



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÀSCARAS DE  
ZANAHORIA BLANCA (*Arracacia xanthorrhiza*) Y ZANAHORIA  
AMARILLA (*Daucus carota*)”**

**Trabajo de Titulación**

**TIPO:** Proyecto de Investigación

**Presentado para el grado académico de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** CRISTIAN XAVIER RAMÍREZ QUISPE

**DIRECTORA:** ING. M.Sc MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA.

Riobamba-Ecuador

2019

**©2019, Cristian Xavier Ramírez Quispe**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo las citas bibliográficas del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Investigación: “**Obtención de pectina a partir de cáscaras de Zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y Zanahoria Amarilla (*Daucus carota*)**”, de responsabilidad del señor Cristian Xavier Ramírez Quispe, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada para su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. M.Sc Mayra Paola Zambrano Vinuesa

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

Ing. M.Sc. Mabel Mariela Parada Rivera,

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Yo, Cristian Xavier Ramírez Quispe, declaró que el presente trabajo es de mi autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 05 de junio de 2019

Cristian Xavier Ramírez

050329037-1

## **DEDICATORIA**

Dedicado esta tesis en primer lugar a Dios por haberme permitido que este momento llegue a mi vida y pueda cumplir uno de mis sueños.

A mi madre Alejandrina Ramírez, quien ha estado ahí en todo el transcurso de mi vida, guiándome y aconsejándome para que llegue hacer un profesional.

A mis hermanos Fernanda, Sofía, Mayra y Hernán, quienes confiaron en mí en todo momento y son un pilar fundamental para alcanzar esta meta trazada.

A mi hija Lady Ramírez quien es una bendición en mi vida y me dio fuerzas para poder alcanzar esta meta trazada y así culminar.

A mis cuñados Raúl, Eddy, Patricio y Katty, quienes confiaron siempre en mí y estuvieron apoyándome en todo momento.

A Pamela Fernanda por ser la persona especial en mi vida apoyarme cada segundo y confiar siempre en mí.

CRISTIAN XAVIER RAMIREZ QUISPE

## **AGRADECIMIENTO**

En este presente trabajo en primer lugar quiero agradecer a dios por bendecirme y haberme permitido llegar a cumplir uno de mis sueños anhelados.

A mi madre y hermanos, que con paciencia, sacrificio, cariño, apoyo y comprensión que me han brindado hicieron que pueda terminar mi carrera y este trabajo.

A mis cuñados y cuñadas quienes me apoyan en todo momento para que salga adelante en mi vida.

A la Ingeniera Mayra Zambrano, directora de este trabajo de titulación quien apporto con sus conocimientos para poder cumplir con esta meta.

A Juan Hidalgo, Cristina y María Francisca, quienes me ayudaron apoyaron en la elaboración de este trabajo.

A todos los docentes que formaron parte de mi formación académica con sus conocimientos y que me brindaron sus consejos para ser un buen profesional.

**CRISTIAN XAVIER RAMIREZ QUISPE**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Identificación del problema</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Justificación del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Objetivos de la investigación</b> .....	<b>3</b>
<i>1.3.1. Objetivo General</i> .....	<i>3</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i> .....	<i>3</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1. Antecedentes de la investigación</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2. Marco conceptual</b> .....	<b>5</b>
<i>2.2.1. Zanahoria Blanca (Arracacia xanthorrhiza Brancoft)</i> .....	<i>5</i>
<i>2.2.2. Zanahoria Amarilla (Daucus Corota)</i> .....	<i>6</i>
<i>2.2.3. Pectina</i> .....	<i>8</i>
<i>2.2.4. Clasificación de la pectina de acuerdo a su composición</i> .....	<i>10</i>
<i>2.2.5. Pectinas de bajo metoxilo</i> .....	<i>11</i>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>16</b>
<b>3.1. Hipótesis y especificación de las variables</b> .....	<b>16</b>
<i>3.1.1. Hipótesis general</i> .....	<i>16</i>
<i>3.1.2. Hipótesis específicas</i> .....	<i>16</i>
<b>3.2. Identificación de las variables</b> .....	<b>16</b>
<i>3.2.1. Variables Independientes</i> .....	<i>16</i>
<i>3.2.2. Variables Dependientes</i> .....	<i>16</i>
<i>3.2.3. Operacionalización de las variables</i> .....	<i>17</i>

3.2.4. Matriz de consistencia.....	18
<b>3.3. Tipo y diseño de la investigación.....</b>	<b>19</b>
3.3.1. Tipo de investigación .....	19
3.3.2. Diseño de la investigación .....	19
<b>3.4. Unidad de análisis.....</b>	<b>21</b>
<b>3.5. Población de estudio.....</b>	<b>21</b>
<b>3.6. Tamaño de la muestra.....</b>	<b>21</b>
<b>3.7. Selección de la muestra .....</b>	<b>22</b>
<b>3.8. Técnica de recolección de datos .....</b>	<b>23</b>
<b>3.9. Desarrollo experimental .....</b>	<b>25</b>
3.9.1. Localización del experimento.....	25
3.9.2. Materiales y equipos .....	26
<b>3.10. Pruebas físico-químicas para la pectina.....</b>	<b>27</b>
3.10.1. Determinación del contenido de Grados Brix.....	27
3.10.2. Determinación del pH de la pectina.....	28
3.10.3. Determinación de la viscosidad .....	28
3.10.4. Determinación del contenido de humedad.....	29
3.10.5. Determinación del contenido de metoxilo.....	30
3.10.6. Determinación del poder de gelificación .....	30
<b>3.11. Técnicas de obtención de pectina a escala de laboratorio.....</b>	<b>31</b>
<b>3.12. Determinación de las condiciones de operación para la obtención de pectina a escala de laboratorio .....</b>	<b>33</b>
3.12.1. Determinación del rendimiento en el proceso de obtención de pectina .....	33
3.12.2. Lavado de la cáscara .....	34
3.12.3. Inactivación de enzimas .....	35
3.12.4. Hidrolisis.....	35
3.12.5. Filtración.....	36
3.12.6. Concentración.....	37
3.12.7. Precipitado.....	38



3.12.8. Secado.....	38
3.12.9. Molienda.....	40
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1. Análisis Estadístico de la caracterización de la pectina obtenida .....</b>	<b>41</b>
4.1.1. Contenido de grados Brix .....	41
4.1.2. Ph.....	42
4.1.3. Densidad .....	43
4.1.4. Contenido de humedad.....	45
4.1.5. Contenido de cenizas.....	46
4.1.6. Viscosidad .....	48
4.1.7. Contenido de grupos metoxilo.....	49
<b>4.2. Análisis estadístico de las condiciones de operación para la obtención de pectina. 50</b>	<b>50</b>
4.2.1. Análisis del rendimiento por etapa .....	50
4.2.2. Análisis estadístico del rendimiento total en la obtención de pectina .....	56
4.2.3. Resumen de los resultados .....	57
<b>4.3. Comprobación de hipótesis .....</b>	<b>58</b>
4.3.1. Hipótesis general.....	58
4.3.2. Hipótesis específica 1.....	59
4.3.3. Hipótesis específica 2.....	60
4.3.4. Hipótesis específica 3.....	61
<b>4.4. Discusión de resultados .....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Análisis bromatológico de zanahoria blanca cultivadas en el Ecuador .....	5
<b>Tabla 2-2:</b> Morfología y taxonomía de la zanahoria amarilla.....	7
<b>Tabla 3-2:</b> Composición Química de la zanahoria amarilla.....	8
<b>Tabla 1-3:</b> Esquema del Experimento.....	24
<b>Tabla 2-3:</b> Esquema del análisis de la varianza (ADEVA).....	25
<b>Tabla 3-3:</b> Esquema del análisis de la varianza (ADEVA).....	25
<b>Tabla 4-3:</b> Condiciones experimentales de la ciudad de Riobamba.....	26
<b>Tabla 5-3:</b> Materiales y equipos utilizados en el muestreo de las cáscaras de zanahorias adquiridas en el mercado “San Alfonso” .....	26
<b>Tabla 6-3:</b> Materiales, equipos y reactivos utilizados en la obtención de pectina a partir de las diferentes variedades de zanahoria adquiridas en el mercado “San Alfonso” .....	26
<b>Tabla 7-3:</b> Materiales, equipos y reactivos utilizados para la caracterización de la extracción de pectina a escala de laboratorio .....	27
<b>Tabla 9-3:</b> Determinación del contenido de grados Brix por el método del refractómetro.....	27
<b>Tabla 10-3:</b> Determinación del pH por el método del potenciómetro norma NTE INEN 0427.	28
Tabla 11-3: Técnica utilizada para la determinación de la viscosidad de acuerdo a la norma NTE INEN 0427. ....	28
Tabla 12-3: Determinación del contenido de humedad de acuerdo a la norma técnica NTE INEN 0427.....	29
<b>Tabla 13-3:</b> Determinación del contenido de metoxilo en pectina de acuerdo al procedimiento de Owen según norma INEN 0427. ....	30
Tabla 14-3: Determinación del poder de gel en pectina de acuerdo al procedimiento de Owen, según norma INEN 0427.....	30
<b>Tabla 8-3:</b> Variables en cada etapa de extracción de pectina utilizando diferentes variedades de cáscaras de zanahoria .....	33
<b>Tabla 1-4:</b> Análisis estadístico a la prueba rendimiento de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria .....	41
<b>Tabla 2-4:</b> Análisis estadístico a la prueba pH de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria.....	43
<b>Tabla 3-4:</b> Análisis estadístico a la prueba densidad de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria.....	44
<b>Tabla 4-4:</b> Análisis estadístico a la prueba contenido de humedad de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria.....	45
<b>Tabla 5-4:</b> Análisis estadístico a la prueba contenido de cenizas de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria.....	47

<b>Tabla 6-4:</b> Análisis estadístico a la prueba contenido de cenizas de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria.....	48
<b>Tabla 7-4:</b> Análisis estadístico a la prueba contenido de grupos metoxilo de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria.....	50
<b>Tabla 8-4:</b> Rendimiento en el lavado de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	51
<b>Tabla 9-4:</b> Rendimiento en la extracción de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	52
<b>Tabla 10-4:</b> Rendimiento en la extracción de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	52
<b>Tabla 11-4:</b> Rendimiento en la filtración de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	53
<b>Tabla 12-4:</b> Rendimiento en la precipitación de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	53
<b>Tabla 13-4:</b> Rendimiento en la precipitación de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	54
<b>Tabla 14-4:</b> Rendimiento en el secado de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	55
<b>Tabla 15-4:</b> Rendimiento en la molienda de la zanahoria para la extracción de pectina. ....	55
<b>Tabla 16-4:</b> Análisis estadístico a la prueba rendimiento de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria .....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de grados .....	42
<b>Gráfico 2-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba pH en la elaboración .....	43
<b>Gráfico 3-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba densidad en la elaboración .....	44
<b>Gráfico 4-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de humedad .....	46
<b>Gráfico 5-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de cenizas .....	47
<b>Gráfico 6-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba viscosidad .....	49
<b>Gráfico 7-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de .....	50
<b>Gráfico 8-4:</b> Análisis de los resultados obtenidos a la prueba rendimiento .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3:</b> Método de extracción de pectina utilizando como materia prima cáscaras de zanahoria. ....	32
--	----

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A.** Cálculo del diseño experimental de las variables evaluadas en la investigación.

**ANEXO B.** Recopilación fotográfica del proceso experimental

## RESUMEN

La presente investigación se fundamenta en la extracción de pectina con el aprovechamiento de las cáscaras de zanahoria de diferentes especies (zanahoria blanca y amarilla) cultivadas en la provincia de Chimborazo. Para la extracción de pectina se realizaron las siguientes actividades: lavado, inactivación de enzimas, hidrólisis ácida, filtración, concentración, precipitación y secado. Los ensayos y análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, los ensayos de extracción de la pectina se realizaron bajo un diseño experimental con cuatro repeticiones por cada especie, para las pruebas de calidad se consideró: grados Brix, humedad, cenizas, pH, viscosidad, contenido de grupo metoxilo, todas estas pruebas se basan en la norma NTE INEN 0427: Requisitos para conservas vegetales. Para la tabulación de datos se aplica un paquete estadístico INFOSTAT, El factor de estudio es la comparación de la cantidad de pectina que se obtiene entre zanahoria blanca y amarilla, además de la calidad de pectina obtenida entre variedad de zanahoria y la pectina comercial. El mayor rendimiento se reportó al extraer la pectina de las cáscaras de zanahoria blanca con un 10.45%, con respecto al porcentaje de rendimiento de la zanahoria amarilla que alcanzó un valor igual a 10.11%, los parámetros analizados para la zanahoria blanca reportan valores del 0.72% en contenido de humedad, 0.85% para cenizas, 55.15 Pa.s para la viscosidad y 1.01% para el contenido de grupos metoxilo y para la zanahoria amarilla valores iguales a 0.34% para el contenido de humedad, 0.69% para cenizas, 89.50 Pa.s para la viscosidad y 1.02% para el contenido de grupos metoxilo, en comparación con los valores de la pectina comercial (iguales a 10.11%, 0.63%, 1.35%, 103.83% y 1.14% respectivamente para cada una de las pruebas analizadas), de acuerdo con los parámetros evaluados la pectina extraída de la zanahoria amarilla es la de mejor variedad. Las condiciones experimentales óptimas para la extracción de pectina a partir de la variedad de zanahoria son: temperatura igual a 120°C en el proceso de extracción e inactivación de la enzima, además para el proceso de hidrólisis se debe utilizar ácido cítrico a una concentración igual a 1.5 N, para obtener resultados que cumplan con la norma NTE INEN 0427.

**Palabras Clave:** <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA, <ALIMENTOS>, <PECTINA>, <ZANAHORIA>, <EXTRACCIÓN >, <HIDROLISIS>, <ENZIMA>

## **ABSTRACT**

La presente investigación se fundamenta en la extracción de pectina con el aprovechamiento de las cáscaras de zanahoria de diferentes especies (zanahoria blanca y amarilla) cultivadas en la provincia de Chimborazo. Para la extracción de pectina se realizaron las siguientes actividades: lavado, inactivación de enzimas, hidrólisis ácida, filtración, concentración, precipitación y secado. Los ensayos y análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, los ensayos de extracción de la pectina se realizaron bajo un diseño experimental con cuatro repeticiones por cada especie, para las pruebas de calidad se consideró: grados Brix, humedad, cenizas, pH, viscosidad, contenido de grupo metoxilo, todas estas pruebas se basan en la norma NTE INEN 0427: Requisitos para conservas vegetales. Para la tabulación de datos se aplica un paquete estadístico INFOSTAT, El factor de estudio es la comparación de la cantidad de pectina que se obtiene entre zanahoria blanca y amarilla, además de la calidad de pectina obtenida entre variedad de zanahoria y la pectina comercial. El mayor rendimiento se reportó al extraer la pectina de las cáscaras de zanahoria blanca con un 10.45%, con respecto al porcentaje de rendimiento de la zanahoria amarilla que alcanzó un valor igual a 10.11%, los parámetros analizados para la zanahoria blanca reportan valores del 0.72% en contenido de humedad, 0.85% para cenizas, 55.15 Pa.s para la viscosidad y 1.01% para el contenido de grupos metoxilo y para la zanahoria amarilla valores iguales a 0.34% para el contenido de humedad, 0.69% para cenizas, 89.50 Pa.s para la viscosidad y 1.02% para el contenido de grupos metoxilo, en comparación con los valores de la pectina comercial (iguales a 10.11%, 0.63%, 1.35%, 103.83% y 1.14% respectivamente para cada una de las pruebas analizadas), de acuerdo con los parámetros evaluados la pectina extraída de la zanahoria amarilla es la de mejor variedad. Las condiciones experimentales óptimas para la extracción de pectina a partir de la variedad de zanahoria son: temperatura igual a 120°C en el proceso de extracción e inactivación de la enzima, además para el proceso de hidrólisis se debe utilizar ácido cítrico a una concentración igual a 1.5 N, para obtener resultados que cumplan con la norma NTE INEN 0427.

**KEYWORDS:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <FOOD>, <PECTIN>, <CARROT>, <EXTRACTION>, <HYDROLYSIS>, <ENZIMA>.



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Identificación del problema

El Ecuador es un país netamente agrícola, ya que las condiciones climáticas y de riqueza del espacio territorial permiten una eficiencia importante en los cultivos del país, el cultivo de verduras en la zona centro del país (zanahoria, cebolla, etc.) representa un importante foco de cultivo, es así que en el año 2017 se produjo 116,809 toneladas de verduras y que este cultivo ocupó el 30.54% de terreno cultivable del país (MAGAP, 2017, pp. 1-4).

El mayor problema que afronta los cultivos de verduras y específicamente el de zanahoria, es el fluctuante precio en mercados nacionales e internacionales, debido a que el precio decreció en un 13,50% en relación al año 2016, esto reportó pérdidas por más de 50 millones a los productores de zanahorias. La escasa o nula industrialización de los productos agrícolas ocasionan pérdidas económicas y para los productores representan pérdidas por el escaso aprovechamiento de los cultivos (MAGAP, 2017, pp. 1-4).

Por el cambio del precio durante las diferentes etapas del año y la poca transformación industrial del cultivo de zanahoria, los productores muchas veces prefieren cultivar estos productos para exportación, lo que ocasiona que el precio en el país sea elevado y se genere escasez de este cultivo. Al promover tecnologías que logren un aprovechamiento de los residuos del cultivo generando un valor agregado, ayudará a solucionar problemas asociados a la producción de zanahoria (MAGAP, 2017, pp. 1-4).

## **1.2. Justificación del problema**

La presente investigación propone el uso de residuos de zanahoria para la producción de pectina, apunta resolver tres problemas fundamentales en el país, que son la poca producción de pectina en el territorio nacional, la contaminación generada por los desechos de la industria de transformación de las verduras y la poca diversificación de los productos agrícolas, encontrando un nicho importante de consumidores.

Una de las principales industrias que han ido creciendo en el Ecuador es la agroindustria, que ha aumentado su producción paulatinamente en el país en una tasa de crecimiento alrededor de 10% en el PIB en los últimos 5 años, esto debido a que muchos de los agricultores buscan planes emergentes para que la producción de su cultivo tenga un valor agregado con la venta de productos terminados.

Los sectores agroindustriales que mayor crecimiento ha reportado en el Ecuador es la de producción de mermeladas, purines o derivados de frutas tropicales y verduras las cuales generan un ingreso al PIB del 0,43% según datos oficiales del INEC, en esta actividad económica resulta un papel fundamental el uso de la pectina, que es utilizada como estabilizante del pH y coagulante natural, es utilizada en la gran mayoría de industrias alimenticias.

Otro factor importante que llevo a la elección de la zanahoria para la obtención de pectina es su análisis proximal, ya que en estudios relacionados al tema la zanahoria amarilla tiene en su composición 6 gramos de pectina en 100 gramos de muestra y la zanahoria blanca ronda los 4.6 gramos de pectina por 100 gramos de muestra permitiendo que el rendimiento sea elevado y que la inversión que se genere en los procesos productivos sea aprovechada por la elevada cantidad de pectina que se obtendrá de un producto sin valor comercial.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### *1.3.1. Objetivo General*

- Analizar un proceso para la obtención de pectina a partir de cáscaras de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y zanahoria amarilla (*Daucus carota*).

