



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“PURIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE  
AZÚCAR (*Saccharum Officinarum L*)”**

**Tesis previa a la obtención del Título de:  
Ingeniero Agroindustrial**

**AUTORES: Leitón Rosero Fernando P.  
Ramírez Calderón Marcelo H.**

**DIRECTOR: Ing. Walter Quezada.MSc**

**Ibarra – Ecuador**

**Diciembre - 2008**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

PURIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE  
AZÚCAR (*Saccharum officinarum L.*)

## TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agroindustrial

## APROBACION

<b>Ing. Walter Quezada Moreno</b>	<b>Director</b>	.....
<b>Dra. Lucía Toromoreno</b>	<b>Asesor</b>	.....
<b>Ing. Milton Núñez</b>	<b>Asesor</b>	.....
<b>Ing. Miguel Camacho</b>	<b>Asesor</b>	.....



**Los comentarios, conceptos, cuadros, figuras, resultados y más información que se encuentran en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de los autores.**

**Leitón Rosero Fernando P.** .....

**Ramírez Calderón Marcelo M.** .....

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por que somos hechura suya, creados en Cristo Jesús para buenas obras, las cuales Dios preparó de antemano para que anduviésemos en ellas. Por que Jehová da la sabiduría, Y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.*

*A nuestra familia. En especial a nuestros padres, quienes nos han apoyado en todo momento y nos han alentado para concluir nuestros sueños y objetivos, ese esfuerzo y apoyo incondicional, se refleja en la cumbre de nuestra etapa universitaria.*

*A los que aún conservan su espíritu investigador, pese a los obstáculos de quienes no comprenden lo sublime y patriótico de esta actividad noble en pro de una existencia sostenible de la humanidad en este planeta.*

**Marcelo y Fernando**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios concejero y Dios fuerte, príncipe de paz, dueño de nuestras vidas, quien da el camino que lleva a la gloria, por que por siempre será un amigo fiel, el que nos da sabiduría al corazón y hace grata la ciencia al alma y con esto ase preservar la inteligencia a los hombres.*

*A la Universidad Técnica del Norte y en particular a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la cual hemos recibido constante apoyo para llevar acabo los trabajos e investigaciones sobre “saccharum officinarum l” y cuyos resultados mas relevantes se presentan en esta publicación.*

*Al Ing. Walter Quezada, director de tesis, quien con su intelecto y experiencia, forjó y condujo esta investigación a un final innovador, objetivo y profesional.*

*A nuestros asesores: Dra. Lucía Toromoreno, Ing. Milton Núñez e Ing. Miguel Camacho, por su orientación en el desarrollo de la investigación y por guiarnos a la cumbre exitosa de esta ingeniería.*

*Al Ing. Marco Cahueñas, Biometrista de la Escuela, quien contribuyo desinteresada y decididamente en la realización exitosa de esta investigación.*

*Dejo constancia de especial agradecimiento a mis catedráticos, quienes dieron lo mejor de sus conocimientos en cada una de las aulas, en las cuales nos formamos como profesionales.*

**Marcelo y Fernando**

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
RESUMEN	xxiii
SUMMARY	xxv
 <b>CAPÍTULO I: GENERALIDADES</b>	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.3.1 General	3
1.3.2 Específicos	3
1.4 HIPÓTESIS	4
 <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 LA CAÑA DE AZÚCAR ( <i>Saccharum officinarum</i> L)	5
2.1.1 Origen de la caña de azúcar	5
2.1.2 Clasificación botánica	6
2.1.3 Importancia agroeconómica	8
2.1.4 Producción de biomasa o acumulación de sacarosa	8
2.1.5 Estructura externa de la planta	8
2.1.6 Fisiología de la caña de azúcar	10
2.1.7 Composición de la caña de azúcar	13
2.2 ANÁLISIS DEL SECTOR CAÑICULTOR	15
2.2.1 Localización geográfica	15

2.2.2	Producción agrícola industrial	15
2.2.3	Consumo	17
2.3	ANÁLISIS INTERNACIONAL DEL SECTOR CAÑICULTOR	19
2.3.1	Marco global	19
2.3.2	Marco subregional	20
2.4	PRINCIPALES INDICADORES DE LA CADENA PRODUCTIVA	21
2.4.1	Industrias y agrupación de cañicultores	21
2.4.2	Aptitud agrícola	21
2.4.3	Reciclaje	21
2.4.4	Personal ocupado y remunerado	21
2.4.5	Principales industrias consumidoras de azúcar y subproductos	22
2.4.6	Valor bruto de la producción	22
2.4.7	Valor agregado	23
2.4.8	Coefficiente de productividad	23
2.5	PURIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR	23
2.5.1	Purificación	23
2.5.2	Estabilización	24
2.5.2.1	Condiciones que afectan el desarrollo de microorganismos	24
2.5.2.2	Termorresistencia de los microorganismos	25
2.6	MÉTODOS DIRECTOS DE CONSERVACIÓN	27
2.6.1	Esterilización	27
2.6.1	Pasteurización	28
2.7	PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ALIMENTO DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO	28
2.8	ADITIVOS CONSERVANTES	29
2.9	PROCESOS Y OPERACIONES APLICADAS	30
2.9.1	Recepción de las materias primas	30
2.9.2	Lavado y desinfección	30
2.9.3	Pesado	30

2.9.4	Extracción o molienda	31
2.9.5	Tamizado	31
2.9.6	Calentamiento	32
2.9.7	Acidificación	32
2.9.8	Agitación y mezclado	33
2.9.9	Sedimentación	34
2.9.10	Decantación	36
2.9.11	Filtración	37
2.9.12	Envasado y sellado	38
2.9.13	Exahusting	39
2.9.14.	Tratamiento térmico	39
2.9.15	Enfriamiento de los recipientes tratados	40
2.9.16	Etiquetado	40
2.9.17	Almacenamiento y transporte del producto terminado	41
2.10	MATERIA PRIMA E INSUMOS UTILIZADOS	41
2.10.1	Materia prima	41
2.10.2	Acido cítrico	41
2.10.3	Benzoato de sodio	43
2.10.4	Sorbato de potasio	44
2.11	TIPOS DE FILTROS UTILIZADOS	45
2.11.1	Filtro de carbón activado	45
2.11.2	Filtros de celulosa	47

### **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	MATERIALES	48
3.1.1	Materia prima e insumos	48
3.1.2	Equipos y materiales de laboratorio	48
3.2	MÉTODOS	49
3.2.1	Localización	49

3.2.1.1	Datos Informativos del lugar	50
3.2.2	FASE I: Purificación del jugo de caña de azúcar	50
•	Factores en estudio	50
•	Diseño experimental	51
•	Características del diseño experimental	52
•	Esquema de análisis de varianza del proceso de purificación del jugo de caña	52
•	Análisis funcional	52
3.2.2.1	Variables evaluadas	53
3.2.2.2	Diagrama de bloques para la purificación del jugo de caña de azúcar	54
3.2.2.3	Manejo específico del experimento Fase I	55
3.2.3	Fase II. Estabilización del jugo de caña de azúcar purificado por tratamiento térmico	62
3.2.3.1	Método I: esterilización	62
•	Factores en estudio	62
•	Diseño experimental	63
•	Características del diseño experimental	63
•	Esquema de análisis de varianza del proceso de esterilización	64
•	Análisis funcional	64
3.2.3.1.1	Variables a evaluarse	64
<b>3.2.3.2</b>	<b>Método II: pasteurización</b>	<b>65</b>
•	Factores en estudio para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización	65
•	Diseño experimental	67
•	Características de diseño experimental	67
•	Esquema de análisis de varianza para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización	67
•	Análisis funcional	67
3.2.3.2.1	Variables a evaluarse	68
3.2.3.3	Optimización del proceso de pasteurización	69

• Factores en estudio para el método de pasteurización	69
• Diseño experimental	70
• Características del diseño experimental	70
• Esquema de análisis de varianza para optimizar el proceso de pasteurización	71
• Análisis funcional	71
3.2.3.3.1 Variables a evaluarse	71
3.2.3.4 Diagrama de bloques para la estabilización del jugo de caña de azúcar	73
3.2.3.5 Manejo específico del experimento Fase II	74

#### **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO FASE I	78
4.1.1 Análisis de la variable turbidez	78
4.1.2 Análisis de la variable porcentaje de sedimentación	84
4.1.3 Análisis de la variable °B al final del proceso de purificación	89
4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO FASE II	94
4.2.1 Método I: Esterilización	94
4.2.1.1 Análisis de la variable °B al final del proceso de esterilización	95
4.2.1.2 Análisis de la variable turbidez al final del proceso de esterilización	99
4.2.1.3 Análisis de la variable pH al final del proceso de esterilización	103
4.2.2 Método II: Pasteurización	107
4.2.2.1 Preselección de los tratamientos de pasteurización	107
4.2.2.1.1 Análisis de la variable turbidez al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos	107
4.2.2.1.2 Análisis de la variable °Brix al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos	115
4.2.2.1.3 Análisis de la variable pH al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos	122

4.2.2.2	Optimización del proceso de pasteurización	128
4.2.2.2.1	Análisis de la variable turbidez al final del proceso de optimización de la pasteurización	128
4.2.2.2.2	Análisis de la variable °Brix al final del proceso de optimización de la pasteurización	134
4.2.2.2.3	Análisis de la variable pH al final del proceso de optimización de la pasteurización	141
4.3	BALANCE DE MATERIALES	148
4.3.1	Diagrama de bloques del proceso de purificación y estabilización del jugo de caña	148

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES	151
5.2	RECOMENDACIONES	154
	BIBLIOGRAFÍA	155
	ANEXOS	157

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Cuadro 1</b> Clasificación Botánica	7
<b>Cuadro 2</b> Composición química de la caña de azúcar	13
<b>Cuadro 3</b> Superficie por cultivos solos de caña de azúcar según regiones y provincias	18
<b>Cuadro 4</b> Dimensiones de los agujeros de los tamices de prueba	32
<b>Cuadro 5</b> Ficha técnica del ácido cítrico	42
<b>Cuadro 6</b> Calorías y valor nutritivo del limón	43
<b>Cuadro 7</b> Ficha técnica del benzoato de sodio	43
<b>Cuadro 8</b> Ficha técnica del sorbato de potasio	44
<b>Cuadro 9</b> Principales usos del carbón activo en la industria de alimentos	45
<b>Cuadro 10</b> Niveles de los factores en estudio en el proceso de purificación	51
<b>Cuadro 11</b> Combinación de los niveles de los factores en el proceso de purificación	51
<b>Cuadro 12</b> ADEVA. Purificación del jugo de caña	52
<b>Cuadro 13</b> Factores en estudio para el proceso térmico de esterilización	62
<b>Cuadro 14</b> Combinación de los niveles de los factores	63
<b>Cuadro 15</b> ADEVA. Proceso de esterilización del jugo purificado	64
<b>Cuadro 16</b> Niveles de los factores en estudio para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización	66

<b>Cuadro 17</b>	Combinación de los niveles de los factores en estudio para preseleccionar los tratamientos	66
<b>Cuadro 18</b>	ADEVA. Proceso de pasteurización del jugo de caña	67
<b>Cuadro 19</b>	Niveles de los factores en estudio para optimizar el proceso de de pasteurización	69
<b>Cuadro 20</b>	Combinación de los niveles de los factores en estudio	70
<b>Cuadro 21</b>	ADEVA. Proceso de pasteurización del jugo de caña	71
<b>Cuadro 22</b>	Valores obtenidos de la turbidez al finalizar el proceso de purificación	79
<b>Cuadro 23</b>	ADEVA de la variable turbidez	80
<b>Cuadro 24</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY (5%) turbidez al final del proceso de purificación	80
<b>Cuadro 25</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)	81
<b>Cuadro 26</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)	82
<b>Cuadro 27</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)	82
<b>Cuadro 28</b>	Valores obtenidos del porcentaje de sedimentación al finalizar el proceso de purificación	84
<b>Cuadro 29</b>	ADEVA de la variable porcentaje de sedimentación al final del proceso de purificación	85
<b>Cuadro 30</b>	Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): porcentaje de sedimentación al final del proceso de purificación	86
<b>Cuadro 31</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)	87
<b>Cuadro 32</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)	87
<b>Cuadro 33</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)	87
<b>Cuadro 34</b>	Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de purificación	89

