, A.** *Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional.* Universidad Nacional de Mar de Plata. Buenos Aires, Argentina. 2004.

**GORDÓ M.** *Guía práctica para el cultivo de Arándanos en la zona norte de la provincia de Buenos Aires.* 2008.

**GONZALES N. y QUISPE E.** *Efecto del recubrimiento comestible a base de pectina y quitosano en la vida útil del Arándano.* Universidad de Santa. Perú. 2019.

**GONZÁLEZ, A.** *Aspectos claves durante postcosecha para para la obtención de un arándano de calidad.* En: Adaptación de la Metodología Cropcheck para el cultivo de arándanos en el Sur de Chile. Boletín Capítulo 5 N346, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Carillanca, Temuco, Chile. 2017.

**GUEVARA, A.** *Industrialización de berries: Arándanos, fresa, cereza, aguaymanto y frambuesa (diapositivas).* Lima-Perú. 2014.

**GUILBERT, S.,** *Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings.* Food Science and Technology. Estados Unidos.1996.

**HANCOCK, J.** *El cultivo del arándano, tecnologías y avances.* Revista de tecnología de Alimentos. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 2002.

**HERNÁNDEZ, K.** *Formulación y Caracterización de Películas Comestibles de Almidón de Papa Nativo y Modificado.* TESIS. Mexico. 2016.



**HOBSON, G. E.** *Maduración del fruto*. En eds: Azcon-Bieto. (Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana-McGraw-Hill. España. 1993.

**HIRANO, S.** *Chitin and Chitosan as novel biotechnological materials*. Polymer International. 2009.

**HELANDER, I; NURMIAHO, E; AHVENAINEN, R; RHOADES, J; y ROLLER, S.** *Chitosan disrupts the barrier properties of the outer membrane of Gram-negative bacteria*. International Journal of Food Microbiology. 2001.

**INFOJARDIN.** *Definiciones de jardinería*. Diccionario de botánica y glosario de medio ambiente. México. 2020.

**INIA.** *Guía para la identificación de patógenos de poscosecha en frutos de arándanos*. Boletín N° 107. Uruguay. 2014. ISBN:9789974383623. ISSN:15107396.

**JUTINICO A.** *Efecto de bacteriocinas de *Pediococcus pentosaceus* incorporadas en recubrimientos comestibles para la preservación de queso campesino*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agrarias. Bogotá, Colombia. 2018.

**JUNG, B y KIM, C.** *Preparation of amphiphilic chitosan and their antimicrobial activities*. Journal of Applied Polymer Science. 2009.

**KESTER J., Y FENNEMA O.** *Películas y Recubrimientos comestibles. Tecnología de alimentos*. España. 1986.

**KUSHMAN, J. Y BALLINGER, W.** *Cambios de ácido y azúcar durante la maduración en Arándanos*. 2008.

**LAFUENTE, G.** *Glicerol: síntesis y aplicaciones*. Trabajo de fin de master. España. 2017.

**LIN, N. y J. HUANG, A.** *Dufresne. Preparation, properties and applications of polysaccharide nanocrystals in advanced functional nanomaterials: a review*. Nanoscale. 2012.



**MAJDOUB H., SADOK R. y DERATANI A.** *Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of Opuntia ficus indica: extraction, characterization and polyelectrolyte behaviour.* *Polymer International*, 2001.

**MAINLAND, CH. Y TUCKER, J.** *Información de salud de arándanos, algunos nuevos en su mayoría revisión (ISHS).* 2002.

**MARRERO, A.** *Tecnología postcosecha de cítricos y otros cultivos.* Universidad de la Laguna. España. 2019.

**MÉNDEZ, M.** *Propiedades físicas y mecánicas de las películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate.* centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada: instituto Politécnico Nacional de México. 2006.

**MOYER, R.; HUMMER, K.; FINN, C.; FREI, B. y WROLSTAD, R.** *Antocianinas, fenólicos y capacidad antioxidante en diversas frutas pequeñas: Vaccinium, Rubus y Ribes.* 2002.

**MORALES A.** *Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola.* Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” división de ciencia animal departamento de ciencia y tecnología de alimentos “Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 2011.

**MUÑOZ, P.** *Recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas.*2011.

**NAVARRO J.** *Deficicion ABC.* Glosario. España. 2017.

**NIETO C. Y ORELLANA V.** *Aplicación del quitosano como promotor de la floculación para disminuir la carga contaminante.* tesis. Universidad Politécnica Salesiana. Colombia. 2011.

**NO K., S. MEYERS, W. PRINYAWIWATKUL y Z. XU.** *Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods.* *Journal Food Science.* 2007.



**NUÑEZ A., SANCHEZ E., RUIZ J., y NESMITH S.** *Calidad poscosecha en cultivares de arandano sometidos a periodos de almacenamiento y temperaturas.* Revista Agricultura técnica. ISSN 0568-2517. Vol.34. Mexico. 2008.

**OSORIO M.** *Técnicas modernas en el análisis sensorial de los alimentos*". Lima – Perú. 2018.

**PARZANESE M.** *Películas y Recubrimientos Comestibles.* MINAGRI Ficha N° 7. Tecnologías para la Industria Alimentaria. Peru. 2009.

**PARK, J., WELLER, C., VERGANO, P. Y TESTIN, R.** *Permeabilidad y Propiedades mecánicas de películas comestibles a base de celulosa.* Revista de alimentos y Ciencia.Vol.58. Korea. 1993.

**PARK, J., WELLER, C., VERGANO, P. Y TESTIN, R.** *Permeabilidad y Propiedades mecánicas de películas comestibles a base de celulosa.* Revista de alimentos y Ciencia. 2004.

**PASTOR C.** *Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación.* Tesis doctoral. Departamento de tecnología de alimentos. Universidad politécnica de valencia. 2010.

**PÉREZ, B, Y BAEZ, R.** *Utilización de ceras comestibles en la conservación de frutas.* *Tecnología para la industria Alimentaria.* México. 2008.

**PÉREZ J. Y GARDEY A.** *Definición de.* Glosario.Valencia. 2019.

**QUINTANA, D.** *“Utilidad de la baba del nopal para elaborar cosméticos”.* Investigadores de la Facultad de Estudios Superiores Cautitlán de la UNAM. México. 2016.

**QUINTERO B.** *“Incorporación de la pediocina producida por *Pediococcus parvulus* MXVK133 en películas y recubrimientos comestibles.* Tesis doctoral. División de ciencias biológicas y de la salud.” Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa. México. 2006.

**QUINTERO J. y MUÑOZ A.** *Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola.* Revista Tumbaga. 2010.



**REYES M., CONTRERAS J., AGUILAR C., MONTAÑEZ J. y MEZA J.** *Cambios en la permeabilidad y propiedades mecánicas de películas bicapa de alginato y quitosano en diferentes humedades relativa. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos.* Universidad Autónoma de Coahuila. República Oriente. 2016.

**RETAMALES, J., y HANCOCK, J.** *Blueberries. us, cambridge, massachusetts, centre for agricultural bioscience international.* 2012.

**ROMERO C.** *El arándano en el Perú y el mundo Producción, Comercio y Perspectivas.* MINAGRI-DGPA-DEEIA. Primera Edición -diciembre. Perú. 2016.

**RODRÍGUEZ, G.** *Extraction and characterization of mucilage wild species of Opuntia.* *Revista Journal of Food Process Ermineerinct.* Estados Unidos. 2014.

**ROJAS G.** *Recubrimientos comestibles y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación.* Tesis doctoral. España. Universidad de Lleida. 2006.

**RUIZ F. y GUERRERO A.** “Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración.” Tesis profesional. Departamento de ingeniería química y alimentos. Universidad de las Américas Puebla. 2009.

**SALINAS V., TREJO M. y VARGAS A.,** *Propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles a base de mucílago de Nopal como alternativa para la aplicación en frutos* *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C.* vol. 16, núm. 2, pp. 193-198 Hermosillo. México. 2015.

**SAMPIERI, R.** *Metodología de la investigación.* 6ª edic. Edit. Interamericana. México. 2014. ISBN:978-1-452-2396-0.

**SANDOVAL R., ROMO K., ORTIZ G., MEDINA R. y PEREZ E.** *Síntesis de nanocompositos y su inclusión en recubrimientos comestibles a base de quitosano y mucílago*



*de linasa*. Universidad Autónoma de Aguas calientes. Investigación desarrollo en ciencias y tecnología de alimentos.vol 2. México. 2017.

**SAPERS, G.; BURGHER, A.; PHILLIPS, J. y JONES, S.** *Color y composición de los cultivares de arándano*. 2004.

**SCHEIHING P.** *Elaboración de Vino de Arándano (Vaccinium corymbosum L.) como materia prima para la Producción de Vinagre. Tesis para Licenciado en Ciencia de Alimentos*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 2005.