#### *1.3.2. Objetivos Específicos*

- Caracterizar las cáscaras de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y zanahoria amarilla (*Daucus carota*) mediante la norma técnica NTE INEN 1750.
- Obtener a escala de laboratorio pectina a partir de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y zanahoria amarilla (*Daucus carota*) utilizando la técnica de extracción ácida.
- Comparar la calidad de pectina obtenida de la variedad de zanahoria con la de origen comercial.
- Determinar las condiciones de operación en la obtención de pectina.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En el estudio de la extracción de pectina a partir de las cáscaras de naranja, mediante el método de extracción con alcohol etílico y la precipitación con hidróxido de sodio Na(OH); obtuvo el pH igual a 3.2, tiempo de extracción de 75 minutos, rendimiento de 23.15%, porcentaje de grupo metóxilo igual a 1.44, porcentaje de ácido galacturónico igual a 65.49%; al realizar la extracción de pectina con 15% de alcohol etílico y la precipitación con 0.1 N de hidróxido de sodio, concluyendo que el pH y tiempo de extracción óptimos son pH 3.2 y 75 minutos, manteniendo constante la temperatura a 85°C (Aminta, 2014, pp. 58-61).

En estudios realizados sobre la extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan; empleó el método de hidrólisis ácida con tres tipos de ácidos (ácido clorhídrico, ácido fosfórico y ácido cítrico, en tres niveles de pH del agua acidulada 2,0; 2,5 y 3,0) para la extracción de pectina, con muy buenos resultados (Maldonado, 2015, pp.50-51).

Indica que evaluando el rendimiento de porcentaje de ácido galacturónico y el tiempo de gelificación de la pectina extraída mediante un experimento factorial bajo un DCA con 3 repeticiones; para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). Los mayores rendimientos de pectina, menores tiempos de gelificación se registraron en frutos de maushan en estado de sazón y empleando ácido fosfórico y ácido cítrico en el agua acidulada (Maldonado, 2015, pp.50-51).

En su estudio realizados para la obtención de pectina de los residuos generados en la industria del cacao, implementó un método de extracción por reflujo con ácido cítrico. Se realizaron ensayos preliminares donde se evaluaron diferentes tiempos (100, 95, 85 y 75 minutos) y temperaturas (95, 90, 80 y 70 °C) (Guerrero, 2017, pp. 89-90).

Explica que según los resultados el rendimiento de extracción de pectina se incrementó proporcionalmente a los factores tiempo y temperatura, sin embargo, el porcentaje de metóxilo no presentó una gran variación ( $2,65 \pm 0,16\%$  y  $2,90 \pm 0,03\%$ ), caracterizándose como de bajo metóxilo. Las mejores condiciones de extracción de la pectina fueron a 70 °C y 95 con un rendimiento de 8,82 g de pectina por 100 g de cascarilla (Guerrero, 2017, pp. 89-90).

**Tabla 1-2:** Análisis de las diferentes técnicas de obtención de pectina

Año	Tema	Autor
2014	Método de extracción de pectina con alcohol etílico y la precipitación con hidróxido de sodio Na(OH), en cáscaras de naranja	Aminta, Adriana
2015	Método de extracción de pectina con el uso de la hidrólisis ácida en frutos de maushan	Maldonado, Pedro
2017	Método de extracción de pectina por reflujo con ácido cítrico a partir de cáscaras de cacao	Guerrero, Elías

Elaborado por: RAMIREZ, Cristian. (2019).

## 2.2. Marco conceptual

### 2.2.1. Zanahoria Blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Brancoft)

#### 2.2.1.1. Origen y distribución en el Ecuador

El cultivo comenzó a desarrollarse en la época preincaica, pero la mayoría del germoplasma se encuentra cultivado en Ecuador, Perú y Colombia; y en el Ecuador la mayor distribución de este cultivo se encuentra en el sur: Loja, Cañar y Azuay y con menor representatividad del cultivo en el centro del país, provincias de: Cotopaxi, Bolívar, Tungurahua y Chimborazo; esto indica que el cultivo se realiza entre los 1300 y 3600 metros (Mujica, 2014, pp. 87-90).

“La zanahoria blanca es una de las plantas andinas cultivadas que más antigüedad reportan y su domesticación precedió al de la papa; es la única de origen umbelífera de propagación vegetativa cultivada en América, la cual tiene un almidón de tamaño granular pequeño y de fácil digestibilidad en un rango del 10 al 15%, un alto contenido de calcio alrededor del 0.28% y cantidades importantes de hierro, vitaminas, caroteno entre otras como se reporta en la tabla 2-1” (INIAP, 2005, pp. 3-4):

**Tabla 1-2:** Análisis bromatológico de zanahoria blanca cultivadas en el Ecuador

Componente	Zanahoria Blanca
Materia Seca, (%)	16.15
Contenido de Proteínas, (%)	4.32
Contenido de Cenizas, (%)	4.89
Contenido de Fibra, (%)	5.00
Contenido de Almidón, (INIAP, 2005) (%)	67.29
Azúcares Totales, (%)	8.40
Azúcares Reductores, (%)	6.05

Fuente: (INIAP, 2005, pp. 3-4).

### 2.2.1.2. *Botánica del cultivo*

La zanahoria blanca pertenece a la familia Apiacea o Umbelliferae y a la especie *Arracacia xanthorrhiza*, es una planta herbácea caulescente, alcanza una altura entre 0.5 y 1.50 metros, sus hojas esta compuestas de 3 a 7 foliolos, tienen hojas de color verde claro, la corona es subterránea, cilíndrica y carnosa y esta parte es comestible, la germinación de las plantas es lenta y uniforme principalmente por la donación y presencia de patógenos (Sediyama, 2003, pp. 17-18).

### 2.2.1.3. *Composición Química*

“El sabor es agradable y es de fácil digestión, y esto se da por el complejo contenido de almidones, aceites y sales minerales. El contenido de almidón varia de los 10% a los 25%, además contiene un alto contenido en calcio, las raíces son de color amarillo (con un alto contenido de caroteno, responsable de la pigmentación) además es rico en vitamina A” (INIAP, 2005, pp. 9-10).

De los diferentes análisis químicos que se le ha realizado a la zanahoria blanca, se desprende que los macro elementos más abundantes en esta hortaliza son el fosforo y el potasio, mientras que para los micro elementos el elemento más abundante es el hierro (INIAP, 2005, pp. 9-10).

## 2.2.2. *Zanahoria Amarilla (Daucus Corota)*

### 2.2.2.1. *Origen y distribución en el Ecuador*

En el Ecuador la mayor distribución de este cultivo se encuentra en el sur: Loja, Cañar y Azuay y con menor representatividad del cultivo en el centro del país, provincias de: Cotopaxi, Bolívar, Tungurahua y Chimborazo; esto indica que el cultivo se realiza entre los 1300 y 3600 metros (Mujica, 2014, pp. 87-90).

La zanahoria es una especie originaria del centro asiático y del mediterráneo. Ha sido cultivada y consumida desde antiguo por griegos y romanos. Durante los primeros años de su cultivo, las raíces de la zanahoria eran de color violáceo. El cambio de éstas a su actual color naranja se debe a las selecciones ocurridas a mediados de 1700 en Holanda, que aportó una gran cantidad de caroteno, el pigmento causante del color y que han sido base del material vegetal actual, en la tabla 2-2 se muestran la morfología y taxonomía de esta hortaliza.

**Tabla 2-2:** Morfología y taxonomía de la zanahoria amarilla

<b>Componente</b>	<b>Zanahoria Blanca</b>
Materia Seca, (%)	16.15
Contenido de Proteínas, (%)	9.32
Contenido de Cenizas, (%)	8.89
Contenido de Fibra, (%)	2.90
Contenido de Almidón, (INIAP, 2005) (%)	58.29
Azúcares Totales, (%)	3.40
Azúcares Reductores, (%)	2.85
Energía, kcal/g	2.7

Fuente: (Serena, 2008)

#### 2.2.2.2. *Botánica del cultivo*

Indica que la zanahoria pertenece a la familia Umbelíferas, especie *Daucus carota*. Las formas cultivadas derivan de *Daucus carota*, variedad sativa. Zanahoria es el nombre común de una planta originaria de Eurasia y el norte de África y ampliamente distribuida por todas las regiones templadas del hemisferio norte; el nombre se aplica también a la raíz de la planta. La zanahoria es la raíz pivotante engrosada de la planta de color anaranjado, aunque también hay variedades de color amoratado o amarillo, que acumulan los nutrientes necesarios para mantener la parte aérea, de hasta 1,5 m de altura, que se forma si se deja en el suelo durante el segundo año de crecimiento (Sediyama, 2003, pp. 17-18).

Analiza que el tallo lleva una umbela de flores blancas o rosadas parecida a un nido. La variedad silvestre forma una raíz dura y leñosa no apta para el consumo, pero la cultivada es, por el contrario, una hortaliza muy apreciada. En España, la variedad cultivada más común es la semilarga de Nantes (Sediyama, 2003, pp. 17-18).

#### 2.2.2.3. *Composición Química*

“La principal característica de la zanahoria es su alto contenido de caroteno o pro vitamina A, siendo la única especie hortícola poseedora de esta cantidad de pigmento. El xilema tiene menor contenido de caroteno y azúcares que el floema” (Valadez, 2013, p. 13):

La zanahoria forma parte importante en la alimentación moderna actual, por su contenido vitamínico, en vitaminas A, B y C, siendo muy apreciada principalmente por su contenido en caroteno, precursor de vitamina A. Se aprovecha tanto por su consumo directo en fresco y

mediante su industrialización, principalmente en congelado, conserva, purés y alimentos especiales para niños, etc. (Vigliola, 2012, p. 10).

**Tabla 3-2:** Composición Química de la zanahoria amarilla

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Agua	88.2%
Calcio	37.0 mg.
Proteínas	1.1 g
Carbohidratos	9.7 g
Fósforo	36.0 mg
Hierro	0.7 mg
Sodio	47.0 mg
Potasio	341.0 mg
Vitamina A	11000 U.I
Ácido ascórbico	0.8 mg
Fibra	1.0 g
Cenizas	0.8 g
Tiamina	0.06 mg
Riboflavina	0.05 mg
Niacina	0.6 mg
Valor energético	42 cal.

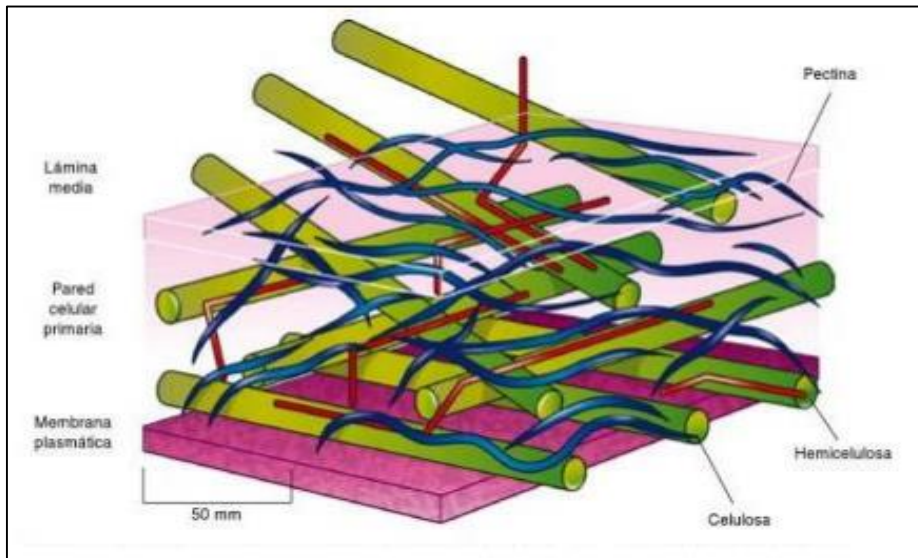
Fuente: (Vigliola, 2012).

### 2.2.3. *Pectina*

El término pectina se utiliza de forma general para nombrar a las sustancias pépticas y se definen como polisacáridos complejos de elevado peso molecular, se localizan en los tejidos de reserva de varios vegetales y cítricos. Constituyen la mayor parte de las laminillas intermedias del fruto verde y se encuentran en las membranas celulares y, en pequeña proporción, en todos los tejidos de la planta (Mohmen, 2013, p. 10).

“La pectina se encuentra en la pared celular entrecruzada por otros polisacáridos como la hemicelulosa, celulosa y lignina, los cuales se enlazan a través de puentes de hidrógeno. La pectina acopla y adhiere internamente las células, proporcionando rigidez y firmeza a la pared. La estructura de la pared celular se presenta en la Figura 1-2.” (Mohmen, 2013, p. 10).





**Figura 1-2:** Pared celular que contiene la pectina

Fuente: (Mohmen, 2013)

### 2.2.3.1. Estructura de la pectina

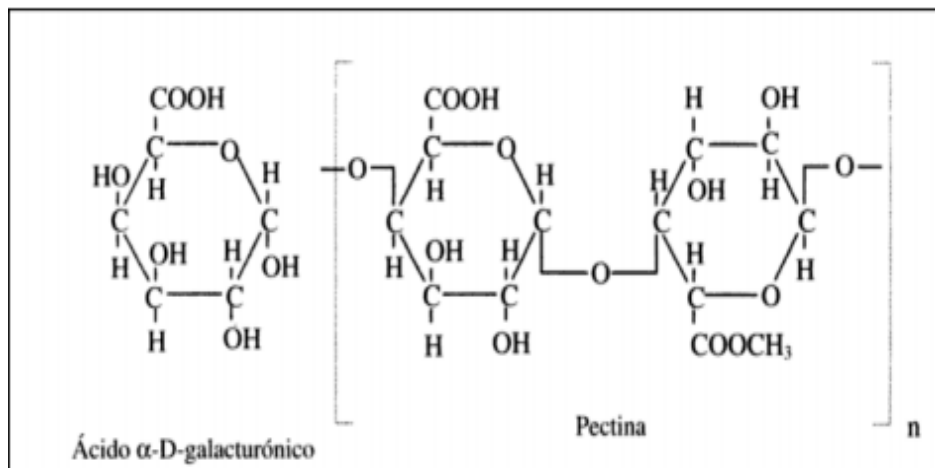
En la década del 80 la pectina fue descubierta por Braconnot, químico experto en la extracción de componentes activos de las plantas, quién al observar las características de gelificación de ciertos frutos identificó por primera vez este tipo de polisacárido, denominándole pectina. La palabra pectina se usa de modo universal para designar “sustancias pépticas” y engloba los siguientes nombres: protopectina y pectina (Monsalves, 2012, p. 15).

#### 2.2.3.1.1. Protopectina

La protopectina es la sustancia péptica madre presente de forma abundante en las laminillas medias de las paredes celulares de plantas verdes, la cual al someterla al calentamiento en una solución de ácido o por acción de enzimas es hidrolizada a pectina soluble (pectina). Se la califica como pectina insoluble al agua (Monsalves, 2012, p. 15).

#### 2.2.3.1.2. Pectina

Dice que bioquímicamente la pectina está definida como un grupo de polisacáridos ricos en ácido galacturónico, con unidades de arabinosa y galactosa en intervalos raros; pueden presentar además ramosa, fructosa y xilosa. Los fragmentos de ácido galacturónico, los cuales presentan una forma piranosa, como se ilustra en la figura 2-2 (Sandoval, 2008, pp. 20-21).



**Figura 2-2:** Estructura de un fragmento de cadena de ácido galacturónico  
**Fuente:** (Sandoval, 2008).

Los grupos de ácido galacturónico que forman la unidad de la pectina, se unen por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4) para dar origen a moléculas fibrilares constituidas por muchas unidades. Las macromoléculas poseen una variabilidad de pesos hasta 200000 Dalton. (Sandoval, 2008, pp. 20-21).

#### 2.2.4. Clasificación de la pectina de acuerdo a su composición

##### 2.2.4.1. Pectinas de alto alto metoxilo

Las pectinas de alto metoxilo poseen la mayoría de sus grupos carboxilo esterificados (del 50 al 58%), no forman geles si no es en medios muy azucarados, que contengan más del 60% de azúcar, y el pH este comprendido entre 2,7 y 3,4. No son reversibles por el calor y todas ellas se estandarizan y normalizan a 150° SAG. En orden decreciente de su porcentaje de esterificación y de su rapidez en la formación de gel, se clasifican comercialmente en los siguientes tipos: (Sandoval, 2008, pp. 20-21).

- Ultra rapid set 150°SAG (URS 150°).
- Rapid Set 150° SAG (RS 150°)
- Medium rapid set 150° SAG (MRS 150°)
- Slow set 150° SAG (SS 150°)

La tabla 4-2 muestra los valores límites de varias características y/o propiedades fisicoquímicas para cada uno de los tipos de pectina de alto metoxilo indicados.

**Tabla 4-2:** Características de las pectinas alimenticias de alto metoxilo (HMP)

Característica	URS 150°	RS 150°	MRS 150°	SS 150°
Grado de esterificación, %.	74 – 77	71 – 74	66 – 70	58 – 65
Formación de gel (min)	1 – 3	4 – 8	15 – 25	30 – 120
pH gelificación óptimo	3,1 – 3,4	3,0 – 3,3	2,8 – 3,1	2,6 – 2,9
pH de disolución al 1%	2,9 – 3,5	2,9 – 3,5	2,8 – 3,5	2,8 – 3,5
Cenizas Totales, %.	5			
Contenido de Humedad	12			
Arsénico, ppm	<3			
Plomo, ppm	<10			
Cobre, ppm	<60			
Gérmenes Patógenos	Ausencia			
Gérmenes totales por gramo	<1000			
Aspecto	Polvo fino color crema			
Granulometría	Rechazo inferior al 1% en tamiz de abertura 0,31mm			

**Fuente:** (Sandoval, 2008).

### 2.2.5. Pectinas de bajo metoxilo

Presentan un porcentaje de esterificación inferior al 50%, y los grupos carboxilo, algunos resultantes de la desmetilación controlada de las de alto metoxilo son parcialmente neutralizados por un catión alcalino ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  o  $\text{NH}_4^+$ ) para aumentar su solubilidad. No necesitan de la presencia de azúcar para gelificar, por lo que se requiere poca o ninguna cantidad de la misma, pero requieren la presencia de cationes divalentes como el calcio para formar entrecruzamientos moleculares. (Sandoval, 2008, pp. 20-21).

Las pectinas de bajo metoxilo son menos sensibles a los cambios de pH es por esto que pueden formar geles en el intervalo de 2.5 a 6,5. Para su comercialización, las pectinas de bajo metoxilo son estandarizadas con una fuerza de gelificación constante, por dilución de la pectina pura con azúcar. (Sandoval, 2008, pp. 20-21).

Sin embargo, no existe todavía el grado internacional análogo al grado SAG de las de alto metoxilo, ni tampoco ningún método de control unificado. No es posible, por lo tanto, dar una regla de gelificación para las pectinas de bajo metoxilo, ya que las funciones de ácido libre no son las únicas responsables de la reticulación de las cadenas pécticas. La formación de un gel de pectina de bajo metoxilo aparece como un problema complejo de cinética química, de los que

solo se conocen algunas soluciones particulares. La tabla 5-2 muestra los valores límites de varias características y/o propiedades fisicoquímicas para las pectinas de bajo metóxilo.