<b>Cuadro 35</b>	ADEVA de la variable °Brix al final del proceso de purificación	90
<b>Cuadro 36</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de purificación	90
<b>Cuadro 37</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)	91
<b>Cuadro 38</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)	92
<b>Cuadro 39</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)	92
<b>Cuadro 40</b>	Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de esterilización	95
<b>Cuadro 41</b>	ADEVA de la variable ° Brix al final del proceso de esterilización	95
<b>Cuadro 42</b>	Pruebas de significación para tratamientos TUCKEY (5%): °Brix al final de la esterilización	96
<b>Cuadro 43</b>	Valores obtenidos de la turbidez al finalizar el proceso de Esterilización	99
<b>Cuadro 44</b>	ADEVA de la turbidez al final del proceso de esterilización	100
<b>Cuadro 45</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY al (5%): turbidez al final del proceso de esterilización	100
<b>Cuadro 46</b>	Valores obtenidos del pH al finalizar el proceso de esterilización	103
<b>Cuadro 47</b>	ADEVA del pH al final del proceso de esterilización	104
<b>Cuadro 48</b>	Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): pH al final del proceso de esterilización	104
<b>Cuadro 49</b>	Valores obtenidos de la turbidez al finalizar el proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos	108
<b>Cuadro 50:</b>	ADEVA de la Turbidez al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos	109
<b>Cuadro 51</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY al (5%): Turbidez al final del proceso de pasteurización	110

<b>Cuadro 52</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)	112
<b>Cuadro 53</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)	112
<b>Cuadro 54</b>	Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización	115
<b>Cuadro 55</b>	ADEVA de los °Brix al final del proceso de pasteurización	116
<b>Cuadro 56</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de pasteurización	117
<b>Cuadro 57</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)	119
<b>Cuadro 58</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)	119
<b>Cuadro 59</b>	Valores obtenidos del pH al finalizar el proceso de pasteurización	122
<b>Cuadro 60</b>	ADEVA del pH al final del proceso de pasteurización	123
<b>Cuadro 61</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY (5%): pH al final del proceso de pasteurización	124
<b>Cuadro 62</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)	126
<b>Cuadro 63</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)	126
<b>Cuadro 64</b>	Valores obtenidos de la turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización	129
<b>Cuadro 65</b>	ADEVA de la turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización	129
<b>Cuadro 66</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY al (5%): Turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización	130
<b>Cuadro 67</b>	<b>Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)</b>	132

<b>Cuadro 68</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)	132
<b>Cuadro 69</b>	Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización	135
<b>Cuadro 70</b>	ADEVA del ° Brix al finalizar la optimización del proceso de pasteurización	135
<b>Cuadro 71</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de optimización de la pasteurización	136
<b>Cuadro 72</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)	138
<b>Cuadro 73</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)	138
<b>Cuadro 74</b>	Valores obtenidos del pH al final del proceso de optimización de la pasteurización	141
<b>Cuadro 75</b>	ADEVA del pH al final izar la optimización del proceso de pasteurización	142
<b>Cuadro 76</b>	Pruebas de significación para tratamientos. TUCKEY al (5%): pH al final del proceso de pasteurización	142
<b>Cuadro 77</b>	Significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)	144
<b>Cuadro 78</b>	Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)	145

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Contenido	Página
<b>Gráfico 1</b> Relación entre la tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> (fotosíntesis) de la caña de azúcar y la disponibilidad de luz	11
<b>Gráfico 2</b> Fluctuación de la tasa de fotosíntesis con la edad del cultivo en caña de azúcar	12
<b>Gráfico 3</b> Esquema de los procesos de calentamiento	29
<b>Gráfico 4</b> Esquema elemental de una operación de tamizado	31
<b>Gráfico 5</b> Agitador de placas	34
<b>Gráfico 6</b> Sedimentación discontinua	36
<b>Gráfico 7</b> Esquema de la operación de filtración	38
<b>Gráfico 8</b> Comportamiento de las medias para la turbidez al finalizar el proceso de purificación	81
<b>Gráfico 9</b> Efecto de la interacción de la turbidez (NTU) entre el pH, velocidad y tiempo de agitación	83
<b>Gráfico 10</b> Comportamiento de las medias para el porcentaje de sedimentación al finalizar el proceso de purificación	86
<b>Gráfico 11</b> Efecto de la interacción del porcentaje de sedimentación entre el pH, velocidad y tiempo de agitación	88
<b>Gráfico 12</b> Comportamiento de las medias para los °Brix al finalizar el proceso de purificación	91
<b>Gráfico 13</b> Efecto de la interacción del °Brix entre el Ph y la velocidad de agitación	93
<b>Gráfico 14</b> Comportamiento de las medias del °Brix al finalizar proceso de esterilización	97

<b>Gráfico 15</b>	Comportamiento de los °Brix del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)	98
<b>Gráfico 16</b>	Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de esterilización	101
<b>Gráfico 17</b>	Comportamiento de la turbidez del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)	102
<b>Gráfico 18</b>	Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de esterilización	105
<b>Gráfico 19</b>	Comportamiento del pH del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)	106
<b>Gráfico 20</b>	Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de pasteurización	111
<b>Gráfico 21</b>	Efecto de la interacción de la turbidez del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización	113
<b>Gráfico 22</b>	Comportamiento de la turbidez del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable	114
<b>Gráfico 23</b>	Comportamiento de las medias de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización	118
<b>Gráfico 24</b>	Efecto de la interacción del °Brix del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización	120
<b>Gráfico 25</b>	Comportamiento de los °Brix del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable	121
<b>Gráfico 26</b>	Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de pasteurización	125
<b>Gráfico 27</b>	Comportamiento del pH del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable	127
<b>Gráfico 28</b>	Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización	131
<b>Gráfico 29</b>	Comportamiento de la turbidez del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable	133
<b>Gráfico 30</b>	Comportamiento de las medias de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización	137

<b>Gráfico 31</b>	Efecto de la interacción del °Brix del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización	139
<b>Gráfico 32</b>	Comportamiento del °Brix del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable	140
<b>Gráfico 33</b>	Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización	143
<b>Gráfico 34</b>	Comportamiento del pH del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable	146

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Contenidos</b>	<b>Página</b>
<b>Fotografía 1</b> Caña de Azúcar	5
<b>Fotografía 2</b> Proceso de tamizado	56
<b>Fotografía 3</b> Tanque de acidificación y agitación	57
<b>Fotografía 4</b> Proceso de acidificación del jugo	58
<b>Fotografía 5</b> Proceso de agitación del jugo acidificado	58
<b>Fotografía 6</b> Proceso de sedimentación del jugo de caña	59
<b>Fotografía 7</b> Prueba de probetas durante la sedimentación	59
<b>Fotografía 8</b> Filtro de celulosa	60
<b>Fotografía 9</b> Filtro de carbón activado granular (GAC)	60
<b>Fotografía 10</b> Carbón activado granular (GAC)	60
<b>Fotografía 11</b> Columna de vacío	61
<b>Fotografía 12</b> Agitador de placa en acero inoxidable	74
<b>Fotografía 13</b> Autoclave	76
<b>Fotografía 14</b> Etiqueta del producto terminado	77
<b>Fotografía 15</b> Jugo de caña purificado, estabilizado y envasado	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Contenidos</b>	<b>Página</b>
<b><u>Anexo 1.</u></b> Diagrama de flujo para la purificación del jugo de caña de azúcar	157
<b><u>Anexo 2.</u></b> Diagrama de flujo para la estabilización del jugo de caña de azúcar	158
<b><u>Anexo 3.</u></b> Diagrama ingenieril para la purificación y estabilización del jugo de caña de azúcar	159
<b><u>Anexo 4.</u></b> Caracterización de la materia prima	160
<b><u>Anexo 5.</u></b> Informe de resultados analíticos del producto final INIAP. Departamento de Nutrición y Calidad	161
<b>5.1</b> JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y ESTERILIZADO	161
<b>5.2</b> JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y PASTEURIZADO	162
<b><u>Anexo 6.</u></b> Informes de Microbiología del producto final. CEBA	163
<b>6.1</b> JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y ESTERILIZADO	163
<b>6.2</b> JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y PASTEURIZADO (PRESELECCION DE TRATAMIENTOS)	164
<b>6.3</b> JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y PASTEURIZADO (OPTIMIZACION)	165
<b><u>Anexo 7.</u></b> Informe Microbiológico del Producto Final. INIAP	166
<b><u>Anexo 8.</u></b> Procedimiento para determinar mohos, levaduras y aerobios totales	167
<b><u>Anexo 9.</u></b> Cuadros originales del análisis estadístico	168

## RESUMEN

Utilizando muestras de caña de azúcar del tipo piojota roja procedentes de la parroquia de Lita, Provincia de Imbabura, se desarrolló la presente investigación sobre la purificación y estabilización del jugo de caña. Concretamente el estudio consistió en extraer el jugo, purificarlo, estabilizarlo y envasarlo para obtener un producto natural con alto poder edulcorante, energético y un valor nutritivo importante para el consumidor, que podría de igual manera ser utilizado como materia prima en la industria alimenticia.

La eficiencia del proceso de purificación del jugo virgen de la caña se relaciona con el proceso de mezclado de los componentes antes de la sedimentación. Para el caso se determinó que el pH del jugo debe ser ajustado a un valor de (4,5), la velocidad de agitación (1500 rpm) y el tiempo de agitación (2 min). El análisis estadístico determinó que la relación (pH-velocidad de agitación) son los factores de mayor influencia en el proceso, que permiten mejorar la purificación, hasta 16.10 % de sedimentos en el jugo, que corresponde a 225.33 unidades nefelométricas “NTU”, mientras el grado Brix alcanzó un valor 19.13 luego del proceso.

El jugo purificado se sometió a una estabilización mediante dos métodos: esterilización y pasteurización, para finalmente obtener un producto química y biológicamente estable. En la esterilización del jugo se evaluó 16 tratamientos a temperatura constante de 121 °C con tiempos variables que iniciaron con 5 min y finalizaron en 20 min, con intervalos de 1 min, con el fin de obtener el mejor tratamiento. El análisis estadístico identificó como mejor a T11(T=121°C y t= 15min), el cual evita que el producto pierda considerablemente las características

físico-químicas, logrando una turbidez de 240.33 “NTU”, pH 4.66 y sólidos solubles de 19.70. Según el análisis practicado al producto esterilizado T11 indica que, en 100 mls de muestra existe un nivel de proteína de 0.53 %, azúcares totales 23.39%, azúcares reductores 10.28%, Ca 9.01mg, P 1.34mg, Mg 8.84mg, K 53.51mg, Na 7.62mg, Cu 37µg, Fe 2086µg, Mn 144 µg y Zn 539 µg. Mientras que el análisis microbiológico practicado al mismo tratamiento señala que el recuento estándar en placa practicado es de 0 UFC/ml.

La pasteurización se desarrolló en dos instancias, comprendida en una preselección de tratamientos y en la optimización de los tratamientos preseleccionados con el fin de determinar los parámetros óptimos de pasteurización. Para el efecto se estudiaron tres temperaturas 65, 70 y 75 °C con tiempos variables de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 minutos, cuya combinación de estos niveles nos generaron 21 tratamientos que fueron evaluados microbiológicamente. De los cuales se determinó que los tratamientos T6 (T=65°C y t=30min), T13 (70°C y t=30min) y T20 (75°C y t=30min), presentan variación mínima de las propiedades físico-químicas.

Con estos tratamientos preseleccionados se optimizó el proceso de pasteurización variando únicamente el factor tiempo en 26, 27, 28, 29, 30 min, Se trabajó con decrementos del tiempo con el objeto de encontrar el punto de estabilidad y evitar su desnaturalización del jugo. Se mantuvo estables las temperaturas y se generó quince tratamientos de los cuales el análisis estadístico de las variables: pH, °Brix y turbidez, conjuntamente con las pruebas microbiológicas, determinaron al tratamiento T4 (65°C y 29min), como el mejor. Estos parámetros permitieron conservar en mayor grado las propiedades del jugo de caña purificado las cuales alcanzaron valores de 247.33 (NTU), °Brix =19.87 y pH =4.67. Según el informe practicado al tratamiento T4, reporta que en 100 mls de muestra existe un nivel de de proteína de 0.42 %, azúcares totales 27.04%, azúcares reductores 14.10%, Ca 8.04mg, P 1.85mg, Mg 8.40mg, K 51.21mg, Na 8.91mg, Cu 38µg, Fe 2783µg, Mn 131 µg y Zn 464 µg. Mientras el análisis microbiológico, indica que el recuento de mohos (UPM/ml) y levaduras (UPL/ml) practicado al T11 es = 0.