**SEGURA, M.** *Aplicación de un recubrimiento comestible a base de aceite esencial de canela y alginato de sodio en la calidad postcosecha del arándano azul*. Tesis. Universidad Peruana Unión. Lima. 2019.

**SELLAPPAN, S., AKOH, C. Y KREWER, G.** *Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de las moras y arándanos cultivados en Georgia*. 2002.

**SENSER, F. y SCHERZ, H.** *Tablas de Composición de Alimentos*. El pequeño "Souci Fachmann-Kraut". Zaragoza-España. 1999.

**SÁENZ, C. Y SEPÚLVEDA, E.** *Alternativas de industrialización de la tuna (Opuntia ficus-indica)*. *Tecnología de Alimentos*. Perú. 1993.

**SÁNCHEZ L., PASTOR, C., VARGAS M., CHIRALT Y GONZÁLEZ C.** *“Efecto de recubrimientos de hidroxipropilmetilcelulosa y quitosano con y sin aceite esencial de bergamota sobre la calidad e inocuidad de uvas almacenadas en frío*. *Biología y tecnología*. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j>.

**SILVA, A., SOBRAL M., GÓMEZ C. Y BIFANI, V.** *Natural additives in bioactive edible films and coatings: functionality and applications in foods*. *Food Engineering Reviews*. 2013.

**THARANATHAN, R y KITTUR, F.** *Chitin-The undisputed biomolecule of great potential*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Estados Unidos. 2003.



**TREJO A.** *Aplicación de recubrimientos Comestibles.* Revista de Tecnología de Alimentos. México. 2010.

**TREJO, V., ARAGÓN, N. Y MIRANDA, P.** *Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán.* Revista de la Sociedad Química de México, 45(1), 01-05. 2001. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rsqm/v45n1/v45n1a1.pdf>.

**UNDURRAGA P. Y VARGAS S.** *Manual del Arándano.* Chile. boletín INIA- N°263 ISSN 0717-4829. 2013.

**USDA,** *Situación actual del Arándano.* Informe del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estados Unidos. 2010.

**USDA.** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 2002.

**VASCO M., CAMPAÑONE L. y AGNELLI M.** *Uso de recubrimientos comestibles de alginato para preservar la calidad de zanahorias mínimamente procesadas.* CIDCA (CONICET-CCT Y UNLP). Argentina. 2016. e-mail: [agnelli.miriam@gmail.com](mailto:agnelli.miriam@gmail.com).

**VASCONES M., CAMPOS C., ALVARADO A. y GERSCHENSON L.** *Actividad antimicrobiana y propiedades físicas de quitosano – Almidón de tapioca películas y recubrimientos comestibles.* Revista internacional de Investigación Alimentaria. 2009.

**VELICKOVA E., WINKELHAUSEN E., KUZMANOVA S., MOLDÃO M. y ALVES V.** *Caracterización de películas comestibles compuestas y multicapa de quitosano y cera de abejas.* Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 2013.

**WANG, X., GUO, C., HAO, W., ULLAH, N., CHEN, L., LI, Z. y FENG, X.** *Development and characterization of agar-based edible films reinforced kit nanobacterial cellulose.* International Journal of Biological Macromolecules. 2018. Disponible en: <http://doi.org/10.1016/j>.

**WEBSTER, N.** *American Diccionario of the English Language.* Edit. G. & C. Merriam Co. EE.UU. 2019.



**ZAVALA C., ALBA E., y RODRÍGUEZ O.** *La química en tus manos III: ciencias químico-biológicas y de la salud.* ISBN 978-607-02-2428-7. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 2011.

**ZHANG, H., L. WANG, Y. DONG, S. JIANG, J. CAO Y MENG, R.** *Control biológico poscosecha de la pudrición del moho gris de la fresa con Rhodotorula glutinis.* 2007.



## ANEXOS

**ANEXO 1 – Datos de análisis de las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible desarrollado a base de quitosano y mucílago de penca de tuna**

**Tabla 13 – Análisis de espesor**

FORMULACION	Repetición	ESPESOR (mm)
F1		0.04
	F1A	0.03
		0.03
		0.03
	F1B	0.03
		0.04
		0.04
	F1C	0.05
		0.04
F2		0.06
	F2A	0.05
		0.05
		0.05
	F2B	0.04
		0.06
		0.05
	F2C	0.04
		0.04
F3		0.03
	F3A	0.04
		0.04
		0.05
	F3B	0.04
		0.05
		0.03
	F3C	0.03
		0.04
F4		0.03
	F4A	0.03
		0.04
		0.04
	F4B	0.03
		0.04
		0.04
	F4C	0.04
		0.05
F5		0.06
	F5A	0.06
		0.05
		0.05
	F5B	0.06
		0.05
		0.06
	F5C	0.04
		0.06
F6		0.04
	F6A	0.05
		0.04
		0.06
	F6B	0.05
		0.06
		0.06
	F6C	0.06
		0.05
F7		0.05
	F7A	0.04
		0.04
		0.04
	F7B	0.05
		0.03
		0.03
	F7C	0.04
		0.05
F8		0.04
	F8A	0.03
		0.04
		0.06
	F8B	0.03
		0.04
		0.05
	F8C	0.06
		0.04



Tabla 14 – Análisis de Densidad

Formulación	Tratamientos	Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Altura(cm)	volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
F1	F1A	2	4	0.003	0.012	0.0205	1.708
	F1B	2	4	0.003	0.012	0.0208	1.733
	F1C	2	4	0.005	0.020	0.0266	1.330
F2	F2A	2	4	0.004	0.016	0.0216	1.350
	F2B	2	4	0.004	0.016	0.0233	1.456
	F2C	2	4	0.003	0.012	0.0239	1.991
F3	F3A	2	4	0.005	0.020	0.0202	1.010
	F3B	2	4	0.005	0.020	0.0202	1.010
	F3C	2	4	0.005	0.020	0.0206	1.030
F4	F4A	2	4	0.005	0.020	0.0251	1.255
	F4B	2	4	0.005	0.020	0.0258	1.290
	F4C	2	4	0.005	0.020	0.0239	1.195
F5	F5A	2	4	0.005	0.020	0.0102	0.510
	F5B	2	4	0.005	0.020	0.0098	0.490
	F5C	2	4	0.005	0.020	0.0093	0.465
F6	F6A	2	4	0.005	0.020	0.0086	0.430
	F6B	2	4	0.005	0.020	0.0080	0.400
	F6C	2	4	0.005	0.020	0.0085	0.425
F7	F7A	2	4	0.005	0.020	0.0111	0.555
	F7B	2	4	0.005	0.020	0.0096	0.480
	F7C	2	4	0.005	0.020	0.0089	0.445
F8	F8A	2	4	0.005	0.020	0.0091	0.455
	F8B	2	4	0.005	0.020	0.0073	0.365
	F8C	2	4	0.005	0.020	0.0086	0.430

Tabla 15 – Análisis de Opacidad

Formulación	Repetición	Absorbancia	Espesor (mm)	Opacidad ( $\text{mm}^{-1}$ )
F1	F1A	0.244	0.03	8.13
	F1B	0.241	0.03	8.03
	F1C	0.289	0.04	7.22
F2	F2A	0.287	0.04	7.17
	F2B	0.288	0.04	7.20
	F2C	0.216	0.03	7.20
F3	F3A	0.399	0.05	7.98
	F3B	0.397	0.05	7.94
	F3C	0.398	0.05	7.96
F4	F4A	0.374	0.05	7.48
	F4B	0.373	0.05	7.46
	F4C	0.373	0.05	7.46
F5	F5A	0.433	0.05	8.66
	F5B	0.434	0.05	8.68
	F5C	0.437	0.05	8.74
F6	F6A	0.425	0.05	8.50
	F6B	0.427	0.05	8.54
	F6C	0.421	0.05	8.42
F7	F7A	0.411	0.05	8.22
	F7B	0.415	0.05	8.30
	F7C	0.413	0.05	8.26
F8	F8A	0.397	0.05	7.94
	F8B	0.409	0.05	8.18
	F8C	0.4	0.05	8.00