**Tabla 5-2:** Características de las pectinas alimenticias de bajo metoxilo.

<b>Característica</b>	<b>Contenidos límites</b>
Grado de esterificación, %.	18 – 39
Formación de gel (min)	12 – 85
pH gelificación óptimo	3 – 4,2
pH de disolución al 1%	3.3 – 5,2
Cenizas Totales, %.	≈ 12
Contenido de Humedad	< 3
Arsénico, ppm	< 60
Gérmenes Patógenos	ausencia
Gérmenes totales por gramo	<1000
Aspecto	Polvo fino color crema
Granulometría	Rechazo inferior al 1% en tamiz de abertura 0,31mm

**Fuente:** (Sandoval, 2008).

#### 2.2.5.1. Método de extracción de la pectina

Existen métodos fisicoquímicos y enzimáticos, a través de los cuales se obtiene pectina de distinta calidad; pues dicho producto depende directamente del tratamiento que haya sido utilizado. Los métodos de extracción de pectina incluyen: extracción en medio ácido, asistida por microondas y extracción con enzimas. (Silowash, 2007, pp. 108-109)

“La extracción en medio ácido constituye el método convencional, el cual requiere aproximadamente 30 min a 1 hora para obtener un buen rendimiento de pectina, y si el periodo de calentamiento directo se extiende la pectina sufre degradación térmica (Silowash, 2007, pp. 108-109).

La extracción por calentamiento en microondas utiliza la energía disipada por el campo electromagnético para incrementar la porosidad de la corteza, y la extracción enzimática requiere enzimas generadas por microorganismos que des polimericen la estructura de la protopectina” (Silowash, 2007, pp. 108-109).

#### *2.2.5.1.1. Extracción con soluciones acidas*

“La extracción de la pectina es un proceso complejo en el que la hidrólisis, extracción y solubilidad de las moléculas de pectina de los tejidos de la fruta se efectúan bajo la influencia de varios factores, siendo los principales: la temperatura, el pH y el tiempo de tratamiento” (Sánchez, 2011, pp. 220-222).

A escala industrial el método más utilizado es la extracción de pectina en medio acuosa acidificada, el cual se realiza a temperaturas entre 60 °C - 95 °C y en un rango de pH de 1,5 – 3,0. Los ácidos inorgánicos más comúnmente utilizados son: ácido clorhídrico, sulfúrico y fosfórico; y entre ácidos orgánicos y sus sales: ácido cítrico, ácido oxálico, oxalato de amonio, ácido tartárico, entre otros (Sánchez, 2011, pp. 220-222).

Dentro de los ácidos citados, el clorhídrico, es aquel que permitió la recuperación máxima de pectina para la especie *Citrus pseudolimon* Tan.; es por ello, de su preferencia para el ensayo con cítricos. La presencia del ácido en medio acuoso a temperaturas elevadas ayuda a un rápido y brusco rompimiento de las paredes celulares de la corteza del fruto, dando lugar a la hidrólisis de la protopectina. Generalmente la extracción con ácidos produce pectinas con alto grado de esterificación, mientras que las sales pectinas con bajo grado (Sánchez, 2011, pp. 220-222).

El tiempo de extracción puede variar de 30 minutos a horas y constituye un factor relevante en dicho proceso; ya que, si el periodo de tiempo es muy pequeño la cantidad extraída va a ser baja, mientras que si se extiende demasiado la pectina tiende a degradarse (Sánchez, 2011, pp. 220-222).

“Después de dicho tratamiento se precipita la pectina del extracto obtenido, para este fin se utiliza sales de aluminio, sales de cobre, pectato de calcio y alcoholes, 26 entre ellos: etanol, metanol y 2-propanol; debido a la capacidad de coagular o gelificar la pectina en presencia de dichas sustancias. El etanol es el agente precipitante más utilizado, ya que la aplicación de las demás sustancias involucra procesos de lavado y purificación (con agua o etanol ácido para eliminar iones metálicos) y por ende mayor costo” (Flores, 2015, pp. 20-21).

De forma específica, al analizar la influencia del pH y el tiempo de calentamiento durante la extracción de pectina de la corteza seca de limones *Citrus genuina*, se encontró un máximo rendimiento al trabajar a un pH 2,5 y 90 min. La pectina obtenida se caracterizó como una de bajo índice de metóxilo (Flores, 2015, pp. 20-21).

#### 2.2.5.1.2. Usos y aplicaciones de la pectina

“La principal aplicación de las pectinas se debe a su capacidad de gelificar y estabilizar ciertos alimentos, su acción favorece las propiedades geológicas de mermeladas, jaleas, lácteos, jugos, etc. El aditamento de pectina en una concentración de 0,15 % favorece la firmeza y viscosidad del yogurt, pues genera un producto de mejor calidad respecto al estándar” (Mamani, 2011, pp. 400-401).

En la industria alimenticia, se la utiliza en gran porcentaje para combatir la sinéresis de mermeladas y conservas; pues una de las causas de este fenómeno es la deficiencia de pectina; que ocasiona la compresión del gel y por ende la expulsión del líquido presente, lo que constituye un grave problema en la elaboración de dichos productos (Mamani, 2011, pp. 400-401).

Es considerada fibra dietética, al formar geles de alta viscosidad que inhiben la asimilación de compuestos en el estómago e intestino; y al combinarse con el agua generan una capa hidrofílica que evita que el colesterol y las sales biliares atraviesen el intestino. Es por ello que se le añade a varios alimentos, al igual que a la hemicelulosa y a la celulosa (Mamani, 2011, pp. 400-401).

Así se justifica su aplicación en tratamientos de reducción de peso y control de niveles de colesterol en la sangre, donde el consumo de al menos 6 g/día de pectina es necesario para establecer un efecto significativo en la reducción del colesterol. Además, actúa como desintoxicante por su capacidad de adherencia a cationes que permite eliminarlos del tracto gastrointestinal, con gran eficiencia en la remoción específica de plomo y mercurio (Schols, 2009, pp. 30-32).

Manifiesta que la elaboración de recubrimientos comestibles es un nuevo campo de aplicación de la pectina, produce películas con propiedades mecánicas y de permeabilidad adecuada destinada como barreras de preservación de alimentos; durante su fabricación es necesaria la adición de sales de calcio para mejorar la resistencia al agua. Además, se ha comprobado que la aplicación de radiación gama e inmersión en cloruro cálcico ( $\text{CaCl}_2$ ) mejora la resistencia a la tracción, elongación a la rotura y permeabilidad al vapor de agua de la película biodegradable (Schols, 2009, pp. 30-32).

En el ámbito farmacéutico, la pectina se la utiliza en las formulaciones como gelificante instantáneo del paracetamol y ambrosol, para que su liberación en el interior del estómago se realice lentamente y se controle su velocidad de disipación; así también la adición de iones

divalentes permite mejorar dicho control, siempre y cuando se encuentren en dosis adecuadas, las cuales oscilan entre 15 a 30 mg/g pectina (Schols, 2009,pp. 30-32).

“Las pectinas obtenidas de cítricos se han aplicado en la medicina para combatir el cáncer, por su capacidad de bloquear su propagación y disminuir la dimensión del tumor; con mayor relevancia en el cáncer de colon” (Schols, 2009,pp. 30-32).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Hipótesis y especificación de las variables

##### 3.1.1. Hipótesis general

- El tipo de zanahoria empleada en la obtención de pectina afecta a la calidad y el rendimiento del producto terminado.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- El rendimiento obtenido se ve afectado por las técnicas empleadas en la obtención de pectina.
- La característica química de la pectina dependerá del tipo de zanahoria que se utilice para la extracción.
- El análisis de las pruebas físicas de la pectina obtenida establece la calidad final según la comparación con la norma INEN 0427: Requisitos para conservas vegetales.

#### 3.2. Identificación de las variables

##### 3.2.1. Variables Independientes

Para la presente investigación las variables independientes son los tratamientos planteados esto es la variedad de zanahoria (zanahoria blanca, zanahoria amarilla) de la que se extrajo la pectina y la pectina comercial.

##### 3.2.2. Variables Dependientes

Las variables dependientes son las características físico – químicas de la pectina obtenida que depende de la variedad de materia prima de la que se extrae la pectina.



3.2.3. Operacionalización de las variables

VARIABLES	CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	VALORACIÓN
Variable dependiente:  Calidad de la pectina	La pectina será adicionada en diferentes alimentos como suplementos por lo que es necesario evaluar sus características físicas y químicas para determinar su calidad.	<b>Pruebas físicas</b> Permite evaluar las características físicas de la pectina con lo cual se podrá evaluar su consistencia y su estructura.	Viscosidad, (cp.)	-
		<b>Pruebas Químicas</b> Son realizados a través de aparatos y personas capacitadas cuyas finalidades son: determinar el grado de acidez la pectina, la presencia de grupos esterres y la cantidad de agua presente en función de su peso.	Contenido de metoxilo, (%).  Contenido de cenizas (%).  Contenido de humedad, (%)	75  20  55
Variable Independiente  Tipo de zanahoria  Rendimiento	<b>Tipos de zanahoria:</b> Se encuentra en función del tipo de zanahoria presente en el mercado y se evalúa los tipos de zanahorias vendidas en el mercado nacional  Es la relación entre la cantidad de producto obtenido y la cantidad de materia prima y reactivos químicos.		Contenido de pectina en la variedad de zanahoria probada.  Contenido de pectina comercial	
			Rendimiento Real Rendimiento Máximo	68% 50-67%

Realizado por: RAMIREZ, Cristian. 2019.

### 3.2.4. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	
¿Al utilizar cáscaras de diferentes tipos de zanahorias afectaran a la calidad final de la pectina obtenida?		Diseñar un proceso para la obtención de pectina a partir de cáscaras de zanahoria blanca ( <i>Arracacia xanthorrhiza</i> ) y zanahoria amarilla ( <i>Daucus carota</i> ).	El tipo de zanahoria empleada en la obtención de pectina afecta a la calidad y el rendimiento del producto terminado.	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS	MÉTODOS DE ANÁLISIS
<p>¿De qué manera los resultados de las pruebas físicas se relacionan en el proceso de obtención de pectina de diferentes tipos de zanahorias?</p> <p>¿De qué manera los resultados de las pruebas químicas se relacionan con el proceso de obtención de pectina con diferentes variedades de zanahorias?</p>	<p>Caracterizar las cáscaras de zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) y zanahoria amarilla (<i>Daucus carota</i>) mediante la norma técnica NTE INEN 1750.</p> <p>Obtener a escala de laboratorio pectina a partir de zanahoria blanca (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>) y zanahoria amarilla (<i>Daucus carota</i>) utilizando la técnica de extracción ácida.</p> <p>Validar el diseño de obtención de pectina mediante la caracterización físico-química y estructural basada en la norma AOAC y método estandarizado de Owen.</p>	<p>El rendimiento obtenido se ve afectado por las técnicas empleadas en la obtención de pectina.</p> <p>Las características químicas de la pectina dependerán del tipo de zanahoria que se utilice para la extracción.</p> <p>El análisis de las pruebas físicas de la pectina obtenida establece la calidad final según la comparación con la norma INEN. 0427: Requisitos para conservas vegetales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosidad, (cP)</li> <li>• pH</li> <li>• Rendimiento, (%)</li> <li>• Contenido de metoxilo, (%)</li> <li>• Contenido de humedad, (%)</li> <li>• Grados Brix, (°)</li> <li>• Contenido de cenizas (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición directa con el viscosímetro</li> <li>• Prueba en un pH metro</li> <li>• Midiendo la masa de pectina obtenida</li> <li>• Adición de agentes químicos.</li> <li>• Medición con el termómetro</li> <li>• Medición por el método de desecado</li> <li>• Medición con el refractómetro</li> </ul>

Realizado por: RAMIREZ, Cristian. 2019.

### **3.3. Tipo y diseño de la investigación**

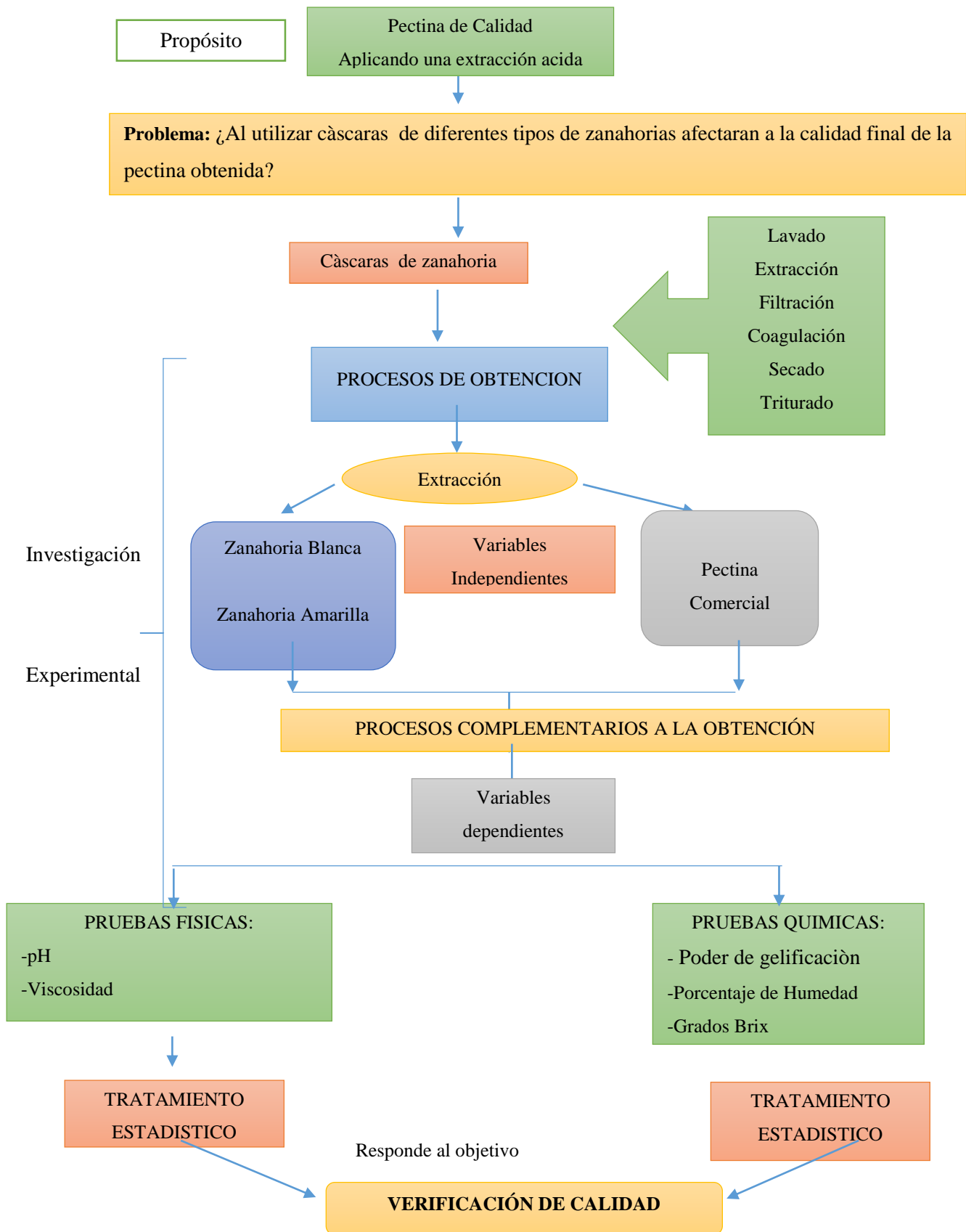
#### *3.3.1. Tipo de investigación*

Esta investigación es de tipo experimental donde se va a realizar la obtención de pectina llevando a cabo diferentes experimentos en el laboratorio variando las variedades de la zanahoria. Con esta investigación se espera obtener pectina que sea de buena calidad y de características similares a la pectina comercial que existe en el mercado.

Además, es de tipo descriptiva ya que se recopiló información de bibliografía referente a diferentes procedimientos de obtención de pectinas y evaluación de la calidad para poder formular una receta que pueda ser aplicada a la industria con lo que se generara nuevos conocimientos a partir de premisas establecidas y que le permitirán al investigador generar sus juicios de valor a partir de la experimentación y de los resultados que se obtengan en la investigación.

#### *3.3.2. Diseño de la investigación*

Esta investigación es de tipo experimental debido a que se va a realizar la extracción de la pectina con la experimentación de diferentes técnicas, con la variación del tipo de zanahoria utilizado en la extracción de pectina. Dentro de los resultados obtenidos en los análisis respectivos se aceptó o rechazó las hipótesis propuestas. A continuación, se presenta esquemáticamente el diseño experimental de la investigación.



### 3.4. Unidad de análisis

Para la presente investigación la unidad de análisis fue un kilogramo de cáscaras de zanahoria, a la cual se le realizaron los procesos de transformación con diferentes procesos de extracción y también se le realizaron las pruebas físicas, químicas para determinar la calidad final.

### 3.5. Población de estudio

La población de estudio constituyó la cantidad de zanahorias procesadas en la provincia de Chimborazo que son los mercados donde se adquirieron las cáscaras de zanahoria, diariamente se producen 0.5 toneladas, ya que es una hortaliza que se cultiva con fines de explotación y para el consumo de las familias en las zonas rurales y urbanas de la provincia.

### 3.6. Tamaño de la muestra

Del total de la población se escogió un tamaño experimental de nueve kilogramos de cáscaras de zanahorias debido a que en la presente investigación se necesitan probar 2 lotes de producción, para lograr cumplir con los requerimientos de la investigación y los requerimientos del laboratorio. Para escoger el tamaño de la muestra se utilizó la ecuación 3-1.

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + z^2 * p * q}$$

Ec. 3-1

Donde:

n: Tamaño de la muestra, g.

z: nivel de confianza, 1.96.

p: Probabilidad de éxito esperada, 0,95%.

N: Tamaño de la población, 0.5 Tn (Tomado de datos de producción de zanahoria en la provincia de Chimborazo y recopilados en INEC, 2018); el valor es escogido del total de zanahoria que se produce en la provincia; además que en el estudio no se define la cantidad exacta de acuerdo al tipo de zanahoria. De acuerdo con esto la muestra para cada muestra se toma el resultado dividido para dos.

Q: Probabilidad de fracaso, 0.05%.

e: Error Experimental, 0.05.

Se reemplaza los valores en la ecuación 1-3.

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + z^2 * p * q}$$
$$n = \frac{0.5 * 1.96^2 * 0.95 * 0.05}{0.05^2 * (0.5 - 1) + 1.96^2 * 0.95 * 0.05}$$
$$n = 9 \text{ kg}$$

Para calcular el tamaño de muestra de acuerdo a cada variedad de zanahoria se utiliza la siguiente formula:

$$n_{zb} = \frac{n}{2}$$

Ec. 3-2

Donde:

n: Tamaño de la muestra, kg.