## SUMMARY

Using samples of sugar cane of kind of red piojota whose begin of Lita town in the Imbabura Province developed the present investigation about the purified and establish of the cane juice. Concretely, the study was about how to take out the juice, purify, establish and put in a bottle for obtaining a natural product with a high sweet power, energy and a nutritive value, which is important for the costumer, which could be used as a matter in the food's industry.

The efficiency of the process of purify of the virgin juice of cane take a relation with the process of mixed, of the components before to the sediments For this case, determinate that the PH of the juice should be fitted to a value of (4,5), the speed of shaked (1500 rpm) and time of shaked (2 minutes). The statistics analysis determinated that the relation (ph – speed of shaked) are the factors of biggest influence in the process, which let be the better purify, until 16.10% of sediments in the juice, which correspond to 225.33 units nefelometricas. “NTU”, while the degree Brix caught up a value of 19, 13 after of the process.

The purified juice was submitted to establish through two methods: sterilize and pasteurized, and finally obtain a chemical product and biological establish. In the sterilize of the juice, evaluated 16 treatments to a temperature of 121°C, with variables times which began 5 minutes and finished in 20 minutes, with intervals of 1 min, in the order to get the best treatment. The analysis identified as the better to (T11 (T=121°C and t=15 min), which avoids that the product lost the characteristics physic-chemical, taking an upset of 240, 30 “NTU”, ph 4, 66 and solids of 19,70. According to the analysis done to the product sterilizedT11 show that, in 100mls of sample exists a level of proteins of 0.53%, sugars total 23,39%,

sugars reduced 10,28%, Ca 0,01 mg, P1,34mg, Mg 8, 84 mg, 53,51 mg, Na 7,62 ng, Cu 37 ug, Fe 20860ug, Mn 144 ug and Zn 539 ug. While that in the analysis microbiological practiced at the same treatment show that the standard practiced is of 0 UFC/ml.

The pasteurized developed in two times, doing in a preselecting of treatments and in the optimization of the treatments preselecting with the goal to determinate the better parameters of pasteurized. For this process was studied three temperatures 65,70 and 75° C with variables times of 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 minutes, whose combination of theses levels gave us 21 treatments whose were evaluated microbiologically. Which determinated that the treatment T6 (T=65° C t=30min), T13 (70°C and t=30min) and T20 (75°C and t=min), present a variation minimum of the physic-chemical properties.

With these pre-selectionated treatments were better the process of pasteurized changing only the factor time in 26, 27, 28, 29, 30 min. It worked with more time with the object to take the point of establish and avoid its denaturalized of the juice.

It took establish the temperatures and gave fifteen treatments which the analysis statistics of the variables: ph, ° Brix and disturbance with the microbiological proof, determinated the treatment T4 (65°C and 29 min), as the better. These parameters let conserve in a high degree the properties of the cane juice purified which took values of 247, 33 (NTU), ° Brix = 19, 87 and ph= 4, 67. According to the report practiced at the treatment T4, gave that in 100 mls of sample exist a level of protein of 0,42%, total of sugar 27,04%, reduced sugar 14,10% Ca 8,04 mg, P 1,85 mg, Mg 8,40mg, N 51,21 mg, Na 8,91mg, Cu 38 ug, Fe 2783 ug, Mn 131 ug and Zn 464ug. While the microbiological analysis, show that the recount of mold (UPM / ml) and yeast (UPL / ml) practiced at the T11 is = 0.



## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **1.1 PROBLEMA**

La agroindustria contribuye en grado significativo al desarrollo económico de los pueblos, es el medio principal para transformar productos agrícolas, representan con frecuencia la mayor parte del sector manufacturero de un país. Y, el sector cañicultor y la industria que aprovecha la caña de azúcar como materia prima, no están desligados de este adelanto cooperativo, por ello, la investigación se enfocó hacia el aumento en la explotación de este importante recurso renovable.

Los edulcorantes generalmente utilizados como materia prima en la industria de alimentos son de carácter sintético, encontrándose entre estos la sacarina, cicloamato, sacralosa y edulcorantes semisintéticos como el sorbitol, maltitol, entre otras. Estos poseen alto poder edulcorante, pero no aportan valor nutritivo alguno. Además ciertos alimentos procesados con estos productos provocan trastornos al organismo, principalmente alergias cutáneas, problemas del sistema nervioso central, diabetes y cáncer, debido al proceso de obtención industrial que implica el uso de compuestos químicos.

Consecuentemente la investigación se concentró en una agroindustria de tipo alimentario con un grado de procesamiento que no implica alteración de la composición físico-química y organoléptica. El estudio consistió en extraer el jugo, purificarlo y estabilizarlo para obtener un producto limpio, natural, nutritivo y altamente energético, que podría ser utilizado como materia prima en la industria alimenticia, permitiéndonos desplazar los compuestos sintéticos, causa de diversas complicaciones en la salud.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Hoy en día, los productos naturales cubren una línea completa de alimentación. El mercado de estos es un sector creciente que necesita controles y garantías de confianza. Proteger tanto al consumidor, agricultores y transformadores es imprescindible para el desarrollo futuro del sector. En nuestro país y el mundo, la demanda de edulcorantes naturales y energéticos es elevada. Por lo tanto, la producción a gran escala de este tipo de productos, constituyen un desarrollo agroindustrial sostenido.

Los volúmenes de producción han tenido un comportamiento creciente, se observa un desarrollo sostenido tanto de la superficie de caña sembrada como del aprovechamiento industrial, que en nuestro país se reduce a la obtención de azúcar cruda, blanca, refinada, alcohol, melaza y panela. Entendiéndose que podría aumentar el beneficio industrial, mediante la investigación y desarrollo de nuevos productos derivados de la caña de azúcar.

Desde el punto de vista agroindustrial esta investigación fue viable, promovió la industrialización, innovación y diversificación de productos obtenidos a partir de la caña de azúcar. Además, no se generan impactos ambientales adversos, ya que únicamente se desarrolló un producto de origen natural que no implica el uso de agentes químicos y procedimientos que degradan el medio ambiente. El bagazo que constituye los residuos del proceso puede ser aprovechado en la industria papelera, elaboración de abonos orgánicos y otros fines.

Este proyecto aportará el conjunto de conocimientos indispensables para realizar operaciones necesarias y continuas en la producción del jugo de caña de azúcar purificado y estabilizado, posteriormente podría desarrollarse este producto en mayor escala, alcanzando una manufactura a nivel industrial. Generándose fuentes de empleo y contribuyendo al desarrollo económico del País.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 General.**

- Purificar y estabilizar el jugo de caña de azúcar, para uso en la industria de alimentos.

### **1.3.2 Específicos.**

- Determinar en el proceso de purificación los parámetros (pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación), y cambios físicos (turbidez, °Brix y volumen de sedimentación), al final del mismo.
- Determinar el tiempo de esterilización del jugo de caña purificado a temperatura constante.
- Determinar el tiempo y temperatura de pasteurización, del jugo de caña purificado.
- Realizar análisis físicos (turbidez, °Brix, pH), químicos (azúcares totales y azúcares reductores) y análisis microbiológico (recuento de aerobios totales, mohos y levaduras) al producto terminado.

## **1.4 HIPÓTESIS**

### **FASE I: Purificación del jugo de caña de azúcar**

**Hi:** El pH del jugo de caña, la velocidad de agitación y el tiempo de agitación inciden en la calidad del jugo de caña de azúcar y la eficiencia del proceso de purificación.

### **FASE II: Estabilización del jugo de caña purificado**

**Hi:** El tiempo de esterilización a temperatura constante incide en la estabilización y calidad del producto final.

**Hi:** El tiempo de pasteurización a temperatura variable incide en la estabilización y calidad del producto final.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 LA CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum* L)

Fotografía 1. Caña de azúcar



La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) (Fotografía1), es una gramínea tropical, un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y se acumula un jugo rico en sacarosa, sintetizada gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis. El desarrollo de esta gramínea depende en gran medida de la luz solar, razón por la cual su

cultivo se realiza usualmente en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado. (<http://www.cenicana.org/agroindustria/index.php>)

#### 2.1.1 Origen de la caña de azúcar

Tibayde Sánchez (2004) menciona que: el origen exacto de la caña de azúcar es todavía materia de investigación. Sin embargo, se considera que este pudo haber sido el archipiélago de Melanesia en Nueva Guinea, 8000 a 15000 años antes de Cristo, de donde se difundió hacia las islas vecinas, la China y la India. El origen y la dispersión de la caña de azúcar son polémicos y controversiales, el más aceptado es Nueva Guinea por la presencia de una de las mayores colecciones del género *Saccharum* y desde aquí se difundió a través de tres grandes movimientos:

**Islas Salomón y Caledonia:** algunas *Saccharum spontaneum* quedaron aisladas en Nueva Guinea, de donde por selección natural e introgresión de géneros

afines (*Miscanthus*) originaron el desarrollo de nuevas especie *S.robustum* y *S. officinarum*.

**Indonesia, Filipinas o India:** a lo largo de las rutas de migración a través de conflictos locales y las relaciones comerciales, valiosos clones de *S. officinarum* se dispersaron por toda la Polinesia, el sudeste de Asia, el Medio Oriente y algunas partes del norte de África. Estas migraciones estuvieron acompañadas de la poliploidización y la hibridación espontánea. Hibridaciones naturales entre *S. officinarum* x *S. spontaneum* al norte de la India y la China originaron a *S. sinensi*.

**Islas: Fiji, Tonga, Samoa, Cook, Marquesas, Hawái y Oceanía:** es probable que se consideren como centros secundarios que dispersan diversos clones de *S. officinarum* incrementándose su variabilidad genética en cierta medida por las nuevas introducciones. La dispersión posterior ocurrió hacia Hawái, África Oriental, Madagascar, el Medio Oriente, y el Mediterráneo y hacia las Islas Canarias.

En 1493 Cristóbal Colón en su segundo viaje a América la trajo a las islas del Caribe, particularmente a la isla La Española, la cual corresponde hoy a República Dominicana y Haití de donde se difundió posteriormente a Cuba, Puerto Rico, México, Colombia, Ecuador y Perú. Al Brasil fue introducida por los portugueses alrededor del año 1500.DC.

#### **2.4.8 Clasificación botánica**

La caña de azúcar pertenece a la familia Poaceae y al género Saccharum, dentro de este género existen seis especies, dos silvestres y cuatro cultivadas. Las especies silvestres son *S. robustum* y *S. spontaneum*, las especies cultivadas son *S. sinense*, *S. barberi*, *S. edule* y *S. officinarum*. Siendo esta ultima de mayor importancia. Tiene como ancestros a *S. spontaneum*, *Miscanthus* y *Erianthus arundinaceus*; se acepta, también, como vía de origen la *S. robustum*, a través de la selección natural y la practicada por el hombre.

Se distingue por sus tallos gruesos, blandos y jugosos, con un amplio rango de colores que van desde el amarillo pálido a púrpura oscuro, combinaciones de estos y rayas multicolores. Muchas formas tienen alto contenido azucarero, elevada pureza en sus jugos y bajo contenido de fibra y almidón.

Existe una amplia variabilidad para muchos caracteres económicos y botánicos, incluyendo el rendimiento, el contenido de sacarosa y la resistencia a las enfermedades, pero son uniformemente pobres en su adaptabilidad al estrés ambiental. (Tibayde Sanches 2004. p. 5)

### Cuadro 1: Clasificación Botánica

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA	
<b>Reino</b>	Eucariote
Sub – reino	Cormobionta
<b>División</b>	Embriofita.
Sub–División:	<b>MAGNOLIOPHYTA</b>
<b>Tipo</b>	Fanerógama
Sub – tipo	Angiosperma
<b>Clase</b>	Monocotiledónea.
Sub - clase	Liliatae
<b>Orden</b>	Glumade.
Sub – orden	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Tribu</b>	Andropogonoideae
Sub – tribu	Saccharinae
<b>Género</b>	Saccharum
<b>Especie</b>	S. officinarum L S. sinense Roxb. S. barberi. Jeswiet S. edule Hassak. S. robustum Brandes.