Tabla 16 – Análisis de contenido de humedad

Formulación	Repetición	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Contenido de humedad (%)
F1	F1A	0.0265	0.0235	11.321
	F1B	0.0268	0.0229	14.552
	F1C	0.0266	0.0229	13.909
F2	F2A	0.0216	0.0179	17.129
	F2B	0.0233	0.0185	20.601
	F2C	0.0239	0.0192	19.665
F3	F3A	0.0202	0.0179	11.386
	F3B	0.0208	0.0183	12.019
	F3C	0.0206	0.0177	14.077
F4	F4A	0.0251	0.0211	15.936
	F4B	0.0258	0.0204	20.930
	F4C	0.0249	0.0211	15.261
F5	F5A	0.0099	0.0084	15.151
	F5B	0.0098	0.0089	9.183
	F5C	0.0093	0.0086	7.526
F6	F6A	0.0086	0.0070	18.604
	F6B	0.0080	0.0069	13.75
	F6C	0.0085	0.0069	18.823
F7	F7A	0.0101	0.0088	12.871
	F7B	0.0096	0.0085	11.458
	F7C	0.0099	0.0088	11.111
F8	F8A	0.0091	0.0076	16.483
	F8B	0.0083	0.0068	18.072
	F8C	0.0086	0.0078	9.302

Tabla 17 – Análisis de solubilidad en agua

Formulación	Repetición	Peso seco inicial	Peso final	Solubilidad en agua (%)
F1	F1A	0.0188	0.0081	56.914
	F1B	0.0158	0.0069	56.329
	F1C	0.0155	0.0068	56.129
F2	F2A	0.0129	0.0055	57.364
	F2B	0.0139	0.0058	58.273
	F2C	0.0143	0.0061	57.342
F3	F3A	0.0121	0.0053	56.198
	F3B	0.0123	0.0055	55.284
	F3C	0.0121	0.0054	55.371
F4	F4A	0.0149	0.0066	55.704
	F4B	0.0151	0.0066	56.291
	F4C	0.0149	0.0067	55.033
F5	F5A	0.0060	0.0028	53.333
	F5B	0.0059	0.0028	52.542
	F5C	0.0056	0.0026	53.571
F6	F6A	0.0052	0.0024	53.846
	F6B	0.0048	0.0022	54.166
	F6C	0.0051	0.0023	54.901
F7	F7A	0.0061	0.0028	54.098
	F7B	0.0058	0.0027	53.448
	F7C	0.0060	0.0028	53.333
F8	F8A	0.0055	0.0025	54.545
	F8B	0.0050	0.0023	54.000
	F8C	0.0052	0.0024	53.846

**Tabla 18 – Análisis de capacidad de retención de agua**

<b>Formulación</b>	<b>Repetición</b>	<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>CRA %</b>
F1	F1A	0.0260	0.0335	26.415
	F1B	0.0268	0.0338	26.119
	F1C	0.0266	0.0335	25.939
F2	F2A	0.0216	0.0274	26.851
	F2B	0.0233	0.0297	27.467
	F2C	0.0239	0.0305	27.615
F3	F3A	0.0202	0.0254	25.742
	F3B	0.0208	0.0258	24.038
	F3C	0.0206	0.0259	25.728
F4	F4A	0.0251	0.0313	24.701
	F4B	0.0258	0.0318	23.255
	F4C	0.0249	0.0311	24.899
F5	F5A	0.0099	0.0119	20.202
	F5B	0.0098	0.0117	19.387
	F5C	0.0093	0.0111	19.354
F6	F6A	0.0086	0.0105	22.093
	F6B	0.0080	0.0099	23.750
	F6C	0.0085	0.0104	22.352
F7	F7A	0.0101	0.0122	20.792
	F7B	0.0096	0.0116	20.833
	F7C	0.0099	0.0119	20.202
F8	F8A	0.0091	0.0111	21.978
	F8B	0.0083	0.0101	21.686
	F8C	0.0086	0.0105	22.093

**Tabla 19 – Análisis de permeabilidad al vapor de agua**

Formulación	Muestras	PVAT(g/s*m <sup>2</sup> )	Espesor (m)	presión de VA externa del RC (Pa)	presión de VA parte interna(pa)	Cambio de presión (Pa)	PVA(g/m*s*pa)
F1	F1A	0.0030	0.00003	2339.3	2901.1	561.8	1.63479E-10
	F1B	0.0029	0.00003	2339.1	2981.2	642.1	1.38145E-10
	F1C	0.0031	0.00005	2300.2	2999.9	699.7	2.28115E-10
F2	F2A	0.0017	0.00004	2331.2	2700.0	368.8	1.90143E-10
	F2B	0.0017	0.00004	2361.2	2703.6	342.4	2.01747E-10
	F2C	0.0018	0.00003	2481.2	2704.9	223.7	2.52653E-10
F3	F3A	0.0017	0.00005	2311.8	2821.2	509.4	1.69509E-10
	F3B	0.0017	0.00005	2341.5	2843.6	502.1	1.69367E-10
	F3C	0.0017	0.00005	2332.5	2845.6	513.1	1.70836E-10
F4	F4A	0.0017	0.00005	2412.9	2982.6	569.7	1.56160E-10
	F4B	0.0017	0.00005	2434.5	2964.1	529.6	1.60573E-10
	F4C	0.0016	0.00005	2338.1	2799.6	461.5	1.81432E-10
F5	F5A	0.0016	0.00005	2364.5	2901.2	536.7	1.46260E-10
	F5B	0.0014	0.00005	2332.1	2913.2	581.1	1.28331E-10
	F5C	0.0015	0.00005	2352.3	2902.9	550.6	1.37816E-10
F6	F6A	0.0016	0.00005	2361.2	2914.5	553.3	1.48966E-10
	F6B	0.0016	0.00005	2312.5	2906.7	594.2	1.40914E-10
	F6C	0.0017	0.00005	2441.8	2935.4	493.6	1.74934E-10
F7	F7A	0.0017	0.00005	2401.3	2945.8	544.5	1.56179E-10
	F7B	0.0017	0.00005	2412.5	2945.5	533.0	1.62003E-10
	F7C	0.0017	0.00005	2413.3	2931.5	518.2	1.66630E-10
F8	F8A	0.0016	0.00005	2399.6	2941.2	541.6	1.54599E-10
	F8B	0.0017	0.00005	2403.3	2912.3	509.0	1.67071E-10
	F8C	0.0017	0.00005	2401.2	2931.4	530.2	1.60391E-10



**ANEXO 2 — Datos de análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso (deshidratación)**

**Tabla 20 — Análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso**

<b>Formulación</b>	<b>Repetición</b>	<b>Día1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>peso perdido en los 8 días</b>	<b>% de peso perdido</b>
F1	F1A	106.6	105.6	104.0	102.0	101.0	98.8	97.4	95.2	11.4	10.694
	F1B	92.0	90.8	89.2	87.6	86.0	84.2	82.8	81.4	10.6	11.521
	F1C	96.4	95.2	93.8	92.9	90.8	89.2	87.8	86.4	10.0	10.373
F2	F2A	105.2	104.0	102.2	100.1	99.0	97.4	95.8	94.4	10.8	10.266
	F2B	95.0	94.0	94.0	88.8	85.4	84.2	82.6	81.4	13.6	14.315
	F2C	92.4	91.4	87.6	85.2	83.8	79.9	77.0	75.6	16.8	18.181
F3	F3A	92.4	91.2	89.2	86.6	84.4	82.4	79.4	77.8	14.6	15.800
	F3B	86.0	85.0	83.2	77.2	76.0	74.6	73.4	72.2	13.8	16.046
	F3C	110	108.6	106.8	104.6	99.6	96.2	95.8	93.6	16.4	14.909
F4	F4A	95.2	94.2	92.2	88.2	86.8	85.2	83.8	82.6	12.6	13.235
	F4B	101.0	98.0	98.2	96.6	94.2	92.8	88.0	86.6	14.4	14.257
	F4C	101.8	100.6	96.8	95.6	92.0	90.6	89.0	87.6	14.2	13.948
F5	F5A	90.6	89.4	88.0	83.8	82.4	80.8	79.8	78.6	12.0	13.245
	F5B	89.0	88.8	87.4	85.8	83.4	76.2	75.2	74.4	14.6	16.404
	F5C	93.6	92.6	90.6	86.8	83.8	82.4	80.8	79.6	14.0	14.957
F6	F6A	96.2	95.2	93.8	89.4	87.8	86.4	85.0	83.6	12.6	13.097
	F6B	89.8	88.8	87.2	82.0	80.6	79.2	77.8	76.6	13.2	14.699
	F6C	77.4	76.6	74.8	72.6	70.7	68.6	66.2	63.8	13.6	17.571
F7	F7A	94.0	92.8	91.4	86.6	85.2	83.6	82.0	80.6	13.4	14.255
	F7B	89.2	88.2	86.6	81.0	80.4	78.8	77.4	76.2	13.0	14.573
	F7C	71.4	70.6	68.8	66.2	64.2	62.8	60.8	58.4	13.0	18.207
F8	F8A	74.0	73.0	71.4	68.4	67.0	65.6	64.0	62.8	11.2	15.135
	F8B	77.0	76.0	74.2	71.4	69.6	68.2	66.6	65.2	11.8	15.324
	F8C	105.6	104.6	102.2	98.8	97.0	95.4	93.6	90.7	14.9	14.109
Testigo	Testigo1	80.0	79.0	77.2	77.0	75.4	68.0	65.8	62.6	17.4	21.750
	Testigo2	83.6	82.6	80.8	79.4	77.6	73.4	69.6	65.6	18.0	21.531
	Testigo3	78.8	77.6	76.8	74.4	72.4	70.8	67.2	64.8	14.0	17.766