N<sub>zb</sub>: Tamaño de la muestra por variedad de zanahoria, kg. Se asume el tamaño de muestra igual para las dos variedades de zanahoria. Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$n_{zb} = \frac{9}{2}$$

$$n_{zb} = 4.5 \text{ kg}$$

Por lo tanto, se trabajó 4.5 kg de zanahoria blanca y amarilla para el proceso experimental.

### 3.7. Selección de la muestra

Para la selección de la muestra se utilizó el siguiente procedimiento:

- Primero se hizo una visita al mercado mayorista de la ciudad de Riobamba (lugar donde se adquirieron las zanahorias) para determinar las características de la muestra.

- Después para escoger las zanahorias que mejormente se ajusten a las condiciones experimentales se verificó visualmente que no presente manchas, moho, sustancias extrañas sobre las cáscaras que afecten a la calidad final del producto.
- Una vez verificado el paso anterior se adquirió las dos variedades de zanahorias y fueron transportadas en el lapso de una hora al laboratorio donde se realizó los procesos para obtener pectina evitando que el tiempo de almacenamiento sea excesivo ya que puede causar putrefacción de la hortaliza.

### 3.8. Técnica de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó bitácoras de investigación, en donde el investigador anoto las técnicas empleadas para cada etapa productiva, además de que anoto los errores que observo en cada proceso y también anoto los resultados de cada etapa de producción, estos apuntes serán recogidas en un documento de Word para la interpretación de resultados.

Para la etapa de resultados el investigador recolecto la información que se obtiene en las diferentes pruebas que se realice a la pectina, al final los datos fueron recolectados en hojas de Excel que constituye la base de datos para el tratamiento y obtención de resultados.

A continuación, para la interpretación de los resultados se utilizó el diseño experimental aleatorizado donde se evaluó la interacción que tienen las diferentes especies de zanahorias (zanahoria blanca y zanahoria amarilla) y la calidad final del producto mediante el empleo de la caracterización física y química del producto terminado. Para el análisis de los resultados se utilizó el método estadístico de regresión simple cuya ecuación matemática es:

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

Ec. 4-2.

Donde:

$Y_{ij}$  = Valor del parámetro en determinación

$\mu$  = Efecto de la media general

$\alpha_i$  = Efecto de los tratamientos (diferentes tipos de zanahorias)

$\epsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental

Para poder realizar el diseño experimental se debe realizar el esquema del experimento establecido en las tablas 1-3 y 2-3 en donde se describen el tamaño de la muestra, las repeticiones y el tamaño de la unidad experimental, con este esquema se procedió al análisis de las respuestas obtenidas. Los valores obtenidos al diseño experimental se reportan en el anexo A.

El número de repeticiones a realizarse en la presente investigación se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$R = 2n_v - \left(\frac{n_v * t}{2}\right)$$

Ec. 5-2.

Donde:

R: Numero de repeticiones, unidades.

$n_v$ : Numero de variables, unidades.

T: Numero de tratamientos, unidades.

Se reemplaza en la ecuación 5-2:

$$R = 8 * 2 - \left(\frac{8 * 3}{2}\right)$$

$$R = 4 \text{ unidades}$$

El número de repeticiones será igual a 4 por cada tipo de zanahoria para minimizar los errores producidos y para mejorar la precisión de los resultados obtenidos, las variables independientes son la variedad de la zanahoria empleada y las variables dependientes son las pruebas físico-químicas realizadas a la pectina extraída.

**Tabla 1-3:** Esquema del Experimento

<b>Producto para la obtención de pectina</b>	<b>Código</b>	<b>Repetición</b>	<b>T.U.E</b>	<b>Total de pectina</b>
Pectina comercial	T0	4	1	4
Zanahoria Blanca	T1	4	1	4
Zanahoria Amarilla	T2	4	1	4
Total de muestras				12

T.U.E: Tamaño de la unidad experimental

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Tabla 2-3:** Esquema del análisis de la varianza (ADEVA)

<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Varianza</b>	<b>Valor de Fisher</b>	<b>Probabilidad</b>
Suma de cuadrados totales	Grados de libertad totales	Varianza Total	---	---
Suma de cuadrados por repetición	Grados de libertad por repetición	Varianza de las repeticiones	---	---
Suma de cuadrados por ensayo	Grados de libertad por ensayos	Varianza de los ensayos	---	---

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

Se describe el esquema del ADEVA, que permite relacionar la significancia de los datos y como estos se ajustan a la campana de Gauss que mide la normalidad de los datos y permite ajustar el error experimental hasta un margen de aceptación (95%) con lo cual se afirma las hipótesis planteadas en la investigación.

**Tabla 3-3:** Esquema del análisis de la varianza (ADEVA)

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	11
Tratamiento	2
Error	9

Realizado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

### **3.9. Desarrollo experimental**

#### *3.9.1. Localización del experimento*

Las muestras fueron recolectadas en el mercado “San Alfonso” ubicado en el cantón Riobamba provincia de Chimborazo, y el desarrollo de la parte experimental se realizó en los laboratorios de Química Analítica y Analítica Instrumental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba, Panamericana 1 ½, las condiciones experimentales están descritas en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Condiciones experimentales de la ciudad de Riobamba

<b>INDICADORES</b>	<b>2017</b>
Temperatura (°C).	13,45
Precipitación (mm/año).	42,8
Humedad relativa (%).	61,4
Viento / velocidad (m/s).	2,50

**Fuente:** Estación Meteorológica de la Facultad de Recursos Naturales. (2017).

### 3.9.2. Materiales y equipos

**Tabla 5-3:** Materiales y equipos utilizados en el muestreo de las cáscaras de zanahorias adquiridas en el mercado “San Alfonso”

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Guantes	Balanza
Mandil	
Fundas Plásticas	
Recipiente Plástico	

**Elaborado por:** RAMÍREZ, Cristian. 2019.

**Tabla 6-3:** Materiales, equipos y reactivos utilizados en la obtención de pectina a partir de las diferentes variedades de zanahoria adquiridas en el mercado “San Alfonso”

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Guantes	Estufa eléctrica	Agua
Mascarilla	Balanza analítica	Ácido Sulfúrico
Cofia	Equipo de titulación	Hidróxido de Sodio
Mandil	Termómetro	Ácido cítrico
Papel aluminio	Reverbero	Alcohol Etílico
Papel filtro	Mufla Eléctrica	
Grapas		
Vasos de precipitación		
Matraz Erlenmeyer		
Vidrio reloj		
Pipeta		
Probeta		
Bureta		
Espátula		
Mortero y pistilo		
Kitasato		

**Realizado por:** RAMIREZ, Cristian. 2019.

**Tabla 7-3:** Materiales, equipos y reactivos utilizados para la caracterización de la extracción de pectina a escala de laboratorio

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Pipetas	Espectrofotómetro Infrarrojo	Agua
Balones de aforación	Cromatografía de gases Agilent Technologies Modelo 7820A	Fenolftaleína
Vidrio reloj	Columna Agilent HP-5MSUI	Ateromixol
Espátula		Hidróxido de Potasio
Bureta		Policosanol
Soportes universales		
Pinzas		

Realizado por: RAMIREZ, Cristian. 2019.

### 3.10. Pruebas físico-químicas para la pectina

#### 3.10.1. Determinación del contenido de Grados Brix.

**Tabla 8-3:** Determinación del contenido de grados Brix por el método del refractómetro.

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refractómetro</li> <li>• Piseta.</li> <li>• Vaso de precipitación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución tampón de pH4, pH7 y pH9.</li> <li>• Agua destilada.</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectuar la determinación por duplicado sobre la muestra.</li> <li>• Lavar los electrodos del refractómetro con agua destilada y calibrar el aparato a la temperatura de la muestra, utilizando una solución de referencia cuyos grados Brix sean similar al esperado para la muestra. En todo caso, deberán seguirse las instrucciones del fabricante.</li> <li>• Colocar la muestra sobre el cristal del refractómetro y efectuar la determinación de los grados Brix.</li> </ul>	
<b>Cálculos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación, en unidades de grados Brix hasta la primera cifra decimal.</li> <li>• Debe indicarse la temperatura a la que se realizó la determinación.</li> <li>• En el informe de resultados, debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma, o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.</li> <li>• Deben incluirse todos los datos necesarios para la completa identificación de la muestra.</li> </ul>	

Fuente: (INEN, 2014).

### 3.10.2. Determinación del pH de la pectina

**Tabla 9-3:** Determinación del pH por el método del potenciómetro norma NTE INEN 0427.

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potenciómetro</li> <li>• Piseta.</li> <li>• Vaso de precipitación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución tampón de pH4, pH7 y pH9.</li> <li>• Agua destilada.</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectuar la determinación por duplicado sobre la muestra.</li> <li>• Lavar los electrodos con agua destilada y calibrar el aparato a la temperatura de la muestra, utilizando una solución de referencia cuyo pH sea similar al esperado para la muestra. En todo caso, deberán seguirse las instrucciones del fabricante.</li> <li>• Colocar la muestra en el vaso de precipitación; introducir los electrodos y efectuar la determinación del pH.</li> </ul>	
<b>Cálculos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación, en unidades de pH hasta la primera cifra decimal.</li> <li>• Debe indicarse la temperatura a la que se realizó la determinación.</li> <li>• En el informe de resultados, debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma, o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.</li> <li>• Deben incluirse todos los datos necesarios para la completa identificación de la muestra.</li> </ul>	

Fuente: (INEN, 2014).

### 3.10.3. Determinación de la viscosidad

**Tabla 10-3:** Técnica utilizada para la determinación de la viscosidad de acuerdo a la norma NTE INEN 0427.

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes, Latas de aproximadamente 0,5 L de capacidad y 85 mm de diámetro o latas de 1L, 100 mm de diámetro.</li> <li>• Termómetro, Con un rango de 20 °C a 70 °C y conforme a los requisitos para el termómetro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viscosímetro análogo o digital Brookfield</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llevar el fluido a una temperatura de 25 °C (o a otra temperatura acordada antes del ensayo), agitar vigorosamente la muestra en el agitador o equivalente por 10 min, retirar del agitador y dejar reposar por 60 min a 25 °C antes de ensayar.</li> <li>• De acuerdo con la velocidad y el rotor empleado obtener un factor, el cual depende del equipo utilizado, que multiplicado por la lectura en la escala, determina el valor de la viscosidad. En el caso del Viscosímetro digital, prender el viscosímetro, ajustarlo a las r/min seleccionadas para el material bajo ensayo. Dejar correr el viscosímetro hasta que la lectura digital se haya estabilizado.</li> </ul>	
<b>Cálculos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación, en unidades de viscosidad hasta la primera cifra decimal.</li> <li>• Debe indicarse la temperatura a la que se realizó la determinación.</li> <li>• En el informe de resultados, debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma, o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.</li> <li>• Deben incluirse todos los datos necesarios para la completa identificación de la muestra.</li> </ul>	

Fuente: (INEN, 2014).



### 3.10.5. Determinación del contenido de metoxilo

**Tabla 12-3:** Determinación del contenido de metoxilo en pectina de acuerdo al procedimiento de Owen según norma INEN 0427.

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matraz Erlenmeyer</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Balones de aforación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Indicador rojo fenol</li> <li>✓ Cloruro de sodio</li> <li>✓ Agua Destilada</li> <li>✓ Hidróxido de sodio</li> <li>✓ Muestra de pectina obtenida del peso equivalente</li> <li>✓ Ácido Clorhídrico</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agregue 25 ml de NaOH, 0,25N a la solución neutra procedente del peso equivalente. Agítela vigorosamente y déjala en reposo a temperatura ambiente, en matraz con tapa por 30 min.</li> <li>✓ Agréguese 25 ml de HCl 0,25 N (o una cantidad equivalente a la base agregada) y titule con NaOH 0,1N.</li> </ul>	
<b>Cálculos</b>	
El contenido de metoxilo en la pectina se determina mediante la siguiente fórmula:	
$\% \text{ Metoxilo} = \frac{\text{ml de álcali} * \text{Normalidad de álcali} * 31 * 100}{\text{Peso de la muestra}} * 100$	

Fuente: (AOAC, 2007).

### 3.10.6. Determinación del poder de gelificación

**Tabla 13-3:** Determinación del poder de gel en pectina de acuerdo al procedimiento de Owen, según norma INEN 0427.

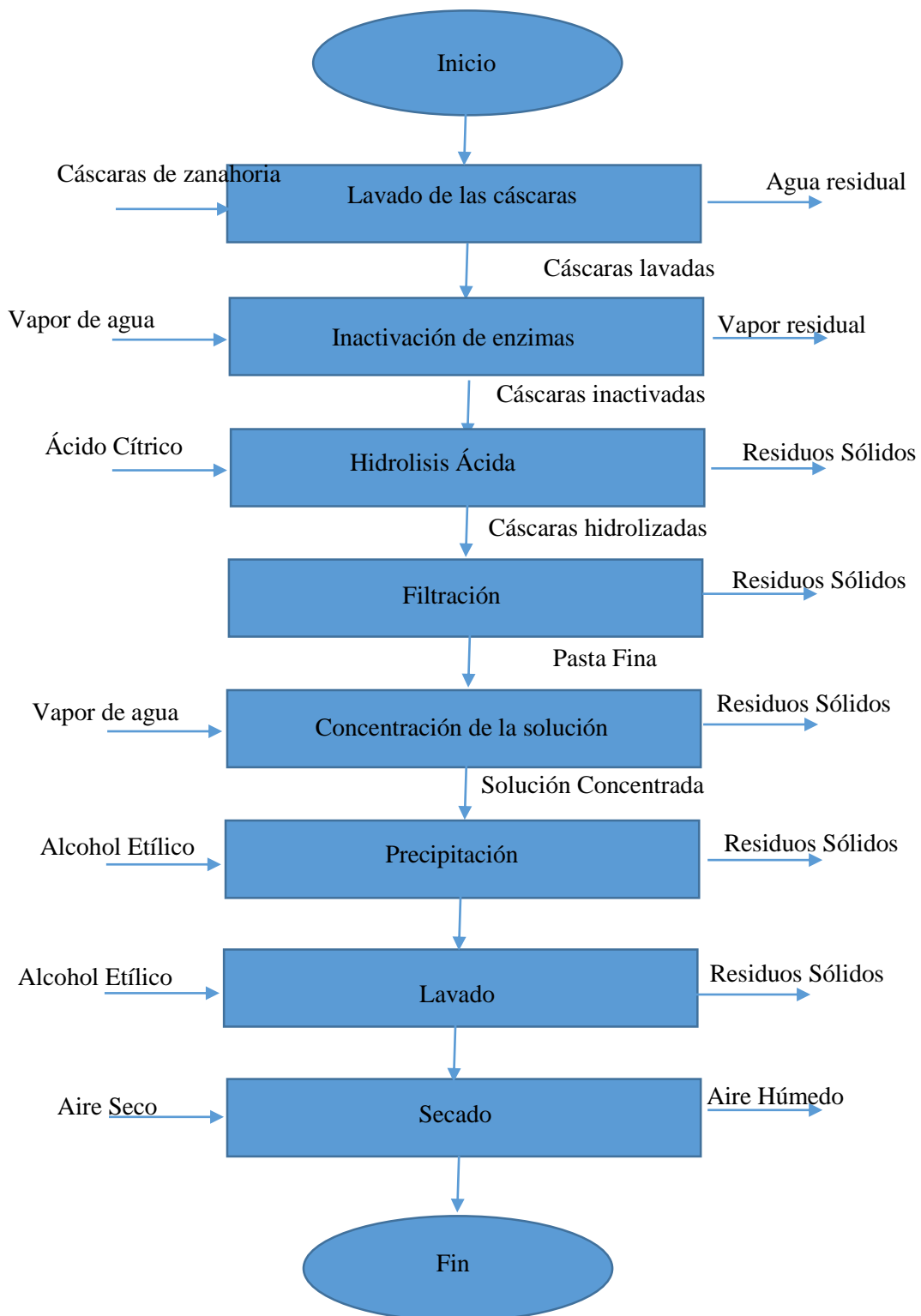
<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Matraz Erlenmeyer</li> <li>✓ Secador de bandejas</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Balones de aforación</li> <li>✓ Penetró metro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ácido Tartárico</li> <li>✓ Azúcar</li> <li>✓ Agua Destilada</li> <li>✓ Jalea</li> <li>✓ Muestra de pectina obtenida del peso equivalente</li> <li>✓ Ácido Clorhídrico</li> </ul>
<b>Procedimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se preparan las jaleas con los grados de pectina establecidas.</li> <li>✓ Una vez ya obtenida la jalea se deja en refrigeración por 48 h, luego se desmolda y a temperatura no mayor de 18°C, se lleva al equipo penetró metro OB- Labor 24 para la medición de fuerza de ruptura de la jalea aplicándolo una fuerza aproximada de <math>3,7 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^2</math> durante 5 segundos.</li> <li>✓ Luego se procede a determinar los mm de la aguja del penetró metro que se introdujo en la jalea</li> </ul>	
<b>Cálculos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación, en unidades de fuerza hasta la primera cifra decimal.</li> <li>• Debe indicarse la temperatura a la que se realizó la determinación.</li> </ul>	

Fuente: (INEN, 2014).

### 3.11. Técnicas de obtención de pectina a escala de laboratorio

Para realizar el proceso de extracción de la pectina se utilizó el método de extracción acida debido a que es el método que bibliográficamente reporta mayor rendimiento en la obtención de pectina, comparando entre el 10% reportado en bibliografía para la extracción acida mientras que para la extracción básica los resultados fueron iguales a 6% cuando se extrajo pectina de la misma variedad de cáscaras de naranja.

Esto permite que al ser las cáscaras de zanahoria materia prima que no se ha probado en otras experimentaciones se asegure el éxito de la conversión en pectina y no se reporten datos que afecten en la obtención a escala de laboratorio, este procedimiento se siguió para las dos variedades de zanahoria que se estudiaron en la presente investigación, el procedimiento se detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y las variables de proceso se detallan en la tabla 4-4; tomando como base de cálculo para la obtención de pectina 1 kg de cáscaras.



**Figura 1-3:** Método de extracción de pectina utilizando como materia prima cáscaras de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



### 3.12. Determinación de las condiciones de operación para la obtención de pectina a escala de laboratorio

**Tabla 14-3:** Variables en cada etapa de extracción de pectina utilizando diferentes variedades de cáscaras de zanahoria

<b>Lavado</b>		
<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Medida</b>
Volumen de agua	1:2	Relación cáscaras de zanahoria: agua
<b>Inactivación de Enzimas</b>		
Temperatura del vapor de agua	120	°C
Tiempo	20-30	minutos
<b>Hidrólisis Ácida</b>		
Concentración de ácido cítrico	1.5-2	Normal
pH final	3.0-3.2	-
Tiempo	70-80	minutos
Temperatura	80-85	°C
Cantidad de ácido cítrico	1:25	Relación masa cáscaras de zanahoria: volumen de ácido cítrico
<b>Filtración</b>		
Tamaño del tamiz	450-650	Micrómetros
<b>Concentración</b>		
Temperatura del vapor	80-85	°C
Volumen Final	2-2.5	litros
<b>Precipitación</b>		
Volumen de etanol	3:1	Relación volumen de solución concentrada: volumen de etano
<b>Secado</b>		
Temperatura del aire a la entrada	60	°C

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 3.12.1. Determinación del rendimiento en el proceso de obtención de pectina

Es necesario conocer la cantidad de sustancias producidas por efecto de la transformación de la cáscaras de zanahorias en pectina, para el cálculo del balance de masa en cada una de las operaciones se emplea la ecuación 1-4.

$$E_p + \text{Generación} = S_p - \text{Acumulación}$$

**Ec. 4-1.**

Donde:

$E_p$ : Entrada de materia prima, g.