Fuente: Sánchez T. (2004) Manual de cultivos tropicales, caña de azúcar. Universidad Central de Venezuela. p.21. Maracay.

### **2.1.3 Importancia agroeconómica**

El conocimiento de la morfología de la planta permite diferenciar y reconocer las especies o variedades existentes. Este conocimiento nos permite distinguir la constitución externa e interna de una especie y reconocer cuál de sus órganos tiene la mayor importancia agroeconómica.

### **2.1.4 Producción de biomasa o acumulación de sacarosa**

El conocimiento de la morfología de la planta permite diferenciar y reconocer las especies o variedades existentes, esto permite distinguir la constitución externa e interna de una especie y reconocer cuál de sus órganos tiene la mayor importancia agroeconómica.

### **2.1.5 Estructura externa de la planta**

**Sistema radical.** Constituye el anclaje de la planta y el medio para la absorción de nutrimentos y de agua del suelo. Está formado por dos tipos de raíces.

- ✓ **Raíces de la estaca original o primordiales:** son aquellas que se originan a partir de la banda de primordios radicales, localizada en el anillo de crecimiento del esqueje o estaca original que se siembra, son delgadas, muy ramificadas y su período de vida llega hasta el momento que aparecen las raíces en los nuevos brotes, lo cual ocurre entre los 2 y 3 meses de edad.
  
- ✓ **Raíces permanentes:** son aquellas que brotan de los anillos de crecimiento radical de los nuevos brotes, son numerosas, gruesas, de rápido crecimiento y su proliferación avanza con el desarrollo de la planta. La cantidad, la longitud y la edad de las raíces permanentes dependen de la variedad, tipo de suelo, humedad y temperatura del mismo.

**Tallo.** El tallo también se denomina "caña triturable", es el órgano más importante de la planta, ya que en él se almacenan los azúcares. La caña de azúcar forma cepas constituidas por la aglomeración de los tallos, que se originan

de las yemas del material vegetativo de siembra y de las yemas de los nuevos brotes subterráneos.

El tallo de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida denominada jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas. Las proporciones de los componentes, así como el número, el diámetro, el color y el hábito de crecimiento del tallo dependen principalmente de la variedad (familia) de la caña, condiciones agroecológicas de la zona de cultivo, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc.

**Hoja.** En caña de azúcar se originan en los nudos y se distribuyen en posiciones alternas a lo largo del tallo a medida que este crece. Cada hoja esta formada por la lamina foliar y por la vaina o yagua. La unión entre estas dos partes se denomina lígula y en cada extremo de esta existe una aurícula con pubescencia variable.

**Lamina foliar.** Es la parte más importante para el proceso de fotosíntesis y su disposición en la planta difiere con las variedades, siendo la más común la pendulosa y la erecta. La disposición de la lámina no determina los rendimientos en sacarosa ni la producción de caña; por lo tanto, es posible encontrar variedades con altos o bajos rendimientos que tienen distintas formas de disposición de las hojas en cualquier densidad de siembra.

**Vaina o yagua.** Tiene forma tubular, envuelve al tallo y es ancha en la base. Puede ser glabra o cubierta de pelos urticantes en cantidad y longitud variable según la variedad.

**Flor.** La inflorescencia de la caña de azúcar es una panícula sedosa en forma de espiga. Está constituida por un eje principal con articulaciones donde están insertas las espiguillas, una frente a la otra. Cada espiguilla contiene una flor hermafrodita con tres anteras y un ovario con dos estigmas. Cada flor está rodeada por pubescencias largas que le dan a la inflorescencia un aspecto sedoso. En cada

ovario hay un óvulo el cual una vez fertilizado, da origen al fruto o cariósido. El fruto es de forma ovalada de 0.5 mm de ancho y 1.5 mm de largo, aproximadamente.

### **2.1.6 Fisiología de la caña de azúcar**

**Fotosíntesis.** Es un proceso fundamental que determina la productividad del 90% o más de la biomasa seca y, en el caso de la caña de azúcar, del 100% de los productos útiles: la sacarosa y el bagazo.

La caña de azúcar pertenece al grupo de las plantas C-4, en las cuales los primeros productos de la fotosíntesis tienen cadenas de cuatro átomos de carbono. Estas plantas se caracterizan por la alta tasa de fotosíntesis en las hojas individuales que se manifiesta en una alta producción de biomasa por hectárea y por año.

En las variedades de caña existen características que se relacionan con la tasa fotosintética neta (Fn). Así, existe una correlación negativa entre esta tasa y el ancho de la hoja, y positiva con el grosor y el peso específico (mg/dm) (Irvine, 1.975). En las hojas normales de algunas variedades, la Fn no se correlaciona con el contenido de la clorofila, pero sí con la porosidad de la hoja.

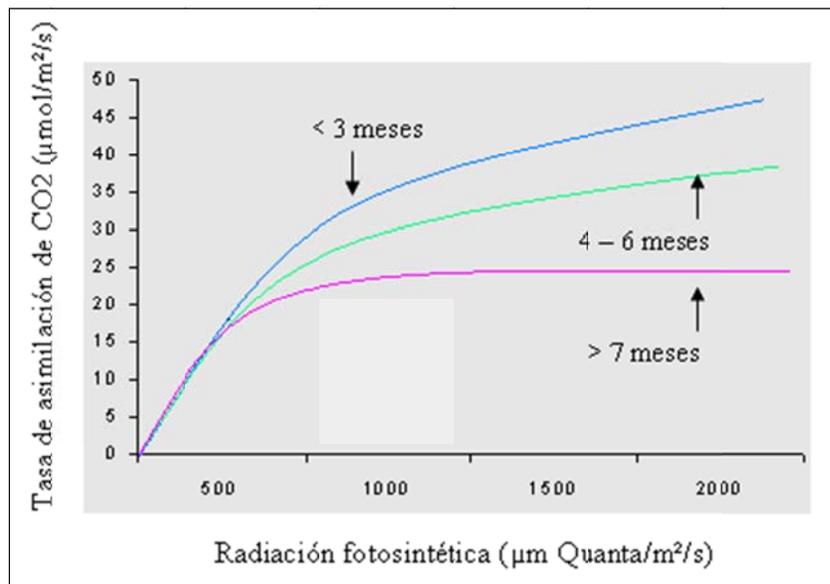
Hasta el momento no se ha encontrado una relación directa entre la tasa fotosintética de las hojas y la producción de caña, debido a los inconvenientes para medirla. En caña de azúcar, la Fn aumenta con la intensidad de la luz y muestra la característica de las plantas C4 en el sentido de no alcanzar un nivel de saturación a altas intensidades a tempranas edades de la planta.

En las zonas tropicales, cuando la radiación solar es alta, generalmente en horas del mediodía, los rayos del sol inciden en forma vertical, lo cual favorece a una menor intensidad de la iluminación en plantas con hojas erectas, en comparación con plantas de hojas inclinadas.

Lo anterior sugiere que esto puede contribuir a la obtención de mayores producciones de biomasa; sin embargo, en la caña este efecto es mínimo debido a que, como se mencionó antes, la fotosíntesis no se satura cuando la iluminación es alta.

Sin embargo, en Cenicaña, se ha encontrado que, aunque en las plantas jóvenes no se logra la saturación por la luz, en las plantas más viejas esto si ocurre, lo que sugiere la posibilidad de alcanzar algunas ventajas con variedades de hojas más erectas, especialmente cuando éstas tienen una mayor edad.

**Gráfico 1: Relación entre la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (fotosíntesis) de la caña de azúcar y la disponibilidad de luz, a varias edades del cultivo**

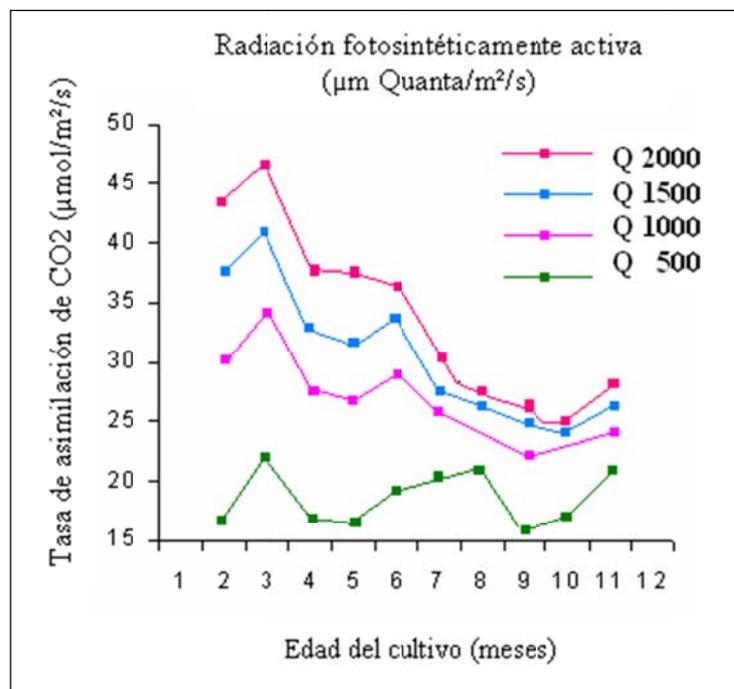


Fuente: Sánchez T. (2004) Manual de cultivos tropicales, caña de azúcar. Universidad Central de Venezuela.p.30. Maracay.

La tasa de fotosíntesis neta (Fn) es alta en plantas jóvenes, y después de 4 a 5 meses empieza a decrecer, teniendo en cuenta las posibles razones:

- ✓ Intercepción de la radiación solar
- ✓ Acumulación de metabolitos
- ✓ Manejo Agronómico.

**Gráfico 2: Fluctuación de la tasa de fotosíntesis con la edad del cultivo en caña de azúcar**



Fuente: Sánchez T. (2004) Manual de cultivos tropicales, caña de azúcar. Universidad Central de Venezuela.p.31. Maracay.

### 2.1.7 Composición de la caña de azúcar

Dentro de la composición química de la caña (Cuadro 2), el porcentaje de azúcares y fibra, son los más utilizados en la industria.

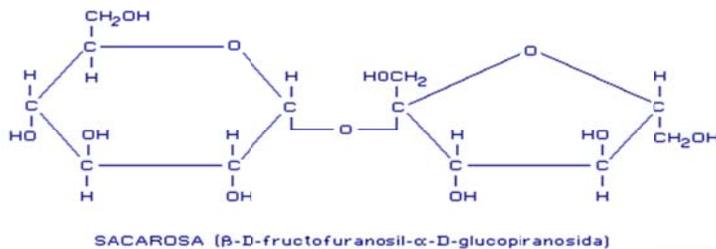
**Cuadro 2: Composición química de la caña de azúcar**

COMPONENTES	CANTIDAD %
<b>Agua</b>	<b>74.50</b>
<b>FIBRA:</b>	
Celulosa	5.50
Pentosas	2.00
Araban	0.50
Lignina, leñosos, etc.	2.00
<b>TOTAL FIBRA</b>	<b>10.00</b>
<b>AZUCARES:</b>	
Sacarosa (C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> )	12.50
Glucosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	0.90
Fructosa (C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub> )	0.60
<b>TOTAL AZÚCARES</b>	<b>14.00</b>
<b>CENIZAS:</b>	
Sílice (Si)	0.25
Potasa (KOH)	0.12
Soda (Na HOH)	0.01
Cal (CaO)	0.02
Magnesio (Mg)	0.01
Acido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	0.07
Acido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	0.02
Hierro (Fe)	Trazas
Cloro (Cl)	Trazas
<b>TOTAL CENIZAS</b>	<b>0.50</b>
<b>COMPUESTOS NITROGENADOS:</b>	
Albúminas	0.12
Amidas (Asparragina)	0.07
Aminoácidos (Aspártico)	0.20
Acido Nítrico	0.01
<b>TOTAL COMPUESTOS NITROGENADOS</b>	<b>0.40</b>
<b>ÁCIDOS Y GRASAS:</b>	
Grasa y cera	0.20
Pectina y gomas	0.20
Ácidos libres	0.08
Ácidos combinados	0.12
<b>TOTAL ÁCIDOS Y GRASAS</b>	<b>0.60</b>

Fuente: Moya G. (2000) Manual para la producción de panela. CFN. pp:21-22.  
Quito

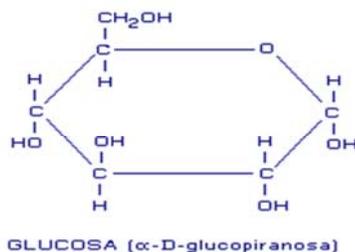
**Sacarosa.** La sacarosa se la encuentra en estado libre en los vegetales foto sintetizadores, constituyendo el azúcar principal de la dieta de los seres vivos. Está formada por dos monosacáridos diferentes, la Alfa glucosa y la Beta glucosa. La primera en forma piranósica y la segunda en forma furanósica.