**ANEXO 3 – Datos de análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímica del arándano.**

**Tabla 21 – Evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímicas (antes y después del almacenamiento)**

Formulación	Repetición	Antes del almacenamiento			Después del almacenamiento		
		pH	Acidez	°Brix	pH	Acidez	°Brix
F1	F1A	2.87	1.05	15.2	2.90	1.00	15.8
	F1B	3.40	1.02	14.8	3.45	1.00	15.2
	F1C	3.49	0.97	14.3	3.51	0.96	14.9
F2	F2A	3.12	0.81	13.5	3.14	0.79	14.1
	F2B	3.40	0.90	14.0	3.52	0.86	14.7
	F2C	3.52	1.00	13.5	3.66	0.97	14.5
F3	F3A	2.97	1.02	14.9	3.04	0.97	15.4
	F3B	2.69	1.03	15.2	2.77	0.98	15.8
	F3C	3.01	0.85	15.0	3.04	0.76	15.0
F4	F4A	3.22	0.65	15.0	3.27	0.60	15.5
	F4B	2.98	0.81	14.5	3.09	0.88	14.9
	F4C	3.62	0.79	15.0	3.67	0.65	14.1
F5	F5A	3.40	0.94	15.6	3.47	0.91	15.9
	F5B	3.34	0.90	15.9	3.55	0.85	16.0
	F5C	3.41	1.10	15.0	3.73	1.06	15.9
F6	F6A	2.87	0.84	14.1	2.90	0.79	14.7
	F6B	3.14	0.75	14.0	3.18	0.70	14.8
	F6C	3.45	0.77	14.2	3.52	0.68	15.0
F7	F7A	3.17	0.80	14.9	3.25	0.76	15.6
	F7B	3.19	0.86	14.9	3.24	0.81	15.5
	F7C	3.14	0.93	14.0	3.33	0.89	14.6
F8	F8A	2.97	0.92	15.0	3.17	0.87	15.4
	F8B	2.91	1.18	14.5	3.02	1.03	14.9
	F8C	2.90	1.11	14.9	2.98	1.07	14.1
Testigo	Testigo1	2.75	0.78	15.5	2.81	0.98	16.0
	Testigo2	2.60	0.74	15.9	2.71	0.82	16.0
	Testigo3	2.55	0.81	15.2	2.76	0.52	15.8



**ANEXO 4 – Datos de análisis del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición.**

**Tabla 22 – Evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición**

Formulación	Repetición	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	%	Eficacia
F1	F1A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00
	F1B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00
	F1C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.00
F2	F2A	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.91
	F2B	0	0	0	0	0	0	1	3	6	0.92
	F2C	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.92
F3	F3A	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0.93
	F3B	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0.92
	F3C	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0.96
F4	F4A	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.91
	F4B	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.90
	F4C	0	0	0	0	0	0	1	3	6	0.94
F5	F5A	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0.98
	F5B	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0.93
	F5C	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0.98
F6	F6A	0	0	0	0	0	0	1	3	6	0.93
	F6B	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.90
	F6C	0	0	0	0	0	0	1	4	8	0.92
F7	F7A	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0.95
	F7B	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0.95
	F7C	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0.96
F8	F8A	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.91
	F8B	0	0	0	0	0	0	1	3	6	0.92
	F8C	0	0	0	0	0	0	2	4	8	0.92
Testigo	Testigo1	0	1	7	15	21	34	40	45	90	0.00
	Testigo2	0	1	6	13	18	26	34	40	80	0.00
	Testigo3	0	2	6	17	20	31	47	50	100	0.00

**ANEXO 5 – Datos de análisis de (ANOVA) varianza de las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible desarrollado a base de quitosano y mucílago de penca de tuna y su respectiva comparación de medias por tukey.**

**Tabla 23 – Análisis de varianza (ANOVA) para espesor**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	$2.9 \times 10^{-3}$	7	$4.1 \times 10^{-4}$	6.21	<0.0001
<b>Formulación</b>	$2.9 \times 10^{-3}$	7	$4.1 \times 10^{-4}$	6.21	<0.0001
<b>Error</b>	$4.3 \times 10^{-3}$	64	$6.7 \times 10^{-5}$		
<b>Total</b>	0.01	71			

**Tabla 24 – Análisis de varianza (ANOVA) para espesor**

Formulación	Medias	N	E.E				
F5	0.05	9	$2.7 \times 10^{-4}$	A			
F6	0.05	9	$2.7 \times 10^{-4}$	A	B		
F2	0.05	9	$2.7 \times 10^{-4}$	A	B	C	
F8	0.04	9	$2.7 \times 10^{-4}$	A	B	C	D
F7	0.04	9	$2.7 \times 10^{-4}$		B	C	D
F3	0.04	9	$2.7 \times 10^{-4}$			C	D
F4	0.04	9	$2.7 \times 10^{-4}$			C	D
F1	0.04	9	$2.7 \times 10^{-4}$				D

**Tabla 25 – Análisis de varianza (ANOVA) para densidad**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	5.70	7	0.81	36.61	<0.0001
<b>Formulación</b>	5.70	7	0.81	36.61	<0.0001
<b>Error</b>	0.36	16	0.02		
<b>Total</b>	6.05	23			

**Tabla 26 – Comparación de medias de densidad por tukey**

Formulación	Medias	N	E.E			
F2	1.60	3	0.09	A		
F1	1.59	3	0.09	A		
F4	1.25	3	0.09	A	B	
F3	1.02	3	0.09		B	
F7	0.49	3	0.09			C
F5	0.49	3	0.09			C
F6	0.42	3	0.09			C
F8	0.42	3	0.09			C

Tabla 27 – Análisis de varianza (ANOVA) para opacidad

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	5.30	7	0.76	22.30	<0.0001
<b>Formulación</b>	5.30	7	0.76	22.30	<0.0001
<b>Error</b>	0.54	16	0.03		
<b>Total</b>	0.01	23			

Tabla 28 – Comparación de medias de opacidad por tukey

Formación	Medias	N	E.E					
F5	8.69	3	0.11	A				
F6	8.49	3	0.11	A	B			
F7	8.26	3	0.11	A	B	C		
F8	8.04	3	0.11		B	C		
F3	7.96	3	0.11			C	D	
F1	7.80	3	0.11			C	D	
F4	7.47	3	0.11				D	E
F2	7.19	3	0.11					E

Tabla 29 – Análisis de varianza (ANOVA) para % de contenido de humedad

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>Modelo</b>	337.06	7	48.15	119.77	<0.0001
<b>Formulación</b>	337.06	7	48.15	119.77	<0.0001
<b>Error</b>	6.43	16	0.40		
<b>Total</b>	343.49	23			

Tabla 30 – Comparación de medias de porcentaje de contenido de humedad por tukey

Formulación	Medias	N	E.E					
F2	19.17	3	0.37	A				
F4	17.43	3	0.37	A	B			
F6	15.69	3	0.37		B	C		
F8	14.61	3	0.37			C		
F1	13.23	3	0.37				D	
F3	12.53	3	0.37				D	E
F7	11.84	3	0.37					E
F5	10.66	3	0.37					F

+

**Tabla 31 – Análisis de varianza (ANOVA) para solubilidad en agua**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	49.63	7	7.09	28.53	<0.0001
<b>Formulación</b>	49.63	7	7.09	28.53	<0.0001
<b>Error</b>	3.98	16	0.25		
<b>Total</b>	53.61	23			

**Tabla 32 – Comparación de medias de solubilidad en agua por tukey**

<b>Formulación</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E</b>				
F2	57.66	3	0.29	A			
F1	56.46	3	0.29	A	B		
F4	55.68	3	0.29		B	C	
F3	55.62	3	0.29		B	C	
F6	54.30	3	0.29			C	D
F8	54.13	3	0.29				D
F7	53.63	3	0.29				D
F5	53.15	3	0.29				D

**Tabla 33 – Análisis de varianza (ANOVA) para capacidad de retención de agua (CRA)**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	153.63	7	21.98	55.29	<0.0001
<b>Formulación</b>	153.63	7	21.98	55.29	<0.0001
<b>Error</b>	6.36	16	0.40		
<b>Total</b>	160.19	23			