$S_p$ : Salida de productos, g.

En la totalidad de los procesos de obtención de pectina se dieron únicamente procesos químicos, por lo que la generación y acumulación se anuló, realizando el balance de masa se anula la acumulación y la generación de productos.

### 3.12.2. Lavado de la cáscara

El lavado de cáscaras se realizó para eliminar las impurezas de las cáscaras de naranja, el balance de masa se realizó de acuerdo a la ecuación 2-4, los valores obtenidos al utilizar zanahoria blanca.

$$E_c + E_w = S_c + S_w$$

**Ec. 2-4.**

Donde:

$E_c$ : Entrada de cáscaras, 550 g.

$E_w$ : Entrada de agua, 1 g.

$S_c$ : Salida de cáscaras, g.

$S_w$ : Salida de agua residual, 2 g.

Se reemplaza en la ecuación 4-2 para obtener la cantidad de cáscaras después del lavado obtenida.

$$S_c = 550 + 1 - 2$$

$$S_c = 459 \text{ g}$$

El rendimiento del proceso de lavado se calcula de acuerdo a la ecuación 3-4.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cáscara lavada}}{\text{Cáscara de zanahoria amarilla}} * 100$$

Se reemplaza en la ecuación 3-4.

$$\text{Rendimiento} = \frac{549}{550} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 99.78\%$$

### 3.12.3. Inactivación de enzimas

La inactivación de enzimas se realizó con vapor de agua para eliminar las proteínas y otros componentes no necesarios en el proceso de extracción, el balance de masa para determinar la cantidad de productos no deseados se realiza mediante la ecuación 2-4, para la zanahoria blanca el resultado es igual a.

$$S_i = E_{cl} - S_i$$

**Ec. 3-4**

Donde:

$S_i$ : Salida de impurezas, g.

$E_{cl}$ : Salida de cascara lavada, 448.8 g.

$S_i$ : Salida de impurezas, 8 g.

Se reemplaza en la ecuación 3-4.

$$S_i = 448.8 - 8$$

$$S_i = 440.8 \text{ g}$$

Mediante la ecuación 4-4, se calcula el rendimiento del proceso de inactivación de enzimas para la extracción de pectina.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad de zanahoria inactivada}}{\text{Cantidad de zanahoria lavada}} * 100$$

**Ec. 4-4**

$$\text{Rendimiento} = \frac{440.8}{448.8} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 98.20\%$$

### 3.12.4. Hidrolisis

Mediante la hidrolisis se precipitan los componentes principales de la pectina, esto se logra con la adición de ácido nítrico, que genera que la celulosa se hidrolice y forme la pectina, para determinar la cantidad de pectina hidrolizada se emplea la ecuación 5-4.

$$S_{pi} = E_{zi} - S_{im}$$

**Ec. 5-4.**

Donde:

$E_{zi}$ : Entrada de cáscaras sin impurezas, g.

$S_p$ : Salida de producto hidrolizado, g.

$S_{im}$ : Salida de impurezas, g.

$$S_{pi} = 440.72 - 7.50$$

$$S_{pi} = 433.22$$

El rendimiento para el proceso de hidrolisis de la cascara de zanahoria se calcula de acuerdo a la ecuación 6-4.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cáscara hidrolizada}}{\text{Cáscara inactivada}} * 100$$

**Ec. 6-4.**

$$\text{Rendimiento} = \frac{433.22}{440.8} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 98.30\%$$

### 3.12.5. Filtración

Esta operación se realizó para evitar la presencia de sólidos gruesos que afecten al proceso de concentración de la cascara de zanahoria, la filtración se realizó con un tamiz de 650  $\mu\text{m}$  de luz de malla, el balance de masa para determinar la cantidad de zanahoria filtrada se calcula de acuerdo a la ecuación 7-4.

$$S_{cf} = E_{ci} - S_{sg}$$

**Ec. 7-4.**

Donde:

$S_{cf}$ : Salida de cáscara filtrada, g.

$E_{ci}$ : Entrada de cáscara hidrolizada, g.

$S_{sg}$ : Salida de solidos gruesos, g.

Se reemplaza los valores obtenidos en la parte experimental en la ecuación 7-4.

$$S_{cf} = 433.22 - 1.2$$

$$S_{cf} = 432.02$$

El rendimiento del proceso de filtrado de la cascara de zanahoria hidrolizada, se calcula de acuerdo a la ecuación 8-4.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cáscara filtrada}}{\text{Cáscara hidrolizada}} * 100$$

**Ec. 8-4.**

$$\text{Rendimiento} = \frac{432.02}{433.22} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 99.72\%$$

### 3.12.6. Concentración

La concentración de las cáscaras de zanahoria, se realizó con el fin de aumentar la cantidad de pectina que se pueda obtener en la precipitación, para realizar el balance de masa de la precipitación se utiliza la ecuación 9-4.

$$S_p = E_f - S_i$$

**Ec. 9-4**

Donde:

$S_p$ : Salida de zanahoria concentrada, g.

$E_f$ : Entrada de zanahoria filtrada, g.

$S_i$ : Salida de impurezas, g.

Se reemplaza los valores obtenidos experimentalmente de acuerdo a la ecuación 9-4.

$$S_p = 432.02 - 1.20$$

$$S_p = 430.82 \text{ g}$$

### 3.12.7. Precipitado

El precipitado se realizó para retirar los compuestos que no forman parte de la pectina, esto ayuda a mejorar la pureza del producto obtenido, para el cálculo de la cantidad de pectina después de la precipitación se emplea la ecuación 10-4.

$$S_{pp} = E_i - S_r$$

**Ec. 10-4**

Se reemplaza los valores obtenidos experimentalmente en la ecuación 10-4.

$$S_{pp} = 430.82 - 2.63$$

$$S_{pp} = 428.18 \text{ g}$$

Para calcular el rendimiento del proceso de precipitación de la pectina se calcula de acuerdo a la ecuación 11-4.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida de precipitado}}{\text{Entrada de pectina concentrada}} * 100$$

**Ec. 11-4**

$$\text{Rendimiento} = \frac{428.18}{430.82} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 99.39\%$$

### 3.12.8. Secado

El secado se realizó para reducir la cantidad de agua libre que genera la proliferación de bacterias y puede causar daños en la calidad final de la pectina, además para aumentar los componentes principales que forman la pectina, a continuación, se muestra el procedimiento para el cálculo del balance de masa.

➤ *Balance de masa general*

$$E_p X_3 + E_1 = S_{dp} X_4 + E_2$$

**Ec. 12-4**

Donde:

$E_p$ : Entrada de pectina húmeda, g.

$E_{da}$ : Entrada de aire seco, g.

$S_{dp}$ : Salida de pectina seca, g.

$E_1$ : Entrada de aire seco, g.

$E_2$ : Salida de aire húmedo, g.

$X_3$ : Contenido de humedad de la pectina a la entrada, %.

$X_4$ : Contenido de humedad de la pectina a la salida, %.

➤ *Balance de masa para el componente aire a la entrada*

$$E_1 = E_a * X_1 + E_a$$

**Ec. 13-4**

Donde:

$E_1$ : Entrada de aire seco, g.

$E_a$ : Cantidad de aire a la entrada, g.

$X_1$ : Humedad relativa del aire a 50°C (temperatura de operación), %.

➤ *Balance de masa para el componente aire a la salida*

$$E_2 = E_a * X_2 + E_{a2}$$

**Ec. 14-4**

Donde:

$E_2$ : Salida de aire húmedo, g.

$E_a$ : Cantidad de aire a la salida, g.

$X_1$ : Humedad relativa del aire a 18°C (temperatura de operación), %.

Se reemplaza las ecuaciones 13-4 y 14-4, para el cálculo de la cantidad de aire necesario para el secado de acuerdo a lo que se muestra a continuación.

$$E_p * X_3 + E_a * X_1 + E_a = S_{dp}X_4 + E_a * X_2 + E_a$$

$$E_a = \frac{E_p * X_3 - S_{dp}X_4}{X_1 - X_2}$$

$$E_a = \frac{(428.15 * 0.88) - (50.60 * 0.06)}{0.015 - 0.020}$$

$$E_a = 438.33 \text{ g}$$

El rendimiento para el secado de la pectina obtenida se calcula de acuerdo a la ecuación 15-4.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida de pectina seca}}{\text{Entrada de pectina humeda}}$$

**Ec. 15-4**

$$\text{Rendimiento} = \frac{50.6}{428.18} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 11.82\%$$

### 3.12.9. Molienda

La molienda se empleó para reducir el tamaño de la pectina seca y mejorar su apariencia, para el cálculo de la cantidad de pectina final obtenida se calcula de acuerdo a la ecuación 16-4.

$$S_{pf} = E_{dp} - S_w$$

**Ec. 16-4**

Donde:

$S_{pf}$ : Salida de pectina, g.

$E_{dp}$ : Entrada de pectina seca, g.

$S_w$ : Salida de sólidos gruesos, g.

Se reemplaza los valores obtenidos experimentalmente en la ecuación 16-4.

$$S_{pf} = 50.6 - 2.6$$

$$S_{pf} = 48 \text{ g}$$

El rendimiento para el proceso de molienda de la pectina se calcula de acuerdo a la ecuación 17-3.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida de pectina}}{\text{Entrada de pectina seca}} * 100$$

**Ec. 17-4.**

$$\text{Rendimiento} = \frac{48}{50.60} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 94.86\%$$



## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. Análisis Estadístico de la caracterización de la pectina obtenida

##### 4.1.1. Contenido de grados Brix

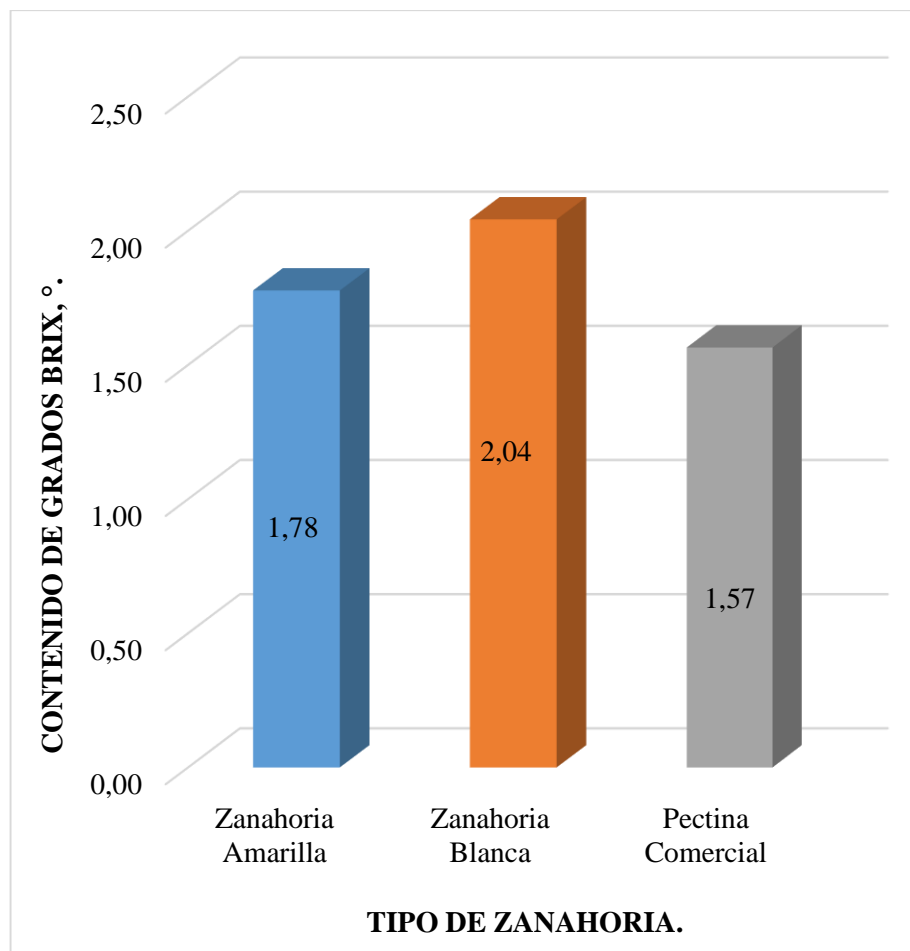
El análisis de los grados Brix de la pectina se realizó para conocer la cantidad de sólidos presentes, es importante que las respuestas a esta prueba no sean elevadas para aumentar la pureza del producto elaborado, en el análisis de la presente prueba en la elaboración de pectina a partir de diferentes tipos de zanahoria y en comparación con la pectina comercial, no se reporta diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias.

Las respuestas con mayor contenido de grados Brix se reporta al elaborar pectina con zanahoria blanca (T2) con medias iguales a  $2.04^\circ$ , que disminuyen a  $1.78^\circ$  al obtener pectina con zanahoria amarilla (T1), mientras que en la pectina comercial (T0) se reporta medias iguales a  $1.57^\circ$  como se muestra en el gráfico 2-1, en la interpretación de resultados los valores de las medias son iguales, por lo que para la presente prueba no se evidencia un cambio de contenido de sólidos en la pectina y se asemeja al contenido de sólidos de la pectina comercial.

**Tabla 1-4:** Análisis estadístico a la prueba rendimiento de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Grados Brix, °.	12	0.17	0	28.05	
F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0.46	2	0.23	0.9	0.439
Tratamiento	0.46	2	0.23	0.9	0.439
Error	2.28	9	0.25		
Total	2.74	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Gráfico 1-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de grados Brix en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.1.2. pH

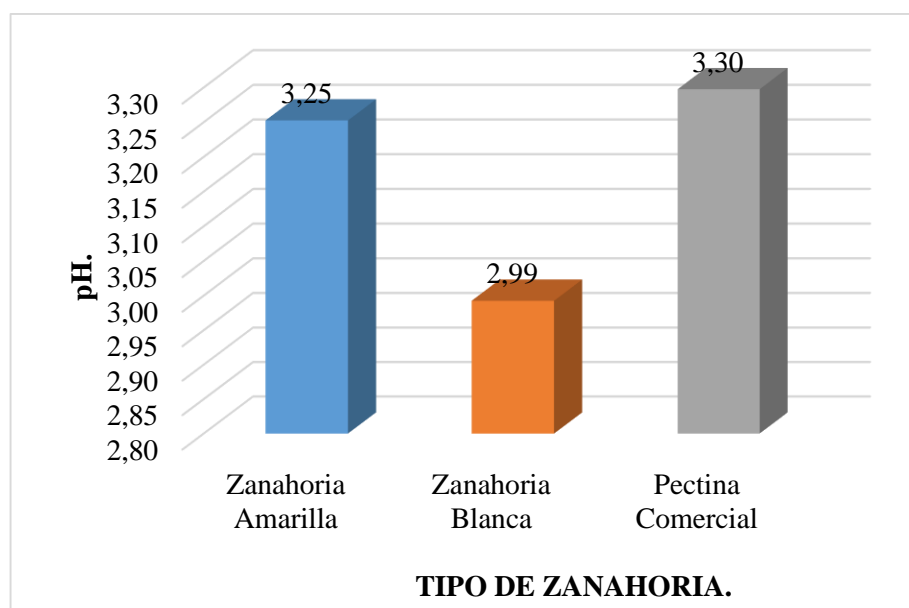
La prueba pH indica el contenido de iones libres presentes en la pectina, por lo general el pH de la pectina es bajo debido a la cantidad de ácidos que se adiciona para la precipitación y concentración del producto, en general se utiliza ácido nítrico y ácido cítrico para poder separar los componentes principales de la pectina, estos no son eliminados en su totalidad, pasando a transformarse y formar parte del producto final.

En el análisis estadístico de las medias al pH en la elaboración de pectina con diferentes tipos de cáscara de zanahoria, no se reportaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias, al adquirir pectina comercial (T0) el pH es igual a 3.30, que disminuye a 3.25 al realizar la producción de pectina con cáscaras de zanahoria amarilla, mientras que al realizar pectina utilizando cáscaras de zanahoria blanca (T2) las medias son iguales a 2.99 como se ilustra en el gráfico 3-4.

**Tabla 2-4:** Análisis estadístico a la prueba pH de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
pH	12	0.21	0.03	9.5	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.22	2	0.11	1.19	0.3488
Tratamiento	0.22	2	0.11	1.19	0.3488
Error	0.82	9	0.09		
Total	1.04	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Gráfico 2-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba pH en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.1.3. Densidad

La prueba densidad se realizó con el uso de un picnómetro y se mide la relación entre el peso y el volumen que ocupa una sustancia, esta característica permite identificar si el producto obtenido tiene la misma cantidad de sólidos en los diferentes tratamientos, en el análisis estadístico de los resultados no se reportó diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) por efecto de la variedad de cáscaras de zanahoria empleada en comparación con pectina comercial.

El análisis numérico indica que cuando se elabora pectina con cáscaras de zanahoria amarilla (T1) con medias iguales a 0.81 g/mL, mismas que disminuyen a 0.809 g/mL cuando se utiliza estudia

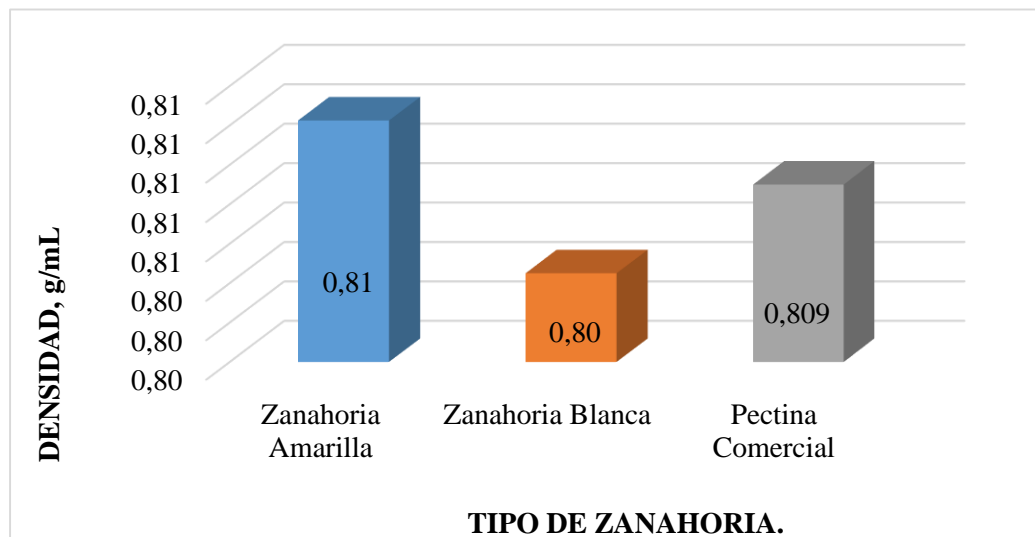
esta característica para la pectina comercial (T0) y en la producción de pectina con cáscaras de zanahoria blanca (T2) se reportan medias iguales a 0.80 g/mL, como se reporta en la tabla 4-4 y se ilustra en el gráfico 4-4.