**Composición.** Fórmula:  $C_{12} H_{22} O_{11}$ , oxígeno 51.42%, carbono 42.10%, hidrógeno 6.48%, peso molecular 342.30 g. La fórmula de la estructura de la sacarosa, se indica a continuación.



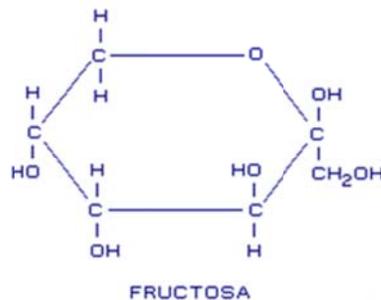
**Glucosa.** La glucosa se encuentra en la uva, miel y jarabe de maíz. Se obtiene por hidrólisis del maíz; y se clasifica por su grado de conversión (baja 30-38 a alta, mas de 58 DE). Posee un grado de dulzura de 74.3 y se la utiliza para reemplazar de un 20 a un 30 % de sacarosa para obtener elaborados de mejor consistencia, textura y evitar el peligro de la cristalización.

**Composición.** Fórmula:  $C_6 H_{12} O_6$ , oxígeno 53.29%, carbono 40.00%, hidrógeno 6.72%, peso molecular 180.16 g. La fórmula de la estructura de la glucosa, la indicamos a continuación.



**Fructosa.** La fructosa (o levulosa), se conoce también como azúcar de frutas (cetosa) de alto poder edulcorante (173.3), se encuentra en la miel y en jugos de frutas en forma piranósica; sin embargo, cuando se combina con otros azúcares como la sacarosa o en polisacáridos, su forma cíclica es la furanósica.

**Composición.** Fórmula:  $C_6 H_{12} O_6$ , oxígeno 53.29%, carbono 40.00%, hidrógeno 6.72%, peso molecular 180.16 g. La fórmula de la estructura de la fructosa, la indicamos a continuación.



## 2.2 ANÁLISIS DEL SECTOR CAÑICULTOR EN EL ECUADOR

### 2.2.1 Localización geográfica

Las zonas de cultivo de caña de azúcar se encuentran ubicadas en las provincias de Guayas, Cañar, Los Ríos, Imbabura y Loja, siendo la Cuenca Baja del Río Guayas el lugar donde se concentra el 92 % de la producción de caña. ([http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/azucar\\_ec\\_90-98.htm](http://www.sica.gov.ec/cadenas/azucar/docs/azucar_ec_90-98.htm))

### 2.2.2 Producción agrícola industrial

**Agrícola.** La superficie sembrada de caña de azúcar es de 72.000 Has., de las cuales el 60 %, 43.200 Has, es de propiedad de cañicultores y el 40 % restante, 28.800 Has, pertenece a los ingenios.

La estructura productiva de la caña de azúcar del sector cañicultor está considerada de la siguiente forma: el 80 % es de pequeños cañicultores, que tienen hasta 50 Has.; el 15 % es de medianos, que comprenden de 50 Has a 200 Has., y el 5 % de grandes, con más de 200 Has. La disponibilidad de mano de obra para la producción de caña y para la zafra, proviene de las zonas de Cañar, Chimborazo, Naranjito, La Troncal, Milagro y del Km. 26.

Una gran superficie del riego, se lo realiza por gravedad por ser terrenos nivelados, el área restante se lo hace por aspersión. Los ríos Cañar, Bulu Bulu, Milagro, Chimbo, Chanchán y Yaguachi se constituyen en las fuentes de agua principales, formando la Cuenca Baja del Río Guayas. El transporte de la caña de azúcar no tiene dificultad, por cuanto las explotaciones agrícolas se encuentran cruzados por caminos vecinales, los mismos que tienen buen mantenimiento, siendo la máxima distancia entre ingenio y plantación de 25 Km.

La variedad Ragnar es la que más se cultiva, cubriendo el 80 % del área sembrada, y el resto están repartidas con las variedades: Azul Casagrande, B.J. 6808, Puerto Rico 980 y Campo du Brasil, entre otras. En la actualidad el corte de caña se realiza manualmente y se mantiene las cosechadoras como recurso complementario para cuando falta mano de obra. Igualmente se siguen realizando nuevas investigaciones a fin de mejorar los rendimientos. Las variedades más importantes son aquellas donde la concentración de sacarosa en la caña es mayor, variando de un 8% a un 14% en peso. Las expectativas del sector de producción de caña de azúcar son de crecimiento sostenible.

El precio por tonelada de caña es el 75 % del valor de venta ex fábrica de un saco de azúcar de 50 kg. con una base de 13 grados polarimétricos; si los grados subieran, se reconoce el 1% del valor de la tonelada por cada grado superior y así mismo, se descontará el 1% por cada grado inferior, siendo el mínimo para la molienda 11 grados.

**Industrial.** El aprovechamiento industrial de la caña de azúcar en nuestro país se reduce a la obtención de azúcar cruda, blanca, refinada, alcohol, melaza y panela. Los volúmenes de producción han tenido un comportamiento creciente anual. En el período comprendido entre 1990 y 2000, se observa un crecimiento sostenido tanto de la superficie de caña sembrada como de la producción de azúcar. La superficie sembrada pasó de 48.201 has., a 72.000 has., lo que significa un incremento del 45 %; en lo que respecta a la producción de azúcar esta tuvo un crecimiento del 40 % al pasar de 331.925 TM a 467.903 TM. Este crecimiento se debe principalmente a las grandes inversiones realizadas por los ingenios azucareros y el sector cañicultor.

En el año agrícola 2002 – 2003, el sector azucarero se reactivó notablemente, es así como se observó un crecimiento del 16 % en la producción de azúcar, con relación a 2001 - 2002, igual situación se presentó en el período 2003 – 2004, cuyo crecimiento fue de 15 % en relación con la producción del período anterior.

### **2.2.3 Consumo**

El consumo nacional estimado anual de azúcar es de 360.000 TM, de los cuales la industria consumidora de azúcar consume alrededor del 23 %. La superficie del cultivo de caña a nivel nacional se indica en el siguiente cuadro.

**Cuadro 3: Superficie por cultivos solos de caña de azúcar: según regiones y provincias**

REGIONES Y PROVINCIAS	CAÑA DE AZÚCAR PARA AZÚCAR		CAÑA DE AZÚCAR PARA OTROS USOS	
	UPAs	Superficie Plantada	UPAs	Superficie Plantada (has)
<b>TOTAL NACIONAL</b>	1,700	82,749	35,508	42,696
<b>REGIÓN SIERRA</b>	581	30,830	26,678	32,596
<b>REGIÓN COSTA</b>	1,119	51,919	3,050	4,277
<b>RESTO</b>	*	*	5,780	5,733
<b>REGIÓN SIERRA</b>				
Azuay	*	*	2,335	2,500
Bolívar	*	*	4,108	5,913
Carchi	79	21,678	610	1,381
Cañar	*	*	206	334
Cotopaxi	*	*	2,821	6,153
Chimborazo	*	*	270	459
Imbabura	286	6,745	1,040	2,637
Loja	140	2,097	13,633	8,681
Pichincha	*	*	1,628	4,337
Tungurahua	*	*	27	115
<b>REGIÓN COSTA</b>				
El Oro	*	*	1,881	2,963
Esmeraldas	*	*	520	448
Guayas	1,111	50,335	34	99
Los Ríos	7	1,584	84	114
Manabí	*	*	530	923
<b>REGIÓN AMAZÓNICA</b>				
Morona Santiago	*	*	2,247	1,611
Napo	*	*	138	114
Pastaza	*	*	1,324	2,158
Zamora Chinchipe	*	*	1,681	1,560
Sucumbíos	*	*	296	212
Orellana	*	*	*	*
<b>REGIO INSULAR</b>				
Galápagos	*	*	*	*
<b>ZONAS EN CONFLICTO</b>				
Las Golondrinas	*	*	*	*
La Concordia	*	*	*	235
Manga del Cura	*	*	*	254
El Piedrero	*	*	*	*
Resto = Amazónica + Insular + Zonas en conflicto				
*La información correspondiente se oculta en salvaguarda de la confidencialidad estadística individual				
UPAs Unidad Productiva Agropecuaria				
has Hectáreas				

Fuente: Tomado de MAG, SICA. III Censo Nacional Agropecuario-datos nacionales. Ecuador.

## 2.3 ANÁLISIS INTERNACIONAL DEL SECTOR CAÑICULTOR

### 2.3.1 Marco global

**Producción mundial.** Los principales países productores de azúcar son:

- La India con una producción de 17803 toneladas métricas.
- La Unión Europea con 17561 TM, Brasil con 15400 TM y China con 8079 TM.

Ecuador produce 467 TM de azúcar, volumen que representa el 0.33 % de la producción mundial, la misma que asciende a un volumen de 124472 TM, cifra registrada para la zafra 2000 – 2001.

**Exportaciones.** Los principales países exportadores son:

- Brasil con 6200 TM
- Unión Europea con 5150 TM
- Australia exporta 4141 TM y
- Tailandia 4100 TM.

Ecuador exportó en la zafra 2000 – 2001 un volumen de 32000 TM, volumen que constituye una participación del 0.08 % de las exportaciones mundiales.

**Importaciones.** Los países importadores más grandes son:

- Rusia con 33243 TM (26 % de las importaciones mundiales)
- Unión Europea 1835 TM (13 %)
- EE.UU importa 1624 TM (12 %)
- Japón adquiere azúcar del mercado exterior en un volumen de 1600 TM que representan el 10 % de las importaciones mundiales
- Ecuador importa 13000 TM, que representan el 0.4 %.

### **2.3.2 Marco subregional**

#### **Producción**

- Colombia produce 2'240 millones de toneladas y representa el 55.50 % de la producción del mercado andino
- Perú produce 600.000 toneladas y le corresponde el 14.50 %
- Venezuela produce 550.000 toneladas y le corresponde el 13.50 %
- Ecuador produce 450.000 toneladas y le corresponde el 11 %
- Bolivia produce 220.000 toneladas y le corresponde el 5.50 %.

#### **Exportaciones**

Las exportaciones totales dentro de la Subregión asciende a 976.134 TM para 2004, Colombia es el mayor exportador con 897.004 TM, seguido de Bolivia y Ecuador con 28.344 TM y 26.277 TM, respectivamente, Perú tuvo una participación del 2 % y Venezuela el 0.3 %.

#### **Importaciones**

El mayor importador de azúcar dentro de la CAN es Perú, con 353.033 TM (49 %), seguido de Venezuela con 330.864 TM (46 %), Ecuador con 11.522 TM, Colombia con el 2 % y Bolivia con 5.952 TM.

#### **Estacionalidad**

La estacionalidad de la caña de azúcar dentro de la Comunidad Andina se presenta de la siguiente manera: Perú y Colombia tienen una zafra durante todo el año, los inicios de la cosecha es a partir del mes de mayo hasta abril del próximo año, Bolivia inicia la zafra en mayo y culmina las actividades de cosecha en noviembre, la zafra en Ecuador es de junio a diciembre, Venezuela tiene cinco meses de zafra, la misma corresponde en el período diciembre – abril.

## **2.4 PRINCIPALES INDICADORES DE LA CADENA PRODUCTIVA**

### **2.4.1 Industrias y agrupación de cañicultores**

Se cuenta con 6 ingenios: San Carlos, La Troncal, Valdez, Isabel María, IANCEM y Monterrey, cuyo representante es la Federación Nacional de Azucareros FENAZUCAR. Además, existe la Unión Nacional de Cañicultores del Ecuador UNCE que agrupa a todas las asociaciones de cañicultores del país.