**Tabla 34 – Comparación de medias de capacidad de retención de agua (CRA) por tukey**

<b>Formulación</b>	<b>Medias</b>	<b>n</b>	<b>E.E</b>							
F2	27.31	3	0.36	A						
F1	26.16	3	0.36	A	B					
F3	25.17	3	0.36		B	C				
F4	24.29	3	0.36			C	D			
F6	22.73	3	0.36				D	E		
F8	21.92	3	0.36					E	F	
F7	20.61	3	0.36						F	G
F5	19.65	3	0.36							G

Tabla 35 – Análisis de varianza (ANOVA) para permeabilidad al vapor de agua (PVA)

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	7	0.00	3.05	0.0307
Formulación	0.00	7	0.00		
Error	0.00	16	0.00		
Total	0.00	23			

Tabla 36 – Análisis de varianza (ANOVA) para permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Formulación	Medias	N	E.E		
F2	$2.1 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	
F1	$1.8 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	B
F3	$1.7 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	B
F4	$1.7 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	B
F7	$1.6 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	B
F8	$1.6 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	B
F6	$1.5 \times 10^{-10}$	3	0.00	A	B
F5	$1.4 \times 10^{-10}$	3	0.00		B

**ANEXO 7 – Datos de análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso (deshidratación) y su respectiva comparación de medias por tukey**

**Tabla 37 – Análisis de varianza del efecto del recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	145.59	8	18.20	4.74	0.0029
<b>Formulación</b>	145.59	8	18.20	4.74	0.0029
<b>Error</b>	69.10	18	3.84		
<b>Total</b>	214.69	26			

**Tabla 38 – Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pérdida de peso**

<b>Formulación</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E</b>		
Testigo	20.35	3	1.13	A	
F7	15.68	3	1.13	A	B
F3	15.59	3	1.13	A	B
F6	15.12	3	1.13	A	B
F5	14.87	3	1.13	A	B
F8	14.86	3	1.13	A	B
F2	14.25	3	1.13		B
F4	13.81	3	1.13		B
F1	10.86	3	1.13		B

**ANEXO 8 – Datos de análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímica del arándano antes y después del almacenamiento y su respectiva comparación de medias por tukey.**

**Tabla 39 – Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el °Brix del arándano antes del almacenamiento**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	8.65	8	1.08	9.04	0.0001
<b>Formulación</b>	8.65	8	1.08	9.04	0.0001
<b>Error</b>	2.15	18	0.12		
<b>Total</b>	10.81	26			

**Tabla 40 – Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre el °Brix del arándano antes del almacenamiento**

Formulación	Medias	N	E.E			
Testigo	15.53	3	0.20	A		
F5	15.50	3	0.20	A		
F3	15.03	3	0.20	A	B	
F4	14.83	3	0.20	A	B	
F8	14.80	3	0.20	A	B	
F1	14.77	3	0.20	A	B	
F7	14.60	3	0.20	A	B	C
F6	14.10	3	0.20		B	C
F2	13.67	3	0.20			C

**Tabla 41 – Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el pH del arándano antes del almacenamiento**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.31	8	0.04	5.38	0.0015
Formulación	0.31	8	0.04	5.38	0.0015
Error	0.13	18	0.01		
Total	0.44	26			

**Tabla 42 – Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre el pH del arándano antes del almacenamiento**

Formulación	Medias	N	E.E		
F5	3.38	3	0.12	A	
F2	3.35	3	0.12	A	
F4	3.27	3	0.12	A	
F1	3.25	3	0.12	A	
F7	3.17	3	0.12	A	B
F6	3.15	3	0.12	A	B
F8	2.93	3	0.12	A	B
F3	2.89	3	0.12	A	B
Testigo	2.63	3	0.12		B

**Tabla 43 – Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano antes del almacenamiento**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	145.59	8	18.20	4.74	0.0029
Formulación	145.59	8	18.20	4.74	0.0029
Error	69.10	18	3.84		
Total	214.69	26			

**Tabla 44 – Comparación de medias del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano antes del almacenamiento**

Formulación	Medias	N	E.E			
F8	1.07	3	0.05	A		
F1	1.01	3	0.05	A	B	
F5	0.98	3	0.05	A	B	C
F3	0.97	3	0.05	A	B	C
F2	0.90	3	0.05	A	B	C
F7	0.86	3	0.05	A	B	C
F6	0.79	3	0.05		B	C
Testigo	0.78	3	0.05		B	C
F4	0.75	3	0.05			C

**Tabla 45 – Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el °Brix del arándano después del almacenamiento**

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.75	8	0.59	2.07	0.0950
Formulación	4.75	8	0.59	2.07	0.0950
Error	5.16	18	0.29		
Total	9.91	26			

**Tabla 46 – Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre el °Brix del arándano después del almacenamiento**

Formulación	Medias	N	E.E	
F5	15.93	3	0.31	A
F3	15.40	3	0.31	A
Testigo	15.37	3	0.31	A
F1	15.30	3	0.31	A
F7	15.23	3	0.31	A
F4	14.83	3	0.31	A
F6	14.83	3	0.31	A
F8	14.80	3	0.31	A
F2	14.43	3	0.31	A

**Tabla 47 – Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre el pH del arándano después del almacenamiento**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	2.40	8	0.30	4.35	0.0046
<b>Formulación</b>	2.40	8	0.30	4.35	0.0046
<b>Error</b>	1.24	18	0.07		
<b>Total</b>	3.64	26			

**Tabla 48 – Análisis Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre el pH del arándano después del almacenamiento**

<b>Formulación</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E</b>		
F5	3.59	3	0.15	A	
F2	3.44	3	0.15	A	
F4	3.34	3	0.15	A	
F1	3.29	3	0.15	A	
F7	3.27	3	0.15	A	
F6	3.20	3	0.15	A	B
F8	3.06	3	0.15	A	B
F3	2.95	3	0.15	A	B
Testigo	2.51	3	0.15		B

**Tabla 49 – Análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano después del almacenamiento**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	0.27	8	0.03	2.35	0.0631
<b>Formulación</b>	0.27	8	0.03	2.35	0.0631
<b>Error</b>	0.26	18	0.01		
<b>Total</b>	0.54	26			

**Tabla 50 – Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la acidez del arándano después del almacenamiento**

<b>Formulación</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E</b>	
F8	0.99	3	0.07	A
F1	0.99	3	0.07	A
F5	0.94	3	0.07	A
F3	0.90	3	0.07	A
F2	0.87	3	0.07	A
F7	0.82	3	0.07	A
Testigo	0.77	3	0.07	A
F6	0.72	3	0.07	A
F4	0.71	3	0.07	A

**ANEXO 9 – Datos de análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición y su respectiva comparación de medias por tukey.**

**Tabla 51 – Resultados de análisis de varianza (ANOVA) del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición**

<b>F.V</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	19304.00	8	2413.00	193.90	<0.0001
<b>Formulación</b>	19304.00	8	2413.00	193.90	<0.0001
<b>Error</b>	224.00	18	12.44		
<b>Total</b>	19528.00	26			

**Tabla 52 – Comparación de medias del efecto que tiene el recubrimiento comestible sobre la pudrición expresado en porcentaje de bayas podridas en los 8 días de almacenamiento**

<b>Formulación</b>	<b>Medias</b>	<b>N</b>	<b>E.E</b>		
Testigo	90.00	3	2.04	A	
F6	7.33	3	2.04		B
F8	7.33	3	2.04		B
F4	7.33	3	2.04		B
F2	7.33	3	2.04		B
F3	5.33	3	2.04		B
F7	4.00	3	2.04		B
F5	3.33	3	2.04		B
F1	0.00	3	2.04		B