La diferencia entre los tratamientos es la mínima con esto no existe diferencia entre la cantidad de sólidos que se encuentran presente en la pectina y que son resultado de producir diferentes valores de densidad, alcanzar características similares a la pectina comercial que se vende en el mercado nacional es importante, ya que sirve para validar si el proceso de obtención de pectina fue el adecuado y si se puede emplear residuos de la zanahoria para la transformación y extracción de pectina.

**Tabla 3-4:** Análisis estadístico a la prueba densidad de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Densidad, g/cm <sup>3</sup> .	12	5.60E-04	0	18.84	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.20E-04	2	5.80E-05	2.50E-03	0.9975
Tratamiento	1.20E-04	2	5.80E-05	2.50E-03	0.9975
Error	0.21	9	0.02		
Total	0.21	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Gráfico 3-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba densidad en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.1.4. Contenido de humedad

Evaluar la humedad de la pectina es necesaria para evidenciar la presencia de agua libre y ligada, mientras menor sea este porcentaje el producto mayor será la conservación que tenga y evitara que exista la proliferación de microorganismos y bacterias que disminuyen la calidad del producto, además que asegura mayor tiempo de anaquel.

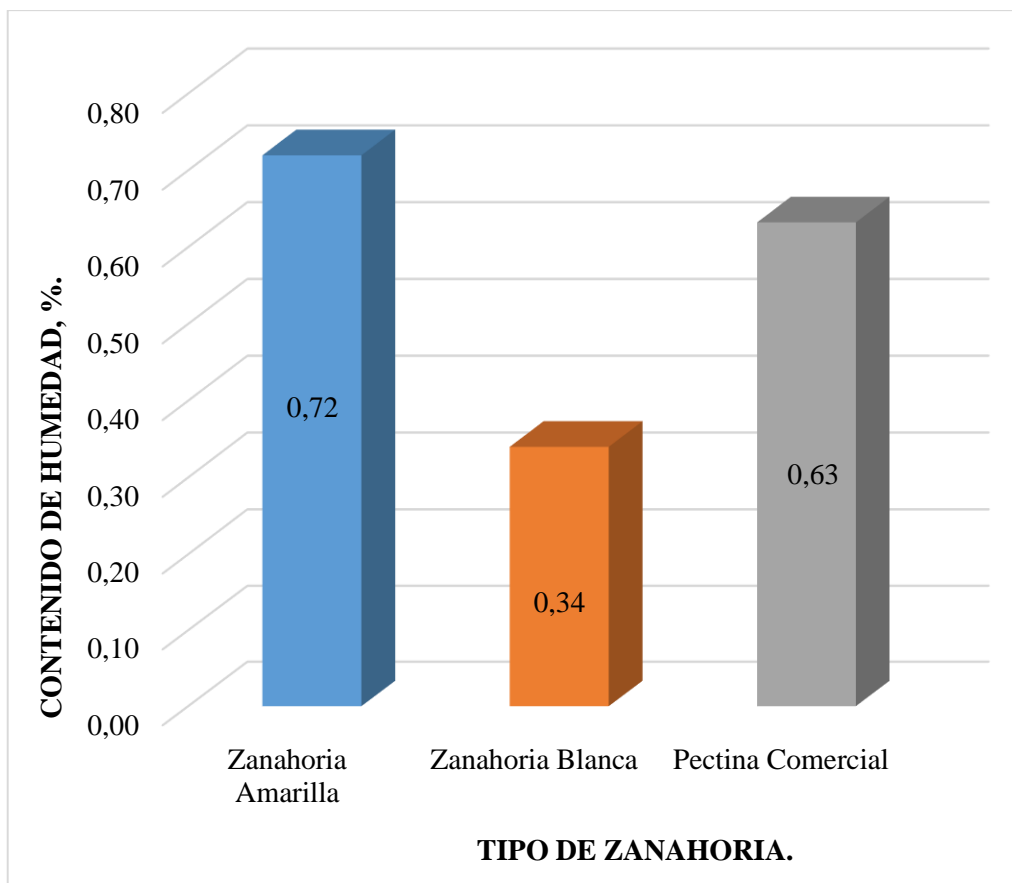
Al elaborar pectina con diferentes tipos de zanahoria y compararlos con pectina comercial para la prueba contenido de humedad no se reportan diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias, en el análisis numérico al elaborar pectina con zanahoria amarilla (T1) se reporta medias iguales a 0.72%, las que disminuyen a 0.63% cuando se estudia la pectina comercial (T0), mientras que al elaborar pectina con zanahoria blanca (T2) se reportan medias iguales a 0.34%, como se muestra en la tabla 5-4 y se ilustra en el gráfico 5-4.

En la comparación de los distintos tipos de pectina, se evalúa que los resultados son semejantes a los de la pectina comercial, eso es indicativo de que los procesos de transformación para la producción de pectina han sido adecuados y se controlaron todas las variables que afecten a las características finales del producto, asegurando así lograr aprovechar los residuos de la zanahoria para nuevos productos agroindustriales.

**Tabla 4-4:** Análisis estadístico a la prueba contenido de humedad de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Humedad, %.	12	0.21	0.04	64.62	
Modelo	0.32	2	0.16	1.2	0.344
Tratamiento	0.32	2	0.16	1.2	0.344
Error	1.19	9	0.13		
Total	1.51	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Gráfico 4-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de humedad en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Realizado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.1.5. Contenido de cenizas

Una de las características principales de los productos vegetales es su contenido de electrolitos como calcio, magnesio, sodio entre otros que afectan a la calidad final de la pectina, ya que se busca que la pectina únicamente sean las cadenas carboxiladas que forman las cáscaras de las zanahorias y son fundamentales en la compactación de la pectina, por lo que en procesos como precipitación y concentración se eliminan los iones antes mencionados con la finalidad que en el producto elaborado el contenido de cenizas sea el mínimo.

En el análisis estadístico de la pectina elaborada con diferentes tipos de cáscaras de zanahoria en comparación a la pectina que se vende en el mercado se reportan diferencias estadísticas ( $P < 0.01^*$ ) entre medias, al analizar el contenido de cenizas de la pectina comercial (T0) se reportan valores iguales a 1.35%, los que disminuyen a 0.85% al elaborar pectina con cáscaras de zanahoria amarilla (T1), a continuación se reportaron las medias cuando se prepara pectina con cáscaras de

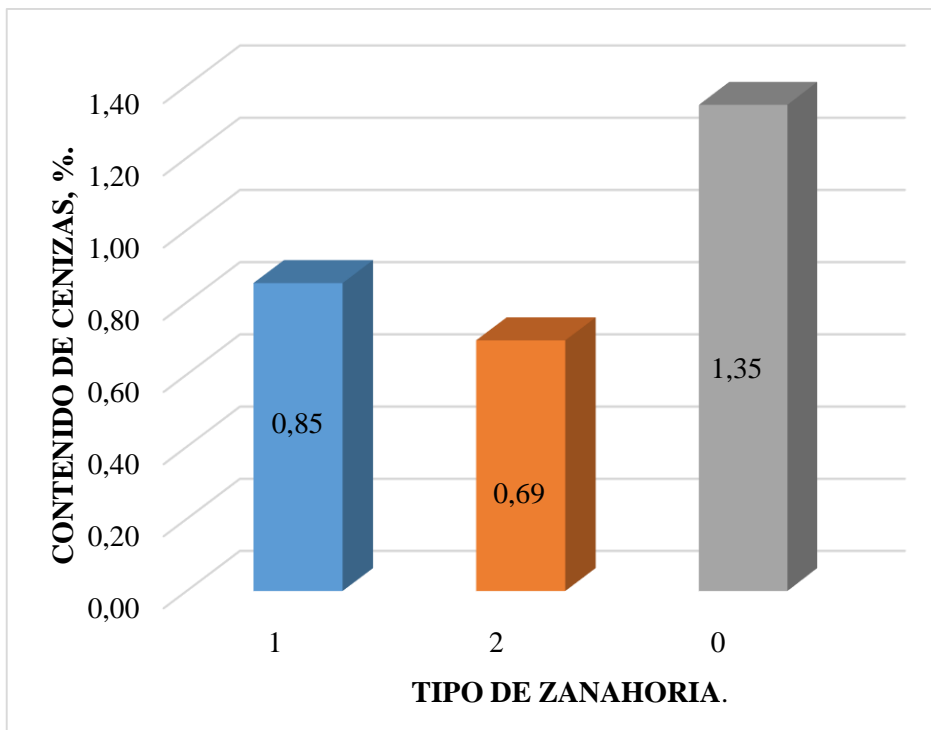
zanahoria blanca (T2) con respuestas iguales a 0.69%, como se muestra en la tabla 6-4 y se ilustra en el gráfico 6-4.

Al existir diferencias estadísticas entre los tratamientos de la investigación se afirma que la procedencia de la materia prima influye directamente en el contenido de cenizas de la pectina, esta es mayor cuando se obtiene pectina con zanahoria blanca y que logra asemejarse a los resultados reportados por la pectina comercial, esto indica las características de las cáscaras de zanahoria y su viabilidad para producir pectina.

**Tabla 5-4:** Análisis estadístico a la prueba contenido de cenizas de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Cenizas, %.	12	0.7	0.64	21.6	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.92	2	0.46	10.58	0.0043
Tratamiento	0.92	2	0.46	10.58	0.0043
Error	0.39	9	0.04		
Total	1.32	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Gráfico 5-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de cenizas en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.1.6. Viscosidad

La característica normal de la pectina comercial es tener una elevada viscosidad, ya que en general es usado para aumentar el espesor, densidad y compactación en los alimentos procesados, por lo que debe ser una característica normal ser viscosa; caso contrario no podrá ser empleada como aditivo químico en la producción de alimentos, esta característica de viscosidad le otorga su alto peso molecular y el gran tamaño de las partículas que forman la estructura principal.

En el análisis estadístico de los resultados obtenidos a la prueba viscosidad al preparar pectina utilizando diferentes variedades de cáscaras de zanahoria, reporta diferencias estadísticas altamente significativas ( $P > 0.01^*$ ) entre medias, con lo que influye directamente el origen de la materia prima en la viscosidad de la pectina.

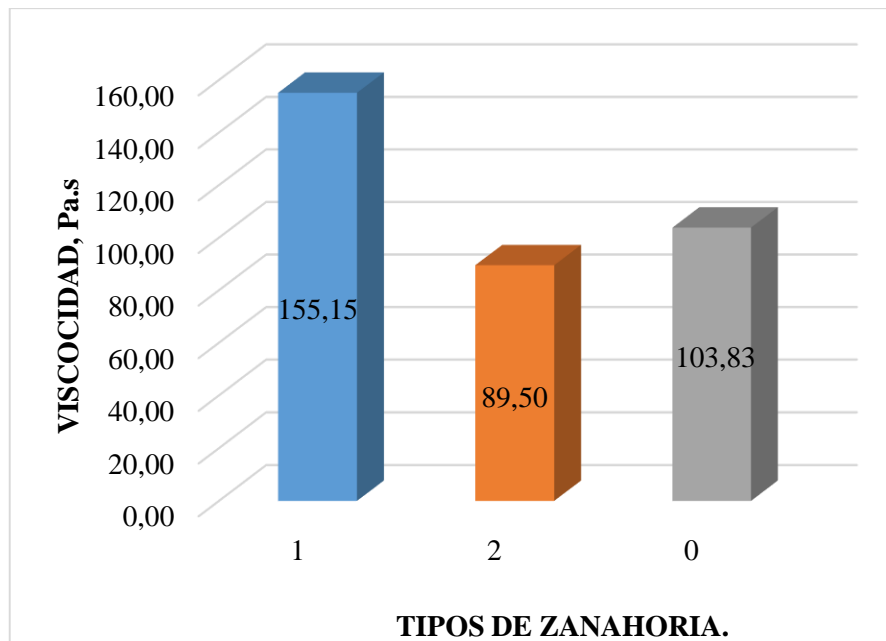
En el análisis numérico de los resultados al elaborar pectina con cáscaras de zanahoria blanca (T1) se obtuvo valores iguales a 155.15 Pa·s; los que disminuyen a 103.93 Pa·s; al evaluar la viscosidad en la pectina comercial (T0), a continuación, se reportaron los valores obtenidos al preparar pectina con cáscaras de zanahoria amarilla (T2) con medias iguales a 89.50 Pa·s; resultados que se muestran en la tabla 15-4 y se ilustran en el gráfico 7-4.

**Tabla 6-4:** Análisis estadístico a la prueba contenido de cenizas de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
Viscosidad, Pa.s	12	0.54	0.44	25.69	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	9531.77	2	4765.89	5.35	0.0294
Tratamiento	9531.77	2	4765.89	5.35	0.0294
Error	8014.84	9	890.54		
Total	17546.61	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.





**Gráfico 6-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba viscosidad en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.1.7. Contenido de grupos metoxilo

La pectina se forma básicamente de ácido galacturónico y cadenas de metanol, esto hace que se formen cadenas laterales metoxiladas, por lo general a la pectina se le clasifica en pectinas de alto metoxilo si tienen una concentración mayor a 5% de metoxilo y pectinas de bajo metoxilo con concentraciones menores a 5%, difiriendo sus características en base a la presencia o no de este grupo, pero en general las pectinas de bajo metoxilo tienen mejores características a las de alto.

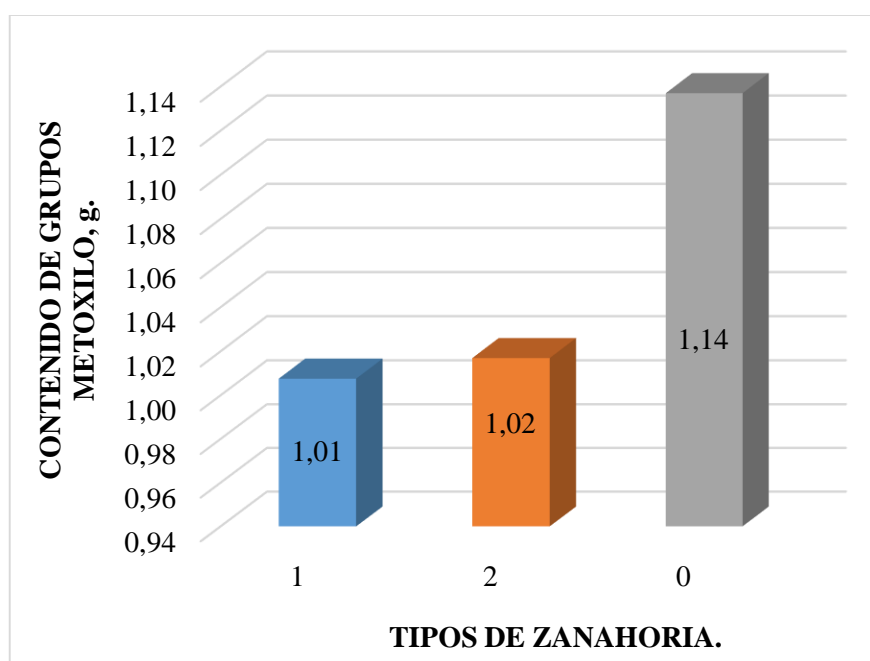
En el análisis estadístico de los resultados en la evaluación de presencia del grupo metoxilo al elaborar pectina con diferentes tipos de zanahoria y al comparar con pectina comercial, no se reportaron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias, de acuerdo a estos resultados se interpreta que no influye directamente la materia prima en la presencia del grupo metoxilo y que se logra emular las características de la pectina comercial.

En el análisis numérico de los resultados al evaluar el contenido de grupos metoxilo en la pectina comercial (T0) se obtiene resultados iguales a 1.14 g, mismos que disminuyen a 1.02 g; al preparar pectina con zanahoria cáscaras de zanahoria blanca (T1), en la pectina preparada con cáscaras de zanahoria amarilla (T2) se reportan medias iguales a 1.01 g, estos resultados se muestran en la tabla 16-4 y se ilustran en el gráfico 8-4.

**Tabla 7-4:** Análisis estadístico a la prueba contenido de grupos metoxilo de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Metoxilo, g.	12	0.17	0	14.05	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	2	0.02	0.94	0.4273
Tratamiento	0.04	2	0.02	0.94	0.4273
Error	0.2	9	0.02		
Total	0.24	11			

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.



**Gráfico 7-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba contenido de metoxilo en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

## 4.2. Análisis estadístico de las condiciones de operación para la obtención de pectina.

### 4.2.1. Análisis del rendimiento por etapa

#### 4.2.1.1. Lavado de la cáscara

En la tabla 1-4, se muestra los datos obtenidos en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 8-4:** Rendimiento en el lavado de la zanahoria para la extracción de pectina.