### **2.4.2 Aptitud agrícola**

La disponibilidad de suelos aptos para el cultivo de la caña y la presencia de luminosidad en varias zonas favorecen el ciclo vegetativo de este producto. Esto ha permitido que en los ingenios de la sierra la zafra se lo realice todo el año.

### **2.4.3 Reciclaje**

Los subproductos más importantes son:

**Melaza:** se usa para la elaboración del alcohol y como alimento para los ganados. Se puede obtener de 17 y 32 Lt por cada tonelada de caña.

**Cachaza:** es un subproducto que se obtiene de la extracción del jugo y que se utiliza como alimento y fertilizante (abono orgánico), por cada tonelada de caña se obtiene 0.04 TM.

**Bagazo:** se clasifica en meollo y fibra. La primera se puede hidrolizar y obtener alimento animal (40% del bagazo) y la segunda serviría entonces como combustible (60% del bagazo), o se utiliza el 100 % como combustible.

### **2.4.4 Personal ocupado y remunerado**

Estas industrias emplearon en la zafra 2003 - 2004 a 30.000 trabajadores entre zafreiros, obreros y personal de la planta administrativo, en forma directa y 80.000

personas en forma indirecta. Las remuneraciones totales ascendieron a un poco más de 108 millones de dólares con un salario promedio mensual de 300 USD.

#### **2.4.5 Principales industrias consumidoras de azúcar y subproductos**

**Bebidas y gaseosas:** Orangine, Unión Vinícola Inter., Chivería, Trica S.A., Cervecería Andina, Industrias Quevedo, Bebidas Andinas, E.B.C., C.B.C, Industria Conservera del Guayas, Ecuavegetal, Embotelladora Azuay, Pepsi, Sumesa, Begazuay, Pasteurizadora Quito, Schullo, Toni, Lácteos San Antonio, Cruz, Induquito, Alpina, Lácteos Nápoles, Fruit, Emprooro, Biela.

**Comercio y fabricación de alimentos procesados:** Tía, Florandina, Ruales Donoso, Sociedad Frutera Nacional, Panificadora Moderna, Incremar, Celnasa, Amyel, Falimensa, Levapan, Elito, Snob, Fermepan, Agrícola Oficial, Productora Toscana, Panificadora California, Norteéis S.A., Marcseal S. A., Industrial F.G.H., Harinosa, Camari, Pan Mariscal, Frescopan, Panadería Nacional, Hilton Colón, Figallo.

**Confites:** Manina, Ferrero, Confiteca, La Universal, Nabisco Royal, Gustaff, Chocolates Noboa, Ecuagolosinas, Chocolates la Perla, Nestle, Dulces y Caramelos Ecuatotianos, Kaumal, Galletas Pecos, Confrunas, Dulcinea.

**Helados:** Servihelados, Pingüino, King Bolo, Halados Turrón, Induhelados S. A.

**Ind. Farmacéutica:** Bristol Bayer, Lab. H.G., Lab. Kronos, Lab. Mopaz, Lab. Life, Lab. Bajrner, Farmayala.

**Industria Alcohólica:** Producargo S.A., Soderal, Codana.

#### **2.4.6 Valor bruto de la producción**

El valor bruto de la rama asciende a la cifra de alrededor de 168 millones de USD., que representa el 1.46 % del PIB total y el 13.3 % del PIB agrícola.

El valor bruto de la producción industrial azucarera tuvo un comportamiento creciente en el período 1990 – 2001, con una tasa de crecimiento del 41 % en relación a 1990. Esta situación obedece a la serie de inversiones que han realizado los ingenios azucareros.

#### **2.4.7 Valor agregado**

El valor agregado contable de la industria azucarera, está estimada en aproximadamente 102 millones de dólares de los Estados Unidos de Norteamérica.

## **2.5 PURIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR**

### **2.5.1 Purificación**

Según (<http://www.flui.q./sanesh/pure.php>) purificación es la eliminación de impurezas o imperfecciones suspendidas y disueltas en un medio natural o artificial en cualquier estado de la materia, las mismas que impiden que ésta sea adecuada para numerosos fines. Los materiales indeseables, orgánicos e inorgánicos pueden ser extraídos por métodos físicos, químicos y biológicos.

#### **Alcance de la purificación en la investigación**

Se define purificación del jugo de caña de azúcar a la eliminación total de partículas extrañas al jugo, bagazo, arcilla, ceras, gomas e insectos, mediante métodos físicos tales como: tamizado, sedimentación y filtración llevada a cabo con celulosa y carbón activado, que elimina los sabores y olores desagradables, así como varios productos de la fermentación. Estas moléculas serán unidas de una manera física a la superficie del carbón activo mediante el proceso denominado adsorción y posterior absorción.

## **2.5.2 Estabilización**

Acción de estabilizar, mediante procesos que se añaden a un sistema que permiten al mismo, mantenerse sin peligro de cambiar, caer o desaparecer y recupere el equilibrio. (<http://www.flui.q./sanesh/estab.php>)

### **Alcance de la estabilización en la investigación**

La estabilización del jugo de caña de azúcar comprende una serie de procesos que permiten conservar las características físicas y químicas naturales del producto, utilizando métodos de conservación: físicos y químicos.

Así mismo, se define como estabilización del jugo de caña a la eliminación y destrucción total de microorganismos patógenos para la salud, mediante procesos físicos de transferencia de calor, esterilización y pasteurización que pueden eliminar microorganismos infecciosos.

#### **2.5.2.1 Condiciones que afectan el desarrollo de microorganismos**

Hay ciertas condiciones que los microorganismos necesitan para su desarrollo y, así deteriorar un alimento.

**Nutrientes:** la presencia de un abasto adecuado de nutrientes es la más importante condición que afecta el desarrollo de los microorganismos.

**Humedad:** el contenido de humedad y su disponibilidad en el alimento, son factores importantes en la preservación del crecimiento de los microorganismos pues, el agua penetra en el interior de los alimentos a través de la pared celular.

**Oxígeno:** algunos microorganismos necesitan del oxígeno libre para su supervivencia y son denominados aerobios. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos no son ni aerobios ni anaerobios (sin oxígeno), pudiendo tolerar dentro de ciertos niveles, los dos ambientes.

**Temperatura:** para cada grupo de microorganismo, hay una franja de temperatura óptima o más favorable para su desarrollo, conforme es mostrado a continuación:

- **Grupo Psicotrófilos:** se desarrollan mejor entre 14 a 20°C, pero pueden crecer lentamente en el interior o sobre los alimentos mantenidos en temperaturas entre 4° C.
- **Grupo Mesófilos:** este grupo se desarrolla mejor en temperaturas en la franja de 30 a 37° C.
- **Grupo Termófilos:** los microorganismos de este grupo, se desarrollan a altas temperaturas que son en la franja de 45 a 65° C.

#### **2.5.2.2 Termorresistencia de los microorganismos**

La resistencia térmica de los microorganismos es llamada tiempo de reducción decimal o simplemente conocida por "D". El valor D puede ser definido como el tiempo en minutos, a una cierta temperatura necesaria para destruir un 90% de los organismos de una población o, para reducir una población a un décimo del número original de microorganismos presente al alimento.

La utilización del tratamiento térmico, generalmente bajo forma de calor húmedo es el más utilizado en el control de la estabilidad microbiológica o aún esterilidad comercial de los alimentos procesados. Dependiendo fundamentalmente del tipo de microorganismo presente y que se desea eliminar, hay dos tipos diferentes de tratamiento térmico que son aplicados a los alimentos procesados:

**Tratamiento térmico comercial.** Generalmente empleado para alimentos de baja acidez  $PH > 4,6$  y que son almacenados a temperatura ambiente. Las temperaturas en este proceso varían de 110°C a 125°C.

**Tratamiento Térmico de Pasteurización.** La terminología pasteurización se aplica para indicar tratamiento térmico menos intenso, siempre las temperaturas inferior a 100° C y, por lo tanto a presión atmosférica normal.

Estos procesos son destinados a los alimentos que ofrecen condiciones para la proliferación de las bacterias (con alimentos ácidos o muy ácidos), no ofreciendo condiciones para la multiplicación de microorganismos más resistentes, que pueden sobrevivir en el proceso de pasteurización, entre estos tenemos:

**Levaduras y sus esporas.** Normalmente las levaduras son destruidas a una temperatura entre 5 a 10° C. Las formas vegetativas de las levaduras son eliminadas en general de 50 a 60° C, en un tiempo de 10-15 minutos y, sus esporas serán destruidas con una temperatura mínima de 60°C en un tiempo de 10-15 minutos.

**Mohos y sus esporas.** La mayoría de los mohos y sus esporas, son destruidos a una temperatura mínima de 65° C con un tiempo que varía entre 5 y 10 minutos. Hay algunos mohos como el caso de algunas especies de *Penicillium*, que es necesario para su destrucción una temperatura por encima de 83° C con un tiempo de hasta 100 minutos. Las esporas de los mohos y hongos, son bastante resistentes al calor como casos registrados de algunas esporas resistentes a temperatura de hasta 120° C, durante un tiempo de 30 minutos.

**Bacterias y sus esporas.** La termorresistencia bacteriana varía mucho desde algunos patógenos fácilmente destruidos, hasta los termófilos que son necesarios períodos de tiempo largo a una temperatura entre 80 a 92° C para su eliminación. Sus esporas generalmente son más resistentes al calor, siendo necesario una temperatura mínima de 100° C y, un tiempo de destrucción que varía de 1 minuto a 20 horas para su destrucción. La mayoría de las enzimas en los alimentos y de los microorganismos, son destruidas a 80° C y, algunas pueden resistir temperaturas superiores a 80° C. (<http://es.wikipedia.termoresist.m/shtml>).

## **2.6 MÉTODOS DIRECTOS DE CONSERVACIÓN**

Entre estos métodos se encuentra la esterilización, pasteurización y el empleo de aditivos y conservantes.

### **2.6.1 Esterilización**

La esterilización es el proceso de eliminación de toda forma de vida, incluidas las esporas. Es un término absoluto que implica pérdida de la viabilidad o eliminación de todos los microorganismos contenidos en un objeto o sustancia, acondicionado de tal modo que impida su posterior contaminación.

#### **Métodos de esterilización físicos**

Los métodos físicos son aquellos que no involucran el empleo de sustancias letales para los microorganismos, sino procedimientos físicos como la radiación ionizante o el calor.

#### **Esterilización comercial**

La esterilización, como método de conservación puede ser aplicada a cualquier producto que haya sido pelado, trozado o sometido a otro tratamiento de preparación, provisto de un envase adecuado y sellado en forma hermética de tal manera que se evite la entrada de microorganismos después de la esterilización y también la entrada de oxígeno. Además el envase debe presentar condiciones de vacío para asegurar la calidad del producto.

La esterilización evita que sobrevivan los organismos patógenos o productores de enfermedades cuya existencia en el alimento y su multiplicación acelerada durante el almacenamiento, produciría serios daños a la salud de los consumidores. Los microorganismos se destruyen por el calor, pero la temperatura necesaria para destruirlos varía. Muchas bacterias pueden existir en dos formas, vegetativa o de menor resistencia a las temperaturas y esporulada o de mayor resistencia. Los microorganismos indicadores son los más difíciles de destruir mediante los tratamientos térmicos, de manera que si el tratamiento es eficiente con ellos lo

será con mayor razón con aquellos microorganismos más termosensibles. El calor, destruye las formas vegetativas de los microorganismos y reduce a un nivel de seguridad las esporas, es decir, las formas resistentes de los microorganismos, asegurando que el producto puede ser consumido sin problemas. (<http://www.monografias.com/trabajos10/meste/meste.shtml>).

### **2.6.2 Pasteurización**

La pasteurización es el proceso de destrucción de las bacterias patógenas que pueden existir en un líquido mediante el calor, generalmente usado en el tratamiento de líquidos alimenticios, alterando lo menos posible la estructura física y los componentes químicos de este. En 1862, el químico francés Louis Pasteur creó el proceso que lleva su nombre, que se usa para destruir microorganismos dañinos en productos comestibles. Posteriormente, los productos se envasan adecuadamente y sellan herméticamente con fines de seguridad. (<http://es.wikipedia.org/wiki/Pasteurizaci%C3%B3n>).