**ANEXO 10 – Resumen de proceso de extracción de mucílago de penca de tuna**



**Figura 5 – Recolección y adecuación**



**Figura 6 – Troceado y pesado de penca de tuna  
de penca de tuna.**



**Figura 7 – Escaldado de penca de tuna**



**Figura 8 – Molienda de penca de tuna**



**Figura 9 – Tratamiento térmico de penca molida**



**Figura 10 – Macerado**



**Figura 11 – Filtrado de penca macerada**



**Figura 12 – Precipitado de mucílago de penca de tuna**



**Figura 13 – Secado del mucílago**

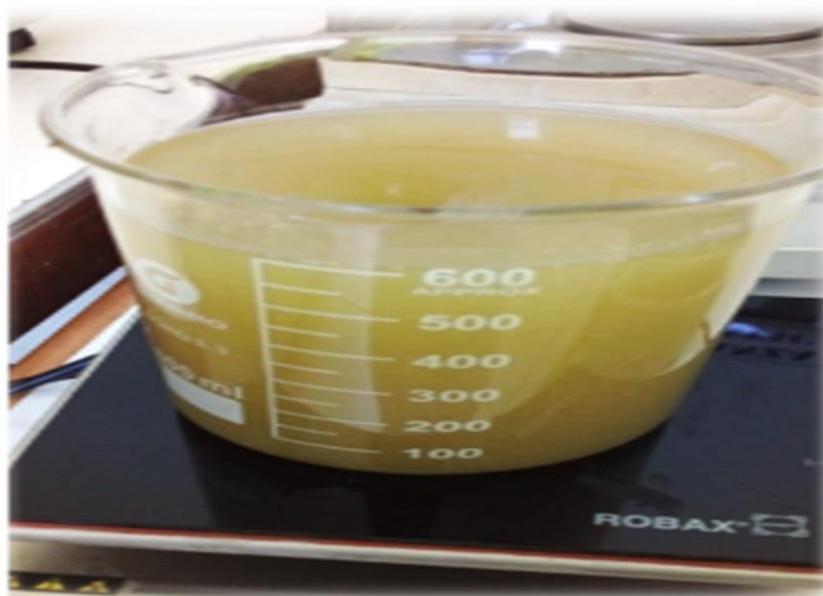


**Figura 14 – Mucílago en polvo**

## ANEXO 11 – Resumen de proceso de obtención del recubrimiento comestible



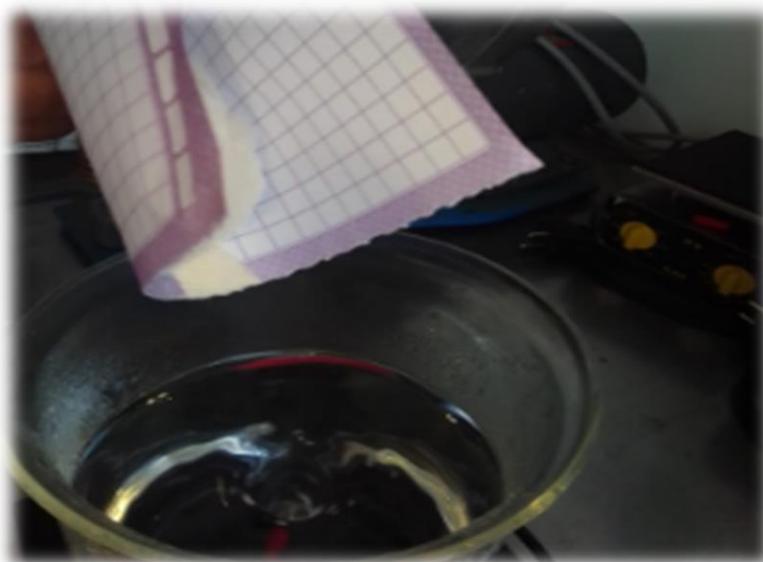
**Figura 15 – pesado de mucílago en polvo**



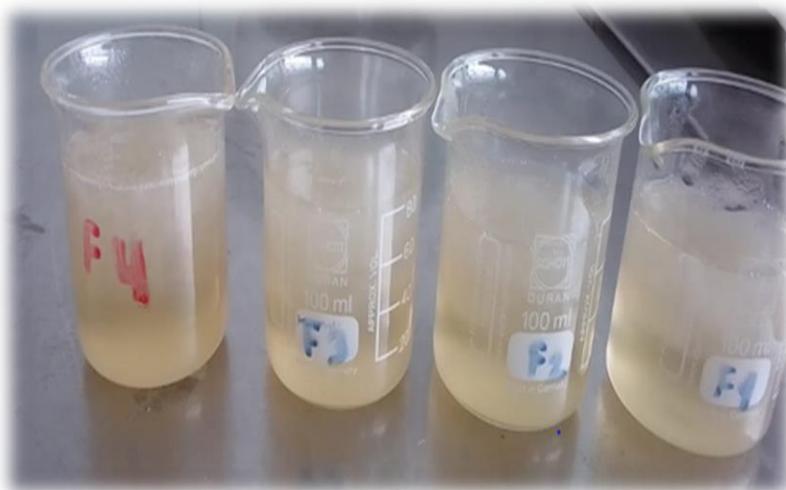
**Figura 16 – preparación de solución**



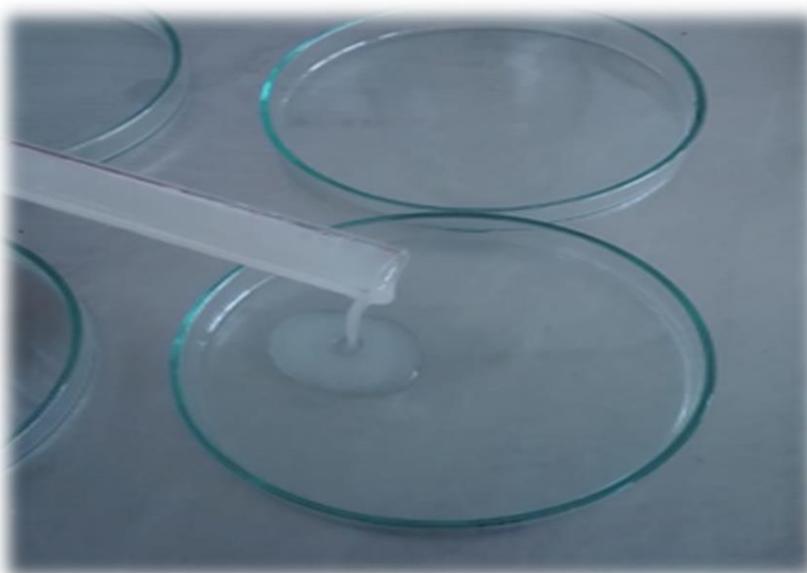
**Figura 17 – Preparación de solución de ácido acético**



**Figura 18 – preparación de solución de quitosano**

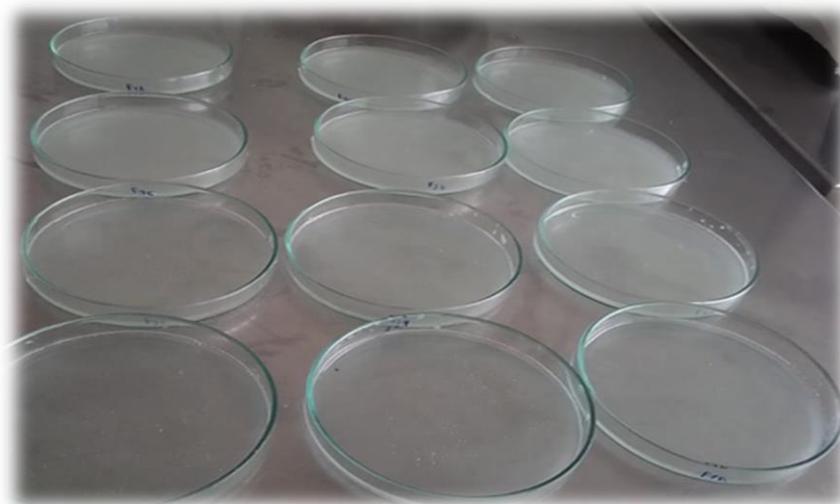


**Figura 19 – Preparación de formulaciones**



**Figura 20 –Transferencia de formulaciones a las placas para su respectivo secado**

## ANEXO 12 – Resumen de determinación de las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento comestible



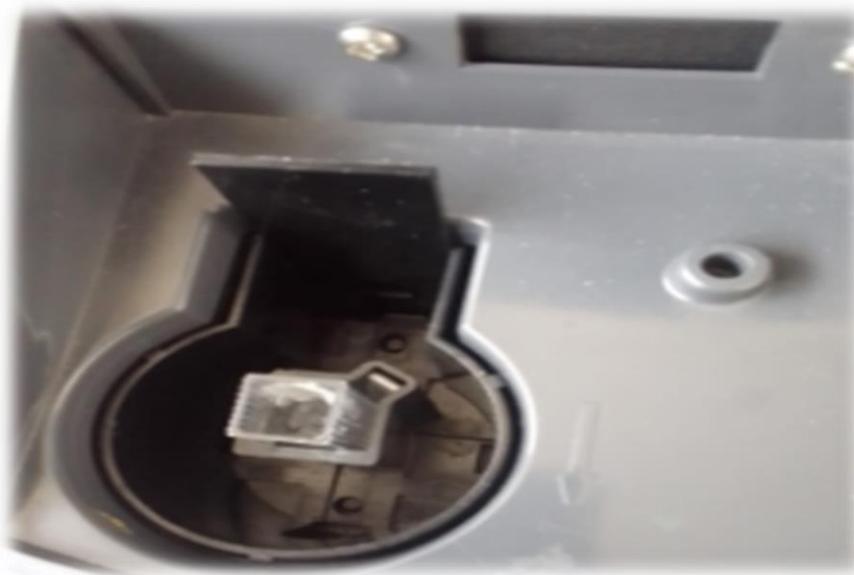
**Figura 21 – secado del recubrimiento comestible**