Tratamiento	Muestra de zanahoria, g.	Muestra de zanahoria lavada, g.	Cantidad de agua a la entrada, g.	Cantidad de agua residual, g.	Rendimiento, %
Zanahoria Amarilla	450	448.8	1	2.2	99.73
Zanahoria Amarilla	450	449	1.2	2.2	99.78
Zanahoria Amarilla	450	449.05	1.2	2.15	99.79
Zanahoria Amarilla	450	448.9	1	2.1	99.76
Zanahoria Blanca	450	448.97	1.1	2.13	99.77
Zanahoria Blanca	450	449.3	1.3	2	99.84
Zanahoria Blanca	450	448.6	1.1	2.5	99.69
Zanahoria Blanca	450	449.4	1.4	2	99.87
Pectina comercial	450	449.1	1.5	2.4	99.80
Pectina comercial	450	449	1.2	2.2	99.78
Pectina comercial	450	448.7	1	2.3	99.71
Pectina comercial	450	448.95	1.2	2.25	99.77

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.2. Inactivación de enzimas

En la tabla 2-4, se muestra los datos obtenidos para la inactivación de enzimas en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 9-4:** Rendimiento en la extracción de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Muestra de zanahoria lavada, g.</b>	<b>Cantidad de residuos, g.</b>	<b>Cantidad de zanahoria inactivada, g.</b>	<b>Rendimiento, %</b>
Zanahoria Amarilla	448.8	8.08	440.72	98.20
Zanahoria Amarilla	449	8.15	440.85	98.18
Zanahoria Amarilla	449.05	8.16	440.89	98.18
Zanahoria Amarilla	448.9	8.16	440.74	98.18
Zanahoria Blanca	448.97	9.12	439.85	97.97
Zanahoria Blanca	449.3	8.12	441.18	98.19
Zanahoria Blanca	448.6	8.25	440.35	98.16
Zanahoria Blanca	449.4	8.24	441.16	98.17
Pectina comercial	449.1	8.23	440.87	98.17
Pectina comercial	449	8.22	440.78	98.17
Pectina comercial	448.7	8.15	440.55	98.18
Pectina comercial	448.95	8.17	440.78	98.18

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.3. Hidrólisis

En la tabla 3-4, se muestra los datos obtenidos para la hidrólisis de la cascara de zanahoria en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 10-4:** Rendimiento en la extracción de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Muestra de zanahoria inactivada, g.</b>	<b>Cantidad de residuos, g.</b>	<b>Cantidad de zanahoria hidrolizada, g.</b>	<b>Rendimiento, %.</b>
Zanahoria Amarilla	440.72	8.08	433.22	98.30
Zanahoria Amarilla	440.85	8.15	433.6	98.36
Zanahoria Amarilla	440.89	8.16	434.09	98.46
Zanahoria Amarilla	440.74	8.16	433.49	98.36
Zanahoria Blanca	439.85	9.12	432.25	98.27
Zanahoria Blanca	441.18	8.12	433.68	98.30
Zanahoria Blanca	440.35	8.25	433.91	98.54
Zanahoria Blanca	441.16	8.24	434.71	98.54
Pectina comercial	440.87	8.23	433.62	98.36
Pectina comercial	440.78	8.22	432.78	98.19
Pectina comercial	448.7	8.15	432.95	98.27

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.4. Filtración

En la tabla 4-4, se muestra los datos obtenidos para la filtración de la cascara de zanahoria en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 11-4:** Rendimiento en la filtración de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Muestra de zanahoria hidrolizada, g.</b>	<b>Cantidad de residuos, g.</b>	<b>Cantidad de zanahoria filtrada, g.</b>	<b>Rendimiento, %.</b>
Zanahoria Amarilla	433.22	1.20	432.02	99.72
Zanahoria Amarilla	433.60	1.10	432.5	99.75
Zanahoria Amarilla	434.09	1.25	432.84	99.71
Zanahoria Amarilla	433.49	1.30	432.19	99.70
Zanahoria Blanca	432.25	1.45	430.8	99.66
Zanahoria Blanca	433.68	1.25	432.43	99.71
Zanahoria Blanca	433.91	1.30	432.61	99.70
Zanahoria Blanca	434.71	1.60	433.11	99.63
Pectina comercial	433.62	1.40	432.22	99.68
Pectina comercial	432.78	1.30	431.48	99.70
Pectina comercial	432.95	1.25	431.7	99.71
Pectina comercial	433.74	1.75	431.99	99.60

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.5. Concentración

**Tabla 12-4:** Rendimiento en la precipitación de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de zanahoria filtrada, g.</b>	<b>Cantidad de residuos, g.</b>	<b>Cantidad de pectina concentrada, g.</b>	<b>Rendimiento, %.</b>
Zanahoria Amarilla	433.22	1.20	430.82	99.72
Zanahoria Amarilla	433.60	1.10	431.4	99.75
Zanahoria Amarilla	434.09	1.15	431.69	99.73
Zanahoria Amarilla	433.49	1.18	431.01	99.73
Zanahoria Blanca	432.25	1.22	429.58	99.72
Zanahoria Blanca	433.68	1.21	431.22	99.72
Zanahoria Blanca	433.91	1.19	431.42	99.72
Zanahoria Blanca	434.71	1.15	431.96	99.73
Pectina comercial	433.62	1.14	431.08	99.74
Pectina comercial	432.78	1.12	430.36	99.74

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.6. Precipitado

En la tabla 6-4, se muestra los datos obtenidos para la precipitación de la cascara de zanahoria en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 13-4:** Rendimiento en la precipitación de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de pectina concentrada, g.</b>	<b>Cantidad de zanahoria filtrada, g.</b>	<b>Cantidad de residuos, g.</b>	<b>Rendimiento, %.</b>
Zanahoria Amarilla	430.82	428.185	1.20	99.39
Zanahoria Amarilla	431.40	421.10	1.10	97.61
Zanahoria Amarilla	431.69	429.51	1.15	99.50
Zanahoria Amarilla	431.01	428.12	1.18	99.33
Zanahoria Blanca	429.58	420.81	1.22	97.96
Zanahoria Blanca	431.22	404.25	1.21	93.75
Zanahoria Blanca	431.42	424.49	1.19	98.39
Zanahoria Blanca	431.96	420.12	1.15	97.26
Pectina comercial	431.08	428.55	1.14	99.42
Pectina comercial	430.36	428.80	1.12	99.64
Pectina comercial	430.50	425.60	1.20	98.86
Pectina comercial	430.73	425.78	1.26	99.71

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.7. Secado

En la tabla 7-4, se muestra los datos obtenidos para el secado de la cascara de zanahoria en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 14-4:** Rendimiento en el secado de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de zanahoria filtrada, g.</b>	<b>Masa de aire, g.</b>	<b>Cantidad de pectina seca , g.</b>	<b>Rendimiento, %.</b>
Zanahoria Amarilla	428.185	391.77	50.60	11.82
Zanahoria Amarilla	421.10	370.10	51.10	12.13
Zanahoria Amarilla	429.51	403.46	51.50	11.99
Zanahoria Amarilla	428.12	407.68	48.19	11.26
Zanahoria Blanca	420.81	381.03	48.19	11.45
Zanahoria Blanca	404.25	366.76	48.97	12.11
Zanahoria Blanca	424.49	385.15	44.92	10.58
Zanahoria Blanca	420.12	375.75	50.01	11.90
Pectina comercial	428.55	391.30	51.53	12.02
Pectina comercial	428.80	388.34	52.00	12.13
Pectina comercial	425.60	383.39	52.50	12.34
Pectina comercial	425.78	399.01	52.40	12.31

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.1.8. Molienda

En la tabla 8-4, se muestra los datos obtenidos para la molienda de la cascara de zanahoria en los diferentes tratamientos para la extracción de pectina.

**Tabla 15-4:** Rendimiento en la molienda de la zanahoria para la extracción de pectina.

<b>Tratamiento</b>	<b>Cantidad de pectina seca, g.</b>	<b>Cantidad de impurezas, g.</b>	<b>Masa de pectina, g.</b>	<b>Rendimiento, %.</b>
Zanahoria Amarilla	50.60	2.6	48	48
Zanahoria Amarilla	51.10	6.1	45	45
Zanahoria Amarilla	51.50	4.5	47	47
Zanahoria Amarilla	48.19	0.19	48	48
Zanahoria Blanca	48.19	3.19	45	45
Zanahoria Blanca	48.97	3.97	45	45
Zanahoria Blanca	44.92	1.97	42.95	42.95
Zanahoria Blanca	50.01	0.01	50	50
Pectina comercial	51.53	1.53	50	50
Pectina comercial	52.00	6	46	46
Pectina comercial	52.50	8.5	44	44
Pectina comercial	52.40	10.4	42	42

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.2. Análisis estadístico del rendimiento total en la obtención de pectina

Para evaluar la cantidad de pectina que se obtiene después del proceso de transformación de las cáscaras de zanahoria se calcula de acuerdo a la ecuación 18-4; esto es necesario conocer para determinar cuanta cantidad de cáscaras se han transformado en pectina y como se aprovechado las sustancias adicionadas, esta ecuación se utiliza para todos los tratamientos de la investigación, en la tabla 9-4 se muestra el análisis estadístico del rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Masa de salida de pectina}}{\text{Masa de entrada de cáscaras de zanahoria}} * 100$$

**Ec. 18-4**

**Tabla 16-4:** Análisis estadístico a la prueba rendimiento de la pectina utilizando diferentes tipos de zanahoria

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Aj</b>	<b>CV</b>	
Rendimiento, %	12	0.07	0	5.97	
<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>GI</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	0.26	2	0.13	0.35	0.7158
Tratamiento	0.26	2	0.13	0.35	0.7158
Error	3.37	9	0.37		
Total	3.63	11			

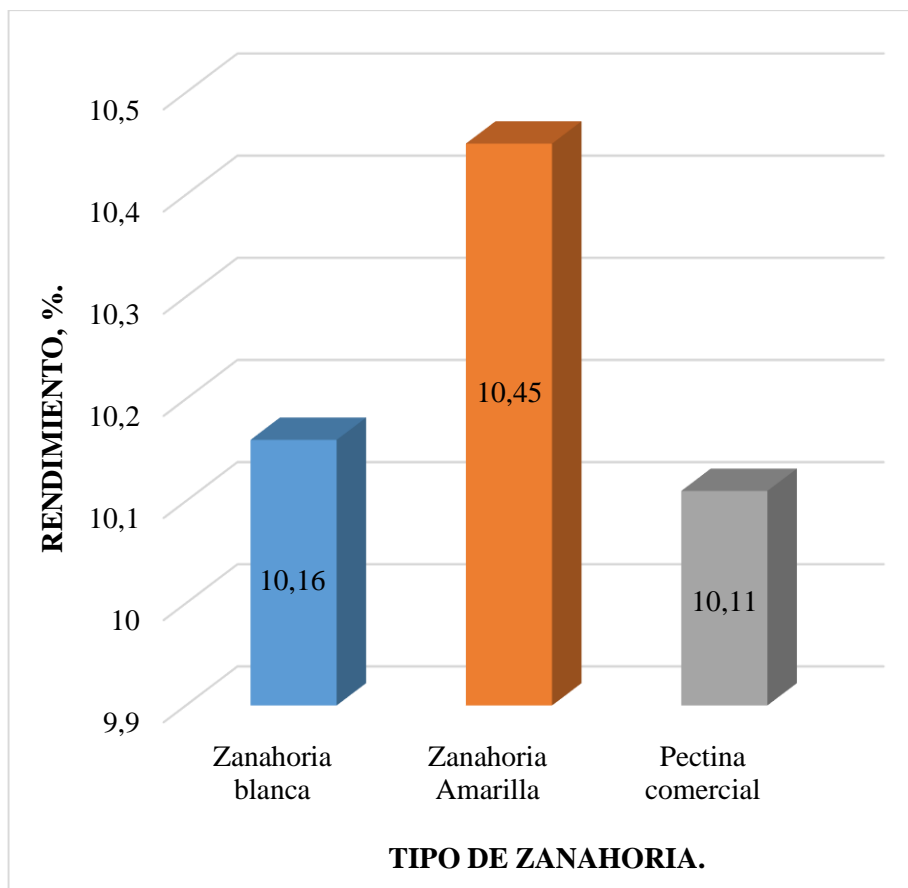
**Elaborado por:** RAMÍREZ, Cristian. 2019.

En el análisis estadístico a la prueba rendimiento global de procesos por efecto de los distintos tipos de zanahoria probados no reporto diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ) entre medias, esto indica que no existió una relación directa entre el tipo de zanahoria empleada y el rendimiento del proceso de obtención.

En el análisis de resultados, las mejores respuestas se reportan al utilizar las cáscaras de zanahoria amarilla (T1) para la extracción de pectina con valores de 10.45%, los que disminuyen a 10.16% al elaborar pectina con zanahoria blanca (T2) y las respuestas más bajas se reportan cuando se comparó la pectina comercial (T0) con medias iguales a 10.11%.

Al no existir diferencias estadísticas entre medias, se interpreta que el tipo de zanahoria no influye directamente en los resultados del rendimiento, pero se aprecia que la cascara de zanahoria amarilla presenta un porcentaje mayor de aprovechamiento en la producción de pectina como se ilustra en el gráfico 1-1, estas respuestas son superiores a las reportadas por la pectina comercial.





**Gráfico 8-4:** Análisis de los resultados obtenidos a la prueba rendimiento en la elaboración de pectina a partir de diferentes variedades de cascara de zanahoria.

Elaborado por: RAMÍREZ, Cristian. 2019.

#### 4.2.3. Resumen de los resultados

En tabla 17-4; se muestra el resumen de los resultados obtenidos a las pruebas físico químicas y al análisis del rendimiento realizado a la pectina extraída de diferentes variedades de zanahoria y en comparación con la pectina comercial.

**Tabla 17-4:** Resumen de los resultados obtenidos a las diferentes pruebas de calidad de la pectina extraída a escala de laboratorio

Variable	Tipos de Zanahoria		
	Zanahoria Blanca	Zanahoria Amarilla	Pectina Comercial
Grados Brix, °.	1.78	2.04	1.57
pH	3.25	2.99	3.30
Densidad, kg/m <sup>3</sup> .	0.81	0.80	0.81
Contenido de Humedad, %.	0.72	0.34	0.63
Contenido de Cenizas, %	0.85	0.69	1.35
Viscosidad, Pa.s	155.15	89.50	103.83
Contenido de Grupos Metoxilo, %.	1.01	1.02	1.14
Rendimiento, %.	10.44	10.16	10.11

Elaborado por: RAMIREZ, Cristian. 2019.

### 4.3. Comprobación de hipótesis

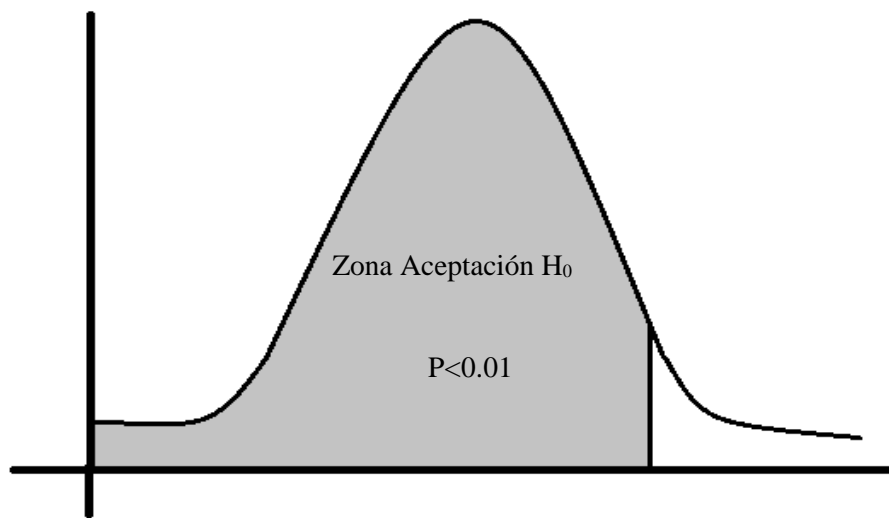
#### 4.3.1. Hipótesis general

Ho: La variedad de zanahoria empleada en la obtención de pectina afectara a la calidad del producto terminado.

Ha: La variedad de zanahoria empleada en la obtención de pectina no afectara a la calidad del producto terminado.

Pruebas de normalidad							
tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
rendimiento	.00	.192	4	.	.972	4	.854
	1.00	.262	4	.	.831	4	.170
	2.00	.346	4	.	.870	4	.298
pH	.00	.192	4	.	.971	4	.850
	1.00	.285	4	.	.930	4	.592
	2.00	.248	4	.	.914	4	.505

a. Corrección de significación de Lilliefors



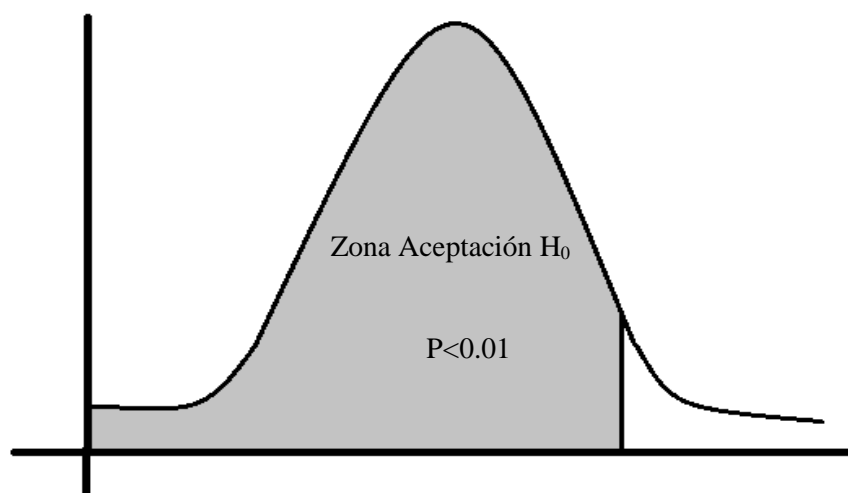
Se niega la hipótesis nula y se acepta la alternativa, La variedad de zanahoria empleada en la obtención de pectina no afectara a la calidad del producto terminado, como resultado de que el valor de probabilidad es mayor o igual a 0.01.

#### 4.3.2. Hipótesis específica 1

H<sub>0</sub>: Los procesos de obtención de pectina afectaran al rendimiento del proceso, con lo que variara el resultado de la investigación.

H<sub>a</sub>: Los procesos de obtención de pectina no afectaran al rendimiento del proceso, con lo que no variara el resultado de la investigación.

Pruebas de normalidad						
tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
rendimiento	.00	.192	4	.972	4	.854
	1.00	.262	4	.831	4	.170
	2.00	.346	4	.870	4	.298



Se niega la hipótesis nula y se acepta la alternativa, los procesos de obtención de pectina no afectaran al rendimiento del proceso, con lo que no variara el resultado de la investigación., como resultado de que el valor de probabilidad es mayor o igual a 0.01.

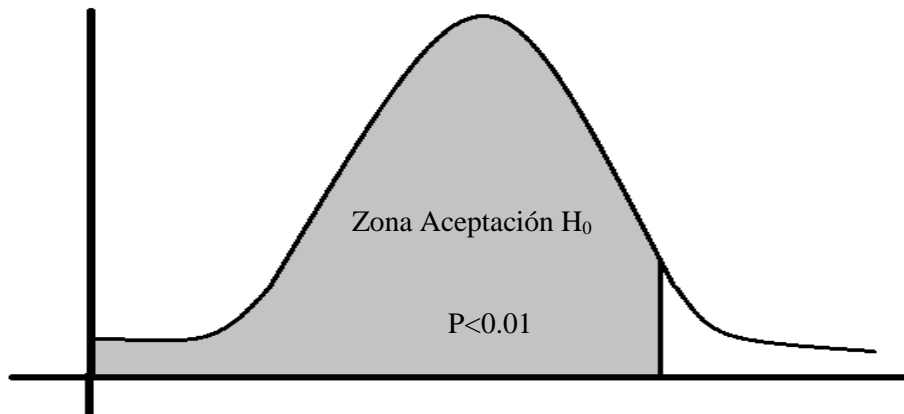
#### 4.3.3. Hipótesis específica 2

H<sub>0</sub>: Las características químicas de la pectina obtenida constataran el uso de diferentes variedades de zanahoria y la calidad final.

H<sub>0</sub>: Las características químicas de la pectina obtenida no constataran el uso de diferentes variedades de zanahoria y la calidad final.

Pruebas de normalidad						
tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grados brix	.00	.360	4	.747	4	.036
	1.00	.282	4	.897	4	.415
	2.00	.308	4	.917	4	.522
Contenido metoxilo	.00	.296	4	.855	4	.243
	1.00	.175	4	.985	4	.932
	2.00	.230	4	.948	4	.705

a. Corrección de significación de Lilliefors



Se acepta la hipótesis nula, las características químicas de la pectina obtenida constataran el uso de diferentes variedades de zanahoria y la calidad final, como resultado de que el valor de probabilidad es mayor o igual a 0.01.

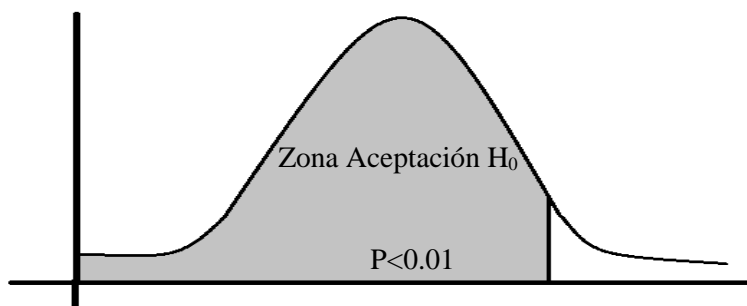
#### 4.3.4. Hipótesis específica 3

Ho: El análisis de las pruebas físicas de la pectina obtenida establecerá la calidad final según la comparación con la norma INEN.