Este método consiste en elevar la temperatura de los alimentos entre 60° y 80 °C, generalmente se realiza a 68 °C, durante un periodo entre unos pocos segundos y 30 minutos. Así se destruyen los microorganismos más peligrosos o los que con mayor frecuencia pueden producir alteraciones.

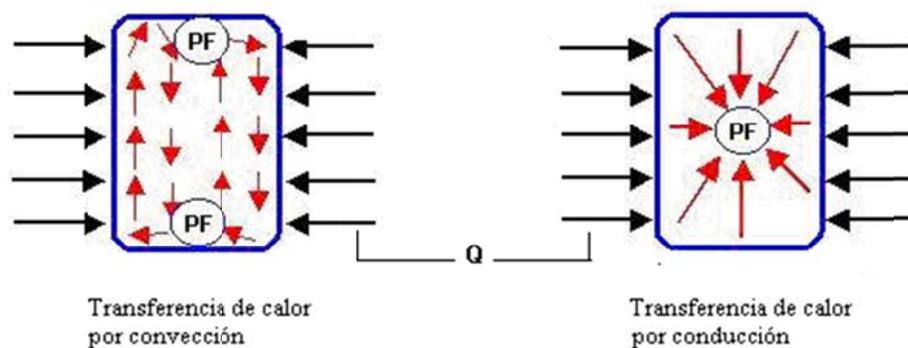
Dado que la pasteurización no elimina todos los microorganismos que pueden contener los productos tratados, este método solo permite una conservación temporal y en determinadas condiciones. Los alimentos pasteurizados, a veces denominados semiconservas deben guardarse en una nevera, aunque todavía no se haya abierto el envase. (<http://www.alimentacion-sana.com.ar.htm>)

## **2.7 PENETRACIÓN DE CALOR EN EL ALIMENTO DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO**

La penetración de calor en el tratamiento térmico en alimentos envasados herméticamente, es definida como el cambio de la temperatura en un determinado

punto del producto, en virtud de la influencia de la temperatura de los puntos vecinos del mismo. Esa penetración es resultante de la transferencia de calor en el producto, que se procesa por dos mecanismos fundamentales que son: **por convección y por conducción**. El esquema de los dos procesos de calentamiento es ilustrado en la figura a continuación:

**Grafico 3: Esquema de los procesos de calentamiento**



Donde las flechas rojas, muestran el movimiento de agitación del alimento dentro del envase. PF es el Punto Frío o Punto Crítico, local en el interior del envase donde la transferencia de calor es más lenta, por lo tanto baja Letalidad de los microorganismos. El Punto Frío, depende principalmente de las características físicas del producto alimenticio y del formato y material de los envases utilizados. Dependiendo del tipo de alimento, se debe aplicar un tratamiento térmico de esterilización específico, pues la penetración de calor en los mismos son diferentes. (<http://www.neoalimentos-sana.com.ar>)

## 2.8 ADITIVOS CONSERVANTES

Se denomina conservante a cualquier sustancia añadida a los alimentos, bien sea de origen natural o de origen artificial que pueda detener o minimizar el deterioro causado por la presencia de diferentes tipos de microorganismos, bacterias, levaduras y mohos. Este deterioro microbiano de los alimentos puede producir pérdidas económicas sustanciales, tanto para la industria alimentaria que puede

llegar a generar pérdidas de materias primas y de algunos sub-productos elaborados, deterioro de la imagen de marca, así como para distribuidores y consumidores. (<http://www.es.wikpe.org/wiki/conservante>)

## **2.9 PROCESOS Y OPERACIONES APLICADAS EN LA OBTENCION DEL JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y ESTABILIZADO**

### **2.9.1 Recepción de las materias primas**

Las materias primas, antes de ser introducidas en el proceso de elaboración o en un punto conveniente del mismo, deberán someterse a inspección, clasificación o selección, según las necesidades, para eliminar las materias inadecuadas. Esas operaciones deberán realizarse en condiciones sanitarias y de limpieza. En las operaciones ulteriores de elaboración, solamente deberán emplearse materias primas limpias en buen estado.

### **2.9.2 Lavado y desinfección**

La materia prima deberá lavarse según sea necesario para separar la tierra o eliminar cualquier otra contaminación. El agua que se haya utilizado para estas operaciones no deberá recircularse, a menos que se haya tratado adecuadamente para mantenerla en unas condiciones que no constituyan un peligro para la salud pública. El agua empleada para las operaciones de lavado, enjuagado o transporte de los productos alimenticios terminados, deberá ser de calidad potable.

### **2.9.3 Pesado**

Determinar el peso, o la masa de la materia prima por medio de la balanza o de otro instrumento equivalente antes de introducirla al proceso, es conveniente, permite, examinar con atención y considerar el rendimiento de la misma luego de finalizar un proceso u operación específica dentro de la planta productiva.

Permite además avaluar su costo real, si se tratase de productos que fácilmente pudieren alterarse. El registro de la masa o peso debe estar acompañado de una inspección minuciosa de la misma.

#### 2.9.4 Extracción o molienda

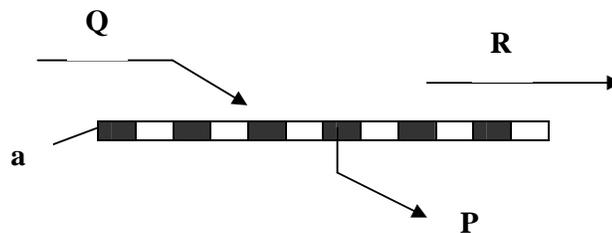
La molienda constituye la primera operación del proceso de producción del jugo de caña de azúcar estabilizado. La extracción tiene como objeto separar el jugo de la caña por medio de la compresión de la caña al hacer pasar la misma a través de tres masas de acero que giran en sentido contrario. La extracción se la define como el jugo extraído que tiene la caña.

#### 2.9.5 Tamizado

El objetivo de las operaciones de tamizado es la separación de dos o más fracciones de un material polidisperso por medio de superficies de cribado o tamizado, cuyos tamaños de agujeros se seleccionan de acuerdo con el tamaño de las fracciones deseadas. En el gráfico (4) se presenta un esquema elemental de la operación de tamizado para la obtención de dos fracciones del material alimentado Q.

**Gráfico 4: Esquema elemental de una operación de tamizado:**

**Q-alimentador; R-Rechazo; P-producto; a-superficie de tamizado**



Teóricamente, el producto R debe tener un tamaño de partículas superior al tamaño de los agujeros, ya que toda partícula de un tamaño menor que este debe pasar por dichos agujeros. Sin embargo, factores como la adherencia de las partículas pequeñas entre sí y a las grandes, el grosor del colchón de material que existe sobre la superficie de tamizado, la sección viva de la misma, la humedad del material y el tiempo de retención del material en el tamiz influyen sobre la verdadera eficiencia del tamizado. Se define como eficiencia de un tamiz dado la

fracción en peso de las partículas que componen a la corriente Q alimentada y que tienen un tamaño de P, menor que el de la abertura del tamiz, que realmente pasan por las mismas y constituyen la corriente producto P. (Rosabal V. y Valle M, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana Cuba; 1989 pg. 34)

**Cuadro 4: Dimensiones de los agujeros de los tamices de prueba**

**GOST 3584 – 73**

<i>Modulo igual a <math>\sqrt[10]{10}</math></i>				
<b>Abertura (mm)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Abertura (mm)</b>
2,5	0,900	0,500	0,200	0,090
2,0	0,800	0,450	0,180	0,071
1,6	0,700	0,355	0,140	0,063
1,25	0,630	0,315	0,125	0,056
1,00	0,560	0,250	0,100	0,040

Fuente: Andreiev y otros. Desmenuzamiento y Cribado de minerales. 1980 pg. 80

### **2.9.6 Calentamiento**

Para llevar acabo ciertas operaciones y procesos industriales, frecuentemente se deberá someter a la materia en cuestión a incrementos de temperatura, comunicando calor por conducción, convección o radiación según sea el proceso específico, con objeto de que el producto o sustancia añadida, o el incremento mismo de temperatura, modifiquen o actúen de manera eficiente sobre la materia en proceso.

Las condiciones de tratamiento dependen en cierto grado de la naturaleza de la materia prima, las especificaciones técnicas del producto o sustancia que será incorporada y cuando se trate de fórmulas determinadas, deberán basarse en las recomendaciones de los especialistas competentes en la tecnología.

### **2.9.7 Acidificación**

Siguiendo los lineamientos de una agroindustria natural, la cual trata de eliminar productos de síntesis química o biotecnológica en cuyos procesos intervinieron

compuestos que generan riesgo para el organismo, se utilizó como fuente de ácido cítrico, limón (*Citrus limon*), de la familia de las Rutáceas (*Rutaceae*). Esta elección nos permite eliminar la posible contaminación del producto con trazas de metales como el manganeso y el hierro que son empleados en la producción industrial de ácido cítrico para controlar el sobre crecimiento de *Apergillus Níger*.

Se dejó de lado los fenómenos químicos que provienen de la reacción del ácido cítrico del limón sobre el jugo de caña. La variación de acidez que experimentó el jugo permitió la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en floculos más grandes, por efecto de la adición del ácido, dando como resultado su posterior sedimentación en el campo de la gravedad.

### **2.9.8 Agitación y mezclado**

Se entiende por agitación la operación por medio de la cual se inducen movimientos violentos en el seno de un fluido o de cualquier masa que presente cierta fluidez, La agitación de un medio líquido generalmente tiene el fin de homogenizar el sistema con respecto a una propiedad dada (concentración, temperatura) por medio del mezclado de los diferentes componentes o zonas del mismo. Por tanto el efecto de la agitación eficiente es siempre el mezclado de dos o más sustancias, fases o zonas del sistema.

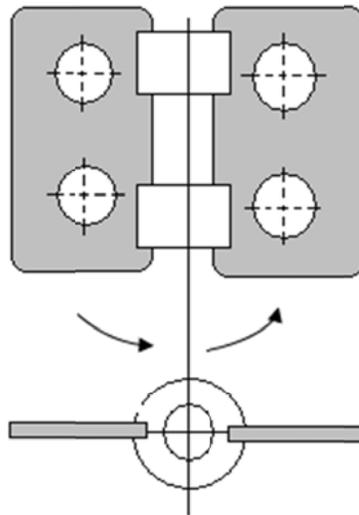
En la actualidad, la mayoría de las operaciones de mezclado se llevan acabo por medio de la agitación mecánica del medio, mediante el uso de propelas, turbinas o paletas, o por medio de burbujeo de gases. La gran mayoría de los problemas de mezclado se resuelve mediante el uso de propelas marinas, turbinas y paletas.

Las operaciones de mezclado implican la unión íntima o mezcla de gases, líquidos o sólidos. La mezcla de líquidos con gases es un problema importante en ingeniería química, lo mismo que la mezcla de líquidos con gases y con sólidos. Cuando en un sistema la relación sólido-líquido, es pequeña, se trata como un problema de agitación de líquidos. De lo contrario, la operación se trata como la

de mezcla de sólidos entre si. (Rosabal V. y Valle M, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana Cuba; 1989 pp. 265-267)

**Agitadores de placa.** Según Rosabal V. y Valle M. (1989) los agitadores de placa (gráfico 5) se usan para intensificar las operaciones de intercambio de calor en fluidos poco viscosos ( $\mu > 50\text{cP}$ ) o cuando la intensidad de agitación requerida es moderada. En general, los agitadores de placas provocan un gasto energético pequeño en comparación con los de otros tipos, se usan cuando no es necesario un alto grado de agitación. (pg: 270)

**Grafico 5: Agitador de placas**



### 2.9.9 Sedimentación

Un método muy utilizado industrialmente para la separación de suspensiones en sus componentes es la sedimentación en el campo de la gravedad. Este proceso se lleva a cabo en equipos denominados sedimentadores, en los cuales las partículas sólidas tienden a descender, siguiendo las leyes de caída de los cuerpos en el seno de fluidos, y a acumularse en el fondo del equipo, formando allí una capa de polvo (si se trata de una suspensión gas-sólido) o de lodo (si se trata de una suspensión líquido-sólido). En la parte superior del equipo se obtiene un fluido

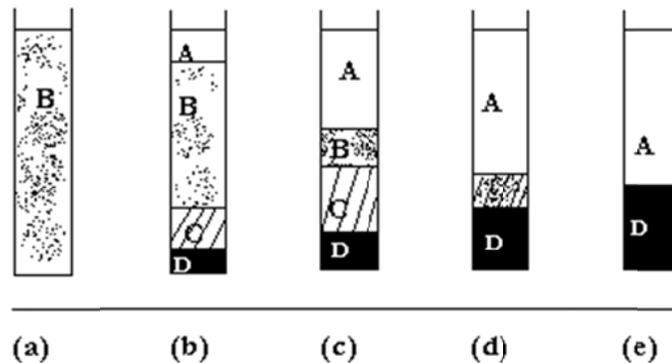
claro, libre de partículas. La eficiencia de este proceso depende en gran medida de la diferencia de densidades entre el sólido y el fluido, así como la viscosidad de este último.