**Figura 22 – obtención del recubrimiento comestible**



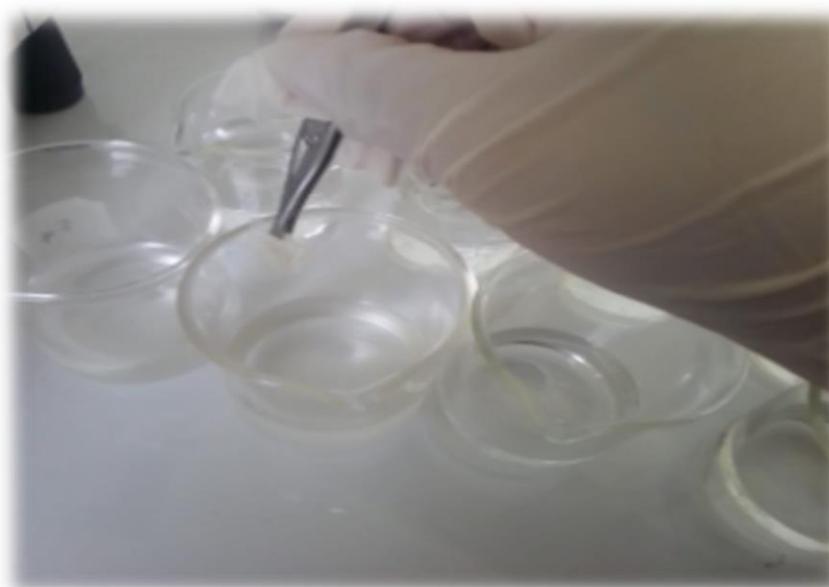
**Figura 23 – Determinación de espesor**



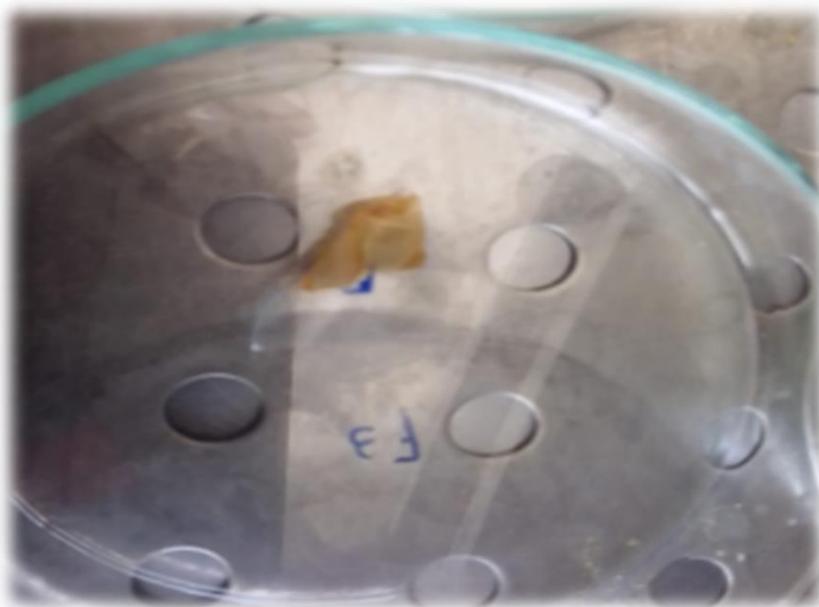
**Figura 24 – Determinación de opacidad**



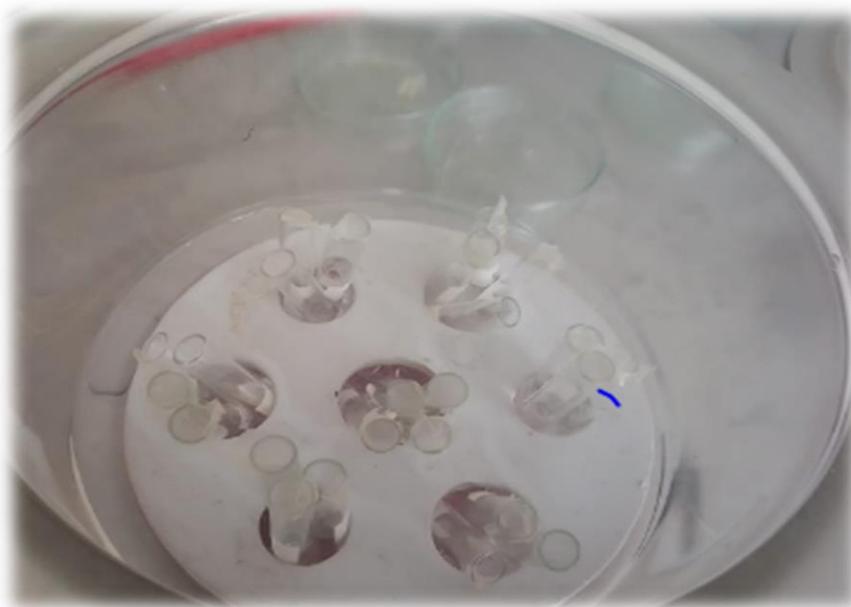
**Figura 25 — Determinación de contenido de humedad**



**Figura 26 — Determinación de solubilidad en agua**



**Figura 27 — Determinación de capacidad de retención de agua**



**Figura 28 — Determinación de permeabilidad al vapor de agua**

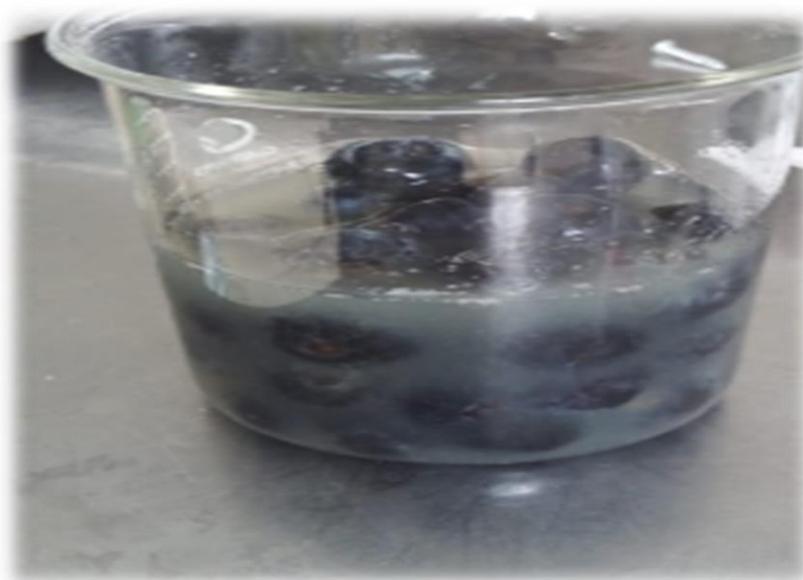
## ANEXO 13 – Resumen del proceso de aplicación del recubrimiento comestible en el arándano



**Figura 29 – Lavado y desinfección de materia prima**



**Figura 30 – Secado de arándano**



**Figura 31 – Inmersión de arándano**

ANEXO 14 – Resumen del proceso de evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición

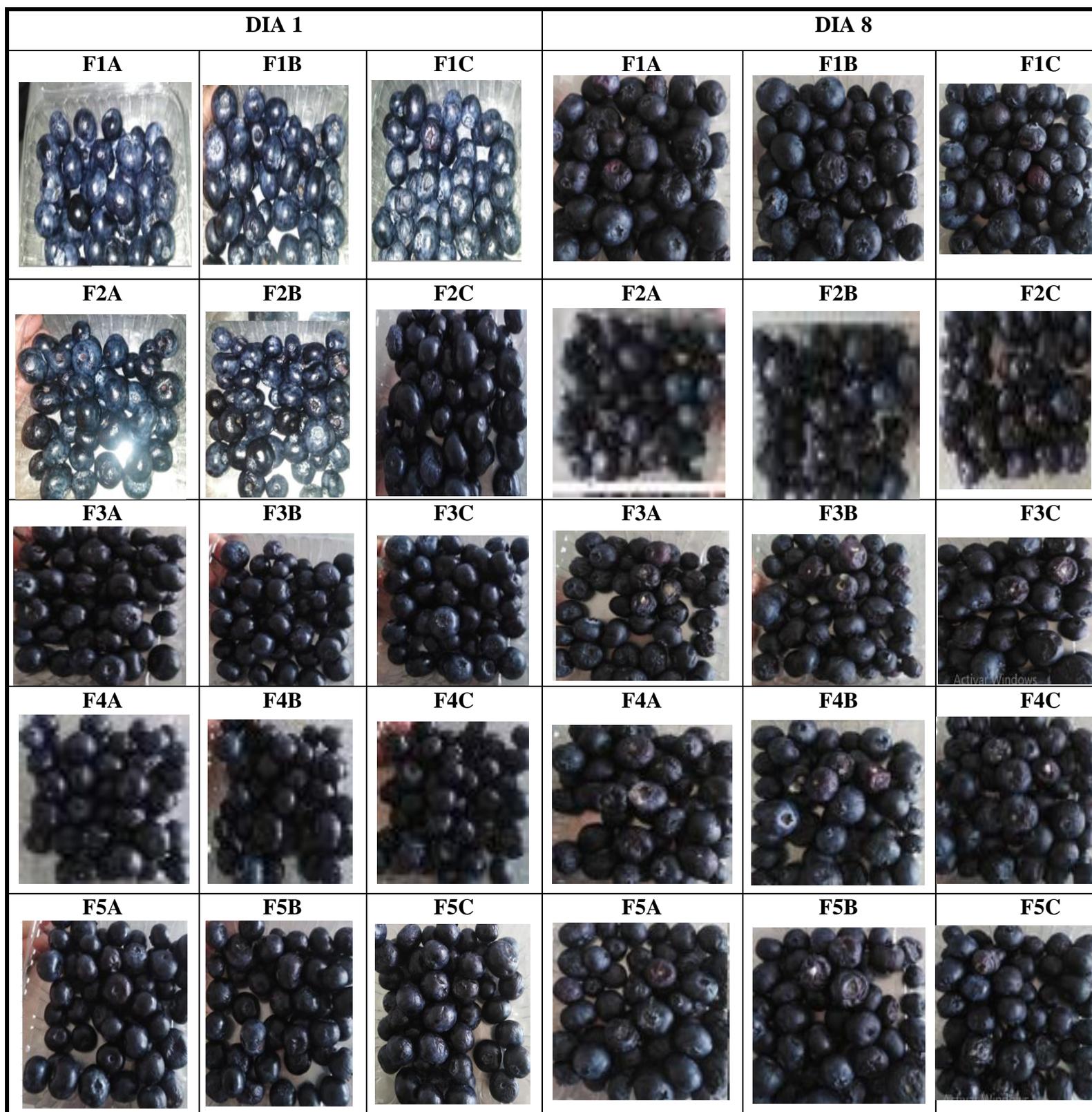


Figura 32 – Efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición – parte 1

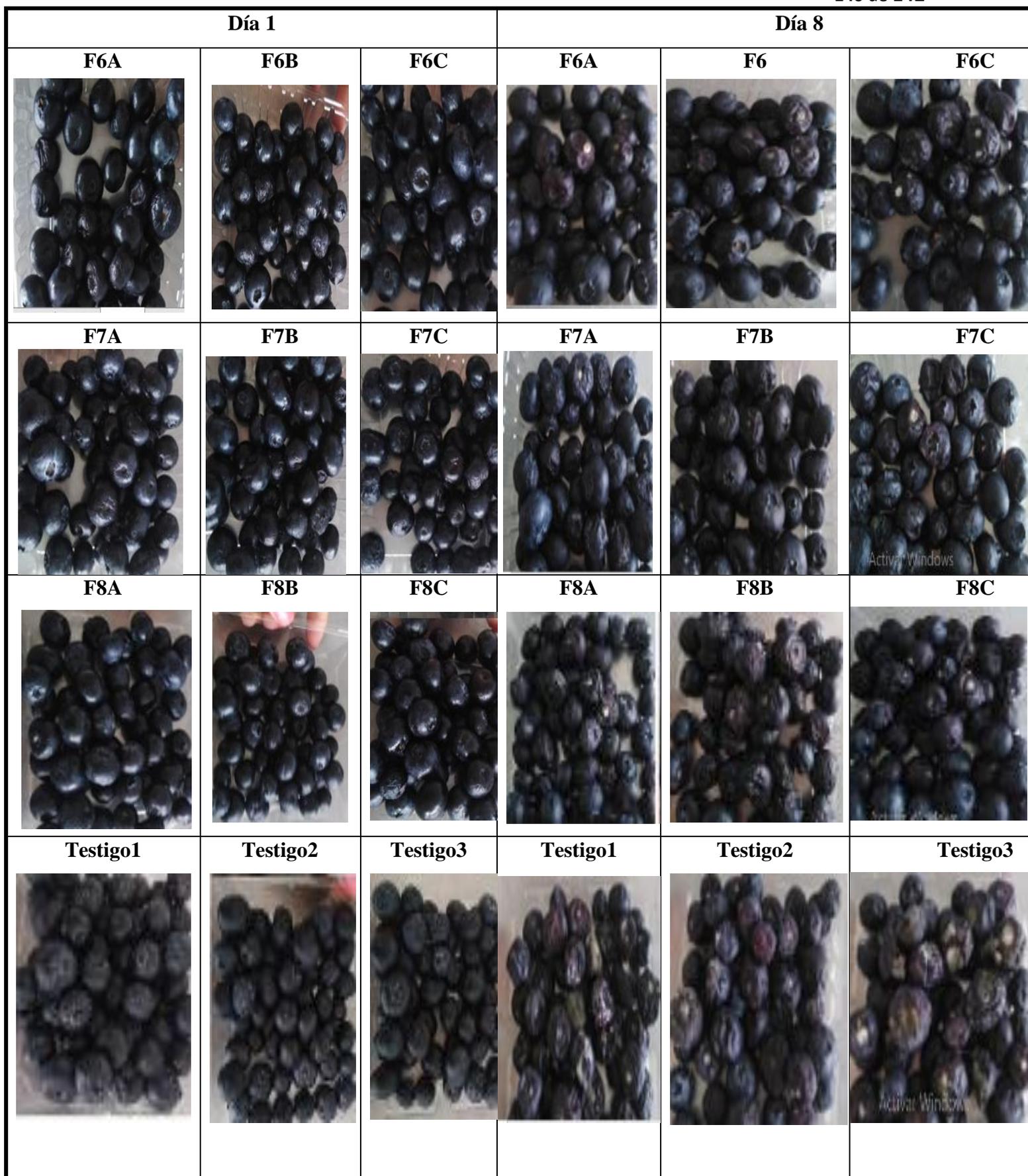
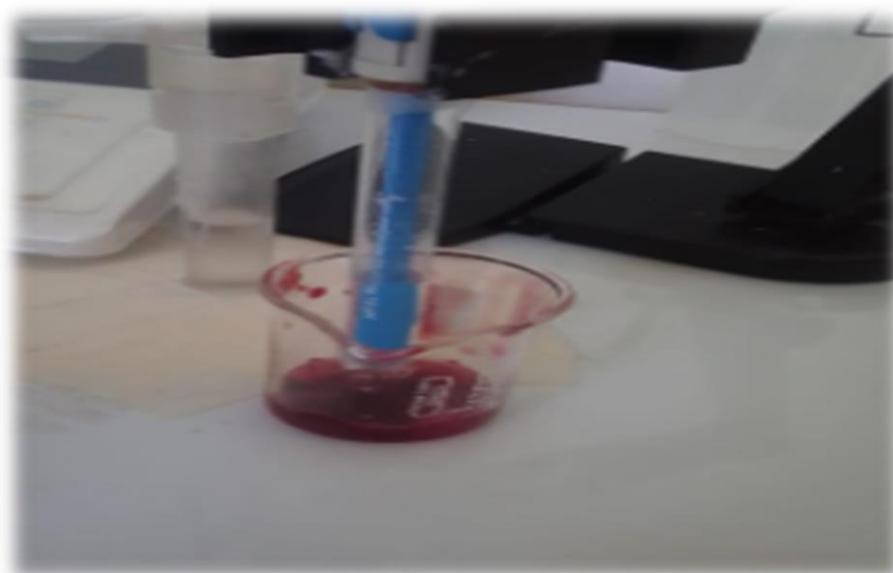


Figura 33 – Efecto del recubrimiento comestible sobre la pudrición– parte 2

**ANEXO 15 – Resumen del proceso de evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre las características fisicoquímicas del arándano**



**Figura 34 – Determinacion de Brix**



**Figura 35 – Determinacion de pH**



**Figura 36 – Determinación de acidez**

**ANEXO 16 – Resumen del proceso de evaluación del efecto del recubrimiento comestible sobre las características sensoriales del arándano**



**Figura 37 – Evaluación de pérdida de peso de manera diaria**