Ha: El análisis de las pruebas físicas de la pectina obtenida no establecerá la calidad final según la comparación con la norma INEN.

Pruebas de normalidad						
tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Grados brix	.00	.360	4	.747	4	.036
	1.00	.282	4	.897	4	.415
	2.00	.308	4	.917	4	.522
densidad	.00	.237	4	.928	4	.583
	1.00	.296	4	.781	4	.072
	2.00	.283	4	.833	4	.177

a. Corrección de significación de Lilliefors



Se niega la hipótesis nula y se acepta la alternativa, el análisis de las pruebas físicas de la pectina obtenida no establecerá la calidad final según la comparación con la norma INEN, como resultado de que el valor de probabilidad es mayor o igual a 0.01.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Para evaluar la calidad de la pectina obtenida de acuerdo a las diferentes variedades de cáscara de zanahoria se comparó con la pectina comercial adquirida en PROLABOR con esto se demuestra que los residuos de zanahorias pueden ser empleados para la producción de pectina y en base a este producir diferentes alimentos mejorando las condiciones de producción para los agricultores y pequeños productores de alimentos procesados.

La primera variable analizada fue el rendimiento, obtenido en comparación a la cantidad de productos que ingresan en las diferentes operaciones unitarias y la cantidad final de pectina producida, se comparó el rendimiento de la pectina comercial y las cáscaras de zanahoria empleada (amarilla y blanca), las medias no reportaron diferencias estadísticas, esto hace que en relación los tres tratamientos obtengan resultados similares.

Los mejores resultados se reportaron al elaborar pectina con zanahoria amarilla al tratar 100 gramos de cáscaras de zanahoria amarilla se obtuvo un 10.45% de rendimiento por lo que se puede indicar que por cada 100 gramos de cáscaras de zanahoria amarilla se obtienen 10.45 gramos de pectina; en comparación con los resultados obtenidos en la extracción con cáscaras de zanahoria blanca que reporta valores iguales a 10.16% y con los resultados reportados por la pectina comercial con valores iguales a 10.11%.

Los resultados son superiores a los reportados en la producción de pectina utilizando manzana como materia prima, pero mayores a los reportados al utilizar otro tipo de residuos vegetales; esto indica que la zanahoria tiene un alto contenido de grupos galacturónicos que es el componente principal de la pectina, además de que son fáciles de extraer, siendo esto satisfactorio para los procesos de producción a nivel industrial.

Estos datos son contrastados con lo que indica (Mujica, 2015, pp. 99-103), en su libro análisis de diferentes métodos de extracción de pectina indica que el rendimiento en general se ve afectado principalmente por la materia prima que se utiliza; es así que industrialmente los residuos de

naranja y manzana son los que mejores resultados reportan; pero controlando las condiciones de producción se puede emplear otras materias primas.

Por lo general las condiciones de producción afectan directamente al rendimiento de la pectina, es así que combinaciones de pH bajo, temperatura alta y tiempo elevado, dan lugar a la degradación de la pectina, reduciendo el tamaño de las moléculas, afectando, de esta manera, su viscosidad y aumentando la cantidad de pectina extraída. Bajo estos parámetros, se incrementa también la hidrólisis de los grupos carboxilos, reduciendo el porcentaje de ésteres metílicos en las cadenas. En el caso opuesto (pH alto, temperatura baja y tiempo corto) se logra hidrolizar un porcentaje muy bajo de pectina, obteniéndose un bajo rendimiento.

En el caso de la presente investigación se empleó ácido nítrico en la hidrólisis de las cáscaras de zanahoria, esto ocasiona valores de pH menores a 3.5, con esto se aumenta la cantidad de moléculas de sacarosa y glucosa que se hidrolizan y forman ácido glutarónico, esto asegura aprovechar los azúcares de la zanahoria, que ronda entre 7.3-8.3 de acuerdo al tipo, siendo mayor el contenido de hidratos de carbono en la zanahoria amarilla, lo que ocasiona que aumenta el rendimiento.

## CONCLUSIONES

- En el análisis físico-químico de la pectina extraída los mejores resultados se reportaron cuando se utilizó cáscaras de zanahoria blanca con respuestas iguales a 0.72% para el contenido de humedad, valores iguales a 0.85% para el contenido de cenizas, valores iguales a 155.15 Pa.s para la viscosidad y valores iguales a 1.01% para el contenido de grupos metoxilo.
- Al comprar los valores obtenidos para la extracción de pectina comercial en donde se realizó con el uso cáscaras de zanahoria blanca con pectina comercial que reporto respuestas iguales a 1.57% para el contenido de humedad, valores iguales a 0.80% para el contenido de cenizas, valores iguales a 183.3 Pa.s para la viscosidad y valores iguales a 1.35% para el contenido de grupos metoxilo
- Las condiciones experimentales óptimas para la extracción de pectina a partir de zanahoria fueron la temperatura en el proceso de extracción, la inactivación se debe realizar a una temperatura igual a 120°C, en el proceso de hidrolisis se debe utilizar ácido cítrico a una concentración igual a 1.5 N, para la concentración es necesario adicionar acido etílico a 98% en una concentración igual a 1 N y en el secado es necesario controlar que la temperatura sea igual a 60°C, para obtener resultados que cumplan con la norma INEN 0427.
- El mayor rendimiento en la extracción de pectina se reportó al utilizar las cáscaras de zanahoria amarilla (T1) con valores iguales a 10.45%, que fue superior a los resultados reportados por la pectina comercial que reporto valores iguales a 10.11%; valores que cumplieron la norma INEN 0427 para las diferentes pruebas.
- Los resultados obtenidos en la caracterización de las propiedades físicas establecieron que tanto la pectina blanca y la pectina amarilla pueden ser considerados dentro del grupo de pectinas de bajo metoxilo ya que reportaron medias iguales a 1.01 y 1.02% respectivamente, por lo que puede ser utilizada como espesante por sus características.



## RECOMENDACIONES

- Para fines comerciales extraer la pectina únicamente de las cáscaras de zanahoria blanca; por lo que al extraer pectina a partir de las cáscaras de zanahoria amarilla el rendimiento es menor.
- Investigar tecnologías que logren mejorar el rendimiento en la extracción de pectina utilizando como materia prima cáscaras de zanahoria amarilla.
- Implementar este tipo de investigaciones en diferentes mercados del Ecuador; los resultados obtenidos demuestran que la extracción de pectina depende de la variedad de zanahoria; ya que se estableció que la variedad de zanahoria es proporcional a las características finales de la pectina.
- Realizar investigaciones con otro tipo de ácidos, para establecer en qué grado el pH que se consigue en la extracción interfiere en el rendimiento del proceso y en la calidad final de la pectina.

## BIBLIOGRAFÍA

**AOAC.** *Official Method of Analysis Association of Official Analytical Chemists.* Washintong : William Hortwits, 2007.

**FLORES, J.** *Preparación y usos de la pectina.* Medellín : Bioresource Technology, 2015. ISSN 479.

**GUERRERO,H.** *Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses.* Boston : International Journal, 2017. ISSN 457.

**INEN.** *Agua. Determinación del pH.* Quito : SN, 2014. ISBN.

**INEN.** <http://www.normalizacion.gob.ec>. <http://www.normalizacion.gob.ec>. [Online] Abril 25, 2018. [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/08/nte\\_inen\\_3011.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/08/nte_inen_3011.pdf).

**INSTITUTO NACIONAL DE AGRICULTURA Y PRODUCCIÓN. -INIAP.** *Cosecha de cultivos en la zona andina del Ecuador.* Quito : INIAP, 2005. ISBN 476.

**MALDONADO; I.** *Pectina: Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas.* Madrid : Anales de la Real Academia de Farmacia, 2015. ISSN 45.

**MAMANI, H.** *Methods for making pectin and pectocellulosic products.* Teheran : T. Patent, 2011. ISBN 234.

**MAROTO, N.** *Microwave-assisted Extraction of Lime Pectin.* Milan : International Pectin Producers Association, 2012. ISSN 124.

**MOHEN, L.** *Regulations for Purity Requirements of Pectines.* Chicago : Struct Chem, 2013. ISBN 589.

**MONSALVES, D.** *Chemistry of Pectin and Its Pharmaceutical Uses.* Winnepeg : Silpakorn University International Journal, 2012. ISBN 206.

**MUJICA, N.** *Extracción de pectina en medio ácido.* Bogotá : Publicacions Adventure, 2014. ISBN 78.

**SÁNCHEZ, M.** *Factibilidad Técnica del Aislamiento y la Caracterización de Pectina Cítrica.* Medellín : Corporación Universitaria Lasallista, 2011. ISBN 698.

**SANDOVAL, J.** *Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal.* . Madrid : NA, 2008.

**SCHOLS, L.** *Process for the production of useful products from orange pee.* Boston : U.S Patent, 2009. ISBN 838.

**SEDIYAMA, I.** *Advances in Pectin and Pectinase Research.* Edmonton : Springer, 2003. ISNN 78.

**SERENA, N.** *"El cultivo de la zanahoria".* Santiago de Chile : NA, 2008.

**SILOWASH, K.** *Extraction of pectin by microwave heating under pressure.* New Jersey : U.S. Patent, 2007. ISNN 354.

**VALADEZ, N.** *A new approach for pectin extraction.* Israel : Arabian Journal , 2013. ISNN 235.

**VIGLIOLA, M.** *Manual de Horticultura.* Buenos Aires : NA, 2012.

## ANEXOS

### ANEXO A. Cálculo del diseño experimental de las variables evaluadas en la investigación

#### A. Calculo del diseño experimental para la variable rendimiento

##### a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					MEDIA
	I	II	III	IV	SUMA	
Zanahoria Blanca	10.67	10.00	10.44	10.67	41.78	10.44
Zanahoria Amarilla	10.00	10.00	9.54	11.11	40.66	10.16
Pectina Comercial	11.11	10.22	9.78	9.33	40.44	10.11
					122.88	10.2398148

##### b. Calculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	15098.95	1258.245689			122.88
	12				
**SCT	6610.497477	1258.245689		5352.25179	
***SCTR	5034.01	1258.5025	1258.24569	0.2568107	
	4				
*SCE					5351.94

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

##### c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	5352.25	184.56					
Tratamiento	2	0.26	0.13	0.001	3.35	5.49	0.01	0.26
Error	27	5351.99	198.22					

B. Cálculo del diseño experimental para la variable pH

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	3.45	3.21	3.11	3.24	13.01	3.25	
Zanahoria Amarilla	2.29	3.44	3.25	2.99	11.97	2.99	
Pectina Comercial	3.28	3.32	3.29	3.30	13.19	3.30	
					38.17	3.18	

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	1456.95	121.4124083			38.17
	12				
**SCT	639.3759188	121.4124083		517.96351	
***SCTR	486.5171	121.629275	121.412408	0.21686667	
	4				
*SCE	1456.95	121.4124083			38.17

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	517.96	17.86					
Tratamiento	2	0.22	0.11	0.01	3.35	5.49	0.01	0.22
Error	27	517.75	19.18					

C. Cálculo del diseño experimental para la variable contenido de grados Brix

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	1.75	1.62	2.26	1.48	7.11	1.78	
Zanahoria Amarilla	3.09	1.91	1.93	1.24	8.17	2.04	
Pectina Comercial	1.91	1.43	1.42	1.50	6.26	1.57	
					21.54	1.795	

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	463.97	38.6643			21.54
	12				
**SCT	207.6721375	38.6643		169.007838	
***SCTR	156.4886	39.12215	38.6643	0.45785	
	4				
*SCE	463.97	38.6643			21.54

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	169.01	5.83					
Tratamiento	2	0.46	0.23	0.04	3.35	5.49	0.01	0.46
Error	27	168.55	6.24					

D. Cálculo del diseño experimental para la variable densidad

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	0.93	0.70	0.94	0.68	3.25	0.81	
Zanahoria Amarilla	0.71	0.93	0.91	0.67	3.22	0.80	
Pectina Comercial	0.99	0.61	0.71	0.92	3.24	0.81	
					9.70	0.80858333	

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	94.15	7.84568408			9.70
	12				
**SCT	41.3988873	7.84568408		33.5532032	
***SCTR	31.383221	7.84580525	7.84568408	0.00012117	
	4				
*SCE					

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	33.55	1.16					
Tratamiento	2	0.00	0.00	0.00	3.35	5.49	0.01	0.00012
Error	27	33.55	1.24					

E. Cálculo del diseño experimental para la variable contenido de humedad

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	0.60	0.00	1.06	1.21	2.88	0.72	
Zanahoria Amarilla	0.35	0.54	0.23	0.23	1.36	0.34	
Pectina Comercial	0.59	0.48	0.42	1.04	2.53	0.63	
					6.77	0.56382969	

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	45.78	3.81484698			6.77
	12				
**SCT	22.8763957	3.81484698			19.0615488
***SCTR	16.5247048	4.13117621	3.81484698	0.31632923	

	4				
*SCE					

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	19.06	0.66					
Tratamiento	2	0.32	0.16	0.23	3.35	5.49	0.01	0.31633
Error	27	18.75	0.69					

F. Cálculo del diseño experimental para la variable viscosidad

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	166.60	202.90	120.90	130.20		620.60	155.15
Zanahoria Amarilla	46.50	77.10	105.90	128.50		358.00	89.50
Pectina Comercial	106.80	101.60	104.28	102.65		415.33	103.83
						1393.93	116.160833

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	1943040.84	161920.07				1393.93
	12					
**SCT	908137.01	161920.07			746216.94	
***SCTR	685807.369	171451.842	161920.07	9531.77182		
	4					
*SCE						

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	746216.94	25731.62					
Tratamiento	2	9531.77	4765.89	0.17	3.35	5.49	0.01	0.95
Error	27	736685.17	27284.64					



G. Cálculo del diseño experimental para la variable contenido de ceniza

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	0.83	0.68	0.76	1.16		3.41	0.85
Zanahoria Amarilla	0.58	0.61	1.10	0.49		2.78	0.69
Pectina Comercial	1.34	1.46	1.21	1.38		5.39	1.35
						11.58	0.96511835

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	134.13	11.1774411			11.58
	12				
**SCT	63.9276167	11.1774411		52.7501756	
***SCTR	48.4112077	12.1028019	11.1774411	0.92536079	
	4				
*SCE					

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	52.75	1.82					
Tratamiento	2	0.93	0.46	0.24	3.35	5.49	0.01	0.92536
Error	27	51.82	1.92					

H. Cálculo del diseño experimental para la variable contenido de metoxilo

a. Análisis de las medias

Tipo de zanahoria	REPETICION					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV			
Zanahoria Blanca	1.16	0.96	0.88	1.03		4.03	1.01
Zanahoria Amarilla	1.09	1.29	0.80	0.88		4.07	1.02
Pectina Comercial	1.11	1.18	1.07	1.18		4.55	1.14

					12.65	1.0538241
--	--	--	--	--	-------	-----------

b. Cálculo de la suma de cuadrados de las medias y totales

*FC	159.92	13.3265427			12.65
	12				
**SCT	70.3832609	13.3265427		57.0567182	
***SCTR	53.472896	13.368224	13.3265427	0.04168128	
	4				
*SCE					

\*FC: Factor de corrección

\*\*SCT: Suma de cuadrados totales

\*\*\*SCTR: Suma de cuadrados por tratamientos

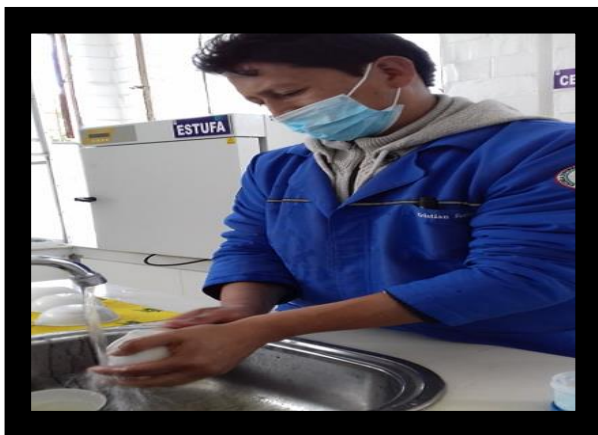
\*SCE: Suma de cuadrados del error

c. Cálculo del error experimental y el coeficiente de correlación

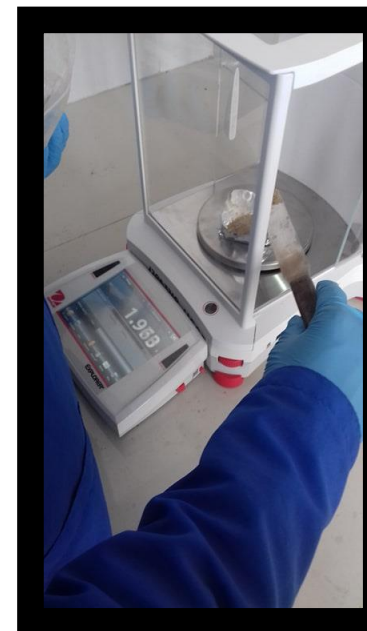
FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	FISHER CALCULADO	FISHER 0,05	FISHER 0,01	CV	EE
Total	29	57.06	1.97					
Tratamiento	2	0.04	0.02	0.01	3.35	5.49	0.01	0.04168
Error	27	57.02	2.11					

**ANEXO B.** Recopilación fotográfica del trabajo experimental de la extracción de pectina

A)



B)



<b>NOTAS:</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESPOCH</b>	<b>EXTRACCIÓN DE PECTINA</b>		
A) Lavado de la materia prima B) Secado y pesado de la materia prima	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS LAB. DE QUIMICA ANALITICA RAMIREZ CRISTIAN	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			1	A4	02/06/2019

C)



D)

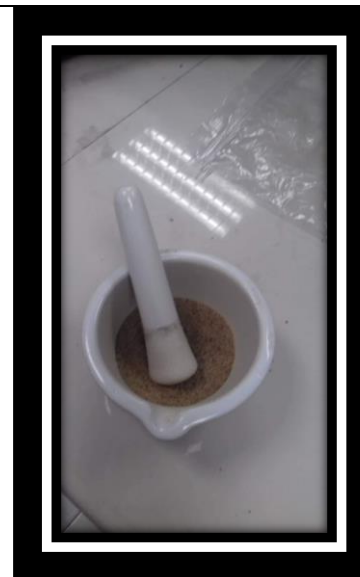


NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	EXTRACCIÓN DE PECTINA		
C) Extracción de la pectina D) Hidrolisis acida	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS LAB. DE QUIMICA ANALITICA CRISTIAN RAMIREZ			
	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar		<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		2	A4	02/06/2019

E)



F)



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	EXTRACCIÓN DE PECTINA		
E) Producto final F) Caracterización físico - química de la pectina	<input checked="" type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS LAB. DE QUIMICA ANALITICA CRISTIAN RAMIREZ	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			4	A4	02/06/2019