El grado de separación de las fases como resultado de un proceso de sedimentación es menor que el que se obtiene durante una filtración. Sin embargo, el primer método cuenta con la ventaja económica de que aprovecha el efecto de la gravedad, haciéndose menor el gasto energético. Por ello, en especial para tratar grandes volúmenes de suspensiones, la sedimentación es ampliamente usada en las centrales azucareras, en la industria del níquel y otras.

Los sedimentadores pueden clasificarse, de acuerdo con la importancia con la que en el proceso industrial tienen los productos del mismo en espesadores y clarificadores. Se denominan espesadores a los sedimentadores que se operan con el propósito de obtener un sedimento valioso, lo más concentrado posible, mientras que clarificadores son aquellos que son operados con el fin de obtener un líquido claro. La variable fundamental de operación de un espesador es la concentración de la fase sólida en lodo y la de un clarificador, la concentración de la fase líquida en claro o reboso.

Por la forma en como se lleva a cabo la operación, los sedimentadores se dividen en de acción periódica o discontinuos y en continuos. La sedimentación discontinua (gráfico 6) se caracteriza por que el proceso se produce en llenado del equipo con la suspensión y se deja en reposo un tiempo determinado, al final del cual se obtiene el lodo del fondo y el líquido clarificado en la parte superior. Durante este proceso no entra ni sale material alguno del sedimentador. Al final del periodo el líquido claro se decanta y después se extrae el lodo. La sedimentación continua tiene lugar en equipos donde continuamente se alimenta la suspensión y también continuamente se extrae el reboso y el fondo. (Rosabal V. y Valle M, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana Cuba; 1989 pp. 195-197)

**Gráfico 6: Sedimentación discontinua: A – líquido claro; B - zona de concentración uniforme; C-zona de concentración variable; D-zona de lodo concentrado**



(Rosabal V. y Valle M, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana Cuba; pg. 197)

### 2.9.10 Decantación

Una vez que el jugo pasa por el tratamiento de acidificación y agitación es necesario dejarlo decantar para separar el jugo claro del precipitado que se formó en su masa.

Hugot E. (1989) menciona: Los decantadores son simples tanques rectangulares en los cuales se deja reposar al jugo el tiempo  $t$  necesario a la decantación.

Este tiempo  $t$  varía mucho de acuerdo con el tratamiento y sobretodo con el jugo tratado. El jugo de:

Cañas nobles exigen,  $t = 1$  hora

Cañas con predominancia de sangre noble,  $t = 1h30min$

Cañas con predominancia de sangre salvaje,  $t = 2$  a  $2h30min$ . (pg 290)

En la presente investigación tomando como base la información científica de E.

HUGOT, y pruebas preliminares de sedimentación en probeta se determinó un  $t = 2$  horas, para una sedimentación total aparente del jugo de caña.

### **2.9.11 Filtración**

Se denomina filtración a la operación unitaria que consiste en separar suspensiones en sus componentes usando membranas o cuerpos porosos que retienen la fase sólida y dejan pasar la fase fluida.

Esta operación se efectúa en los aparatos denominados filtros. En el gráfico 7, se presenta un esquema de la filtración de una suspensión de un sólido en un líquido. Al inicio la suspensión es forzada por medio de una diferencia de presión a atravesar la membrana porosa, que solo deja pasar la fase líquida y retiene las partículas sólidas, que se depositan en la cara anterior de la membrana formando la llamada torta.

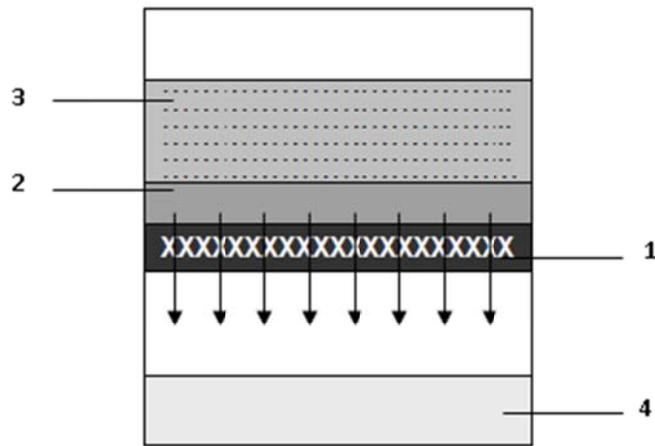
Al proseguir la operación el líquido tendrá que atravesar entonces la torta y la membrana. En la parte del filtro correspondiente a la cara posterior de la membrana se obtiene el líquido claro, libre de partículas o filtrado. Como la torta va creciendo en grosor al pasar el tiempo, el líquido encuentra cada vez mayor resistencia a su paso. Una variante de este esquema se produce cuando al paso del fluido no se forma torta, sino que las partículas sólidas se acumulan en los poros de la membrana, ocluyéndolos.

Como se dijo anteriormente, el fluido pasa a través de la torta en formación y la membrana porosa impulsado por una diferencia de presión. Esta diferencia de presión entre ambas caras de la membrana porosa se puede crear bombeando la suspensión, por gravedad o usando aire a presión sobre la superficie libre de las suspensiones líquidas o haciendo vacío en la cara posterior de la membrana, también llamada medio filtrante.

Si se usan bombas centrífugas, el gasto de suspensión irá disminuyendo a medida que aumenta el grosor de la torta y, por tanto, la resistencia al flujo. Cuando la filtración se lleva a cabo por gravedad o usando presión de aire o vacío, la misma se efectúa a presión constante. Las diferencias de presión que se usan industrialmente son de diferente orden: si se usa vacío – 0.5 a 0.9 atm; si se usa

presión de aire –de aproximadamente 3 at; por bombeo –hasta 5at e incluso mas, por presión hidrostática (gravedad) –hasta0.5at. (Rosabal V. y Valle M, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana Cuba; 1989 pp. 152-153)

**Gráfico 7: Esquema de la operación de filtración; 1-membrana porosa; 2-sedimento o torta; 3-suspensión; 4-filtrado**



Fuente: J. Rosabal Vega y M. Valle Matos; Hidrodinamica y Separaciones Mecanicas.La Habana Cuba; pag. 152

### **2.9.12 Envasado y sellado**

Según el Codex alimentario internacional (CAC/RCP 2-1969) se deberá tomar en cuenta los siguientes puntos durante el proceso de envasado:

**Materiales.** Los materiales que se empleen para envasar deberán almacenarse en condiciones higiénicas y no deberán transmitir al producto sustancias objetables más allá de los límites aceptables por el organismo oficial competente, y deberán proporcionar al producto una protección adecuada contra la contaminación.

**Técnicas.** El envasado deberá efectuarse en condiciones tales que impidan la contaminación del producto.

**Preparación y elaboración.** Las operaciones preparatorias para obtener el producto terminado y las operaciones de envasado y sellado, deberán sincronizarse de tal forma que se logre una manipulación rápida de unidades consecutivas en la producción, en condiciones que eviten la contaminación, alteración, putrefacción o el desarrollo de microorganismos infecciosos o toxicogénicos.

### **2.9.13 Exahusting**

Se considera exahusting al proceso mediante el cual es eliminado el aire del espacio de cabeza que se genera entre el líquido y la cara interior de la tapa de un envase, con el objeto de crear una condición de vacío, evitando así el crecimiento de microorganismos aerobios que pueden causar deterioro al producto terminado. El tiempo y la temperatura de esta operación dependen del envase y el producto tratado.

### **2.9.14. Tratamiento térmico**

Según el Codex alimentario internacional (CAC/RCP 2-1969) los productos envasados en recipientes cerrados herméticamente deberán someterse a un tratamiento térmico, con objeto de que el producto sea inocuo y no se eche a perder con las temperaturas que cabe esperar normalmente en el almacenamiento y transporte no refrigerados. Las condiciones de tratamiento cuando se trate de fórmulas determinadas de alimentos enlatados deberán basarse en las recomendaciones de los especialistas competentes en la tecnología del enlatado. Este tratamiento deberá supervisarse en la fábrica de conservas por personal técnicamente competente y deberá estar sometido a verificación por parte del organismo oficial competente. Deberá llevarse un registro de los tratamientos, que sea adecuado para identificar los antecedentes de los tratamientos, y este registro deberá facilitarse a la inspección competente.

### **2.9.15 Enfriamiento de los recipientes tratados**

Cuando los recipientes tratados se enfríen en agua, el agua deberá ser de calidad potable o deberá haberse tratado adecuadamente para que no constituya un peligro para la salud pública. Si el agua de enfriamiento se hace recircular deberá desinfectarse eficazmente, mediante cloro o en cualquier otra forma, antes de volver a utilizarla. (Codex Alimentario internacional, Practicas de Higiene, CAC/RCP 2-1969; pg. 6)

### **Desembalaje y manipulación de los recipientes tratados.**

Los recipientes después de ser tratados y enfriados deberán manipularse de tal forma que evite la contaminación del producto. Deberá evitarse la manipulación violenta de las latas tratadas, especialmente cuando todavía están mojadas. Las correas transportadoras, rampas y otro equipo que se utilice para la manipulación de las latas tratadas deberán mantenerse en buenas condiciones higiénicas. (Imbit)

### **Inspección de los recipientes tratados.**

Los recipientes, antes de etiquetarse y embalsarse deberán ser inspeccionados, desechando los que sean defectuosos. (Imbit)

### **2.9.16 Etiquetado**

Según el CODEX STAN 1-1985, Rev. 1-1991 la etiqueta, no deberá presentar información sobre el mismo, que sea de algún modo falsa, equívoca, engañosa o carente de significado en cualquier respecto, puesto que, la finalidad del etiquetado es:

- Facilita al consumidor datos sobre los alimentos, para que pueda elegir su alimentación con discernimiento.
- Estimula la aplicación de principios nutricionales sólidos en la preparación de alimentos, en beneficio de la salud pública.
- Ofrece la oportunidad de incluir información nutricional complementaria en la etiqueta.

### **2.9.17 Almacenamiento y transporte del producto terminado**

El producto terminado deberá almacenarse y transportarse en condiciones tales que excluyan la contaminación, o el desarrollo de microorganismos patógenos o toxicogénicos, y protejan contra la infestación y contra la alteración del producto o del recipiente. (Codex Stan 247. Practicas de Higiene para Zumos. 2005; pg 8)

## **2.10 MATERIA PRIMA E INSUMOS UTILIZADOS**

### **2.10.1 Materia prima**

La caña de azúcar de tipo piojota roja constituyó la materia prima en la investigación, fue procedente de la parroquia de Lita, Provincia de Imbabura, cuya caracterización se detalla en el anexo (4) de este documento.

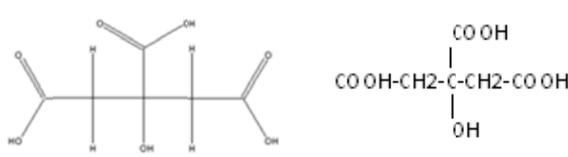
### **2.10.2 Acido cítrico**

La principal fuente de ácido cítrico, antes de que se desarrollaran los procesos microbianos, fueron los cítricos procedentes de Italia (los limones contienen 7% - 9% de ácido cítrico). Actualmente más del 99% de la producción mundial de ácido cítrico se produce microbiológicamente. El 70% se utiliza en la industria de alimentos y bebidas ya que el sabor de los jugos de frutas, extractos de jugos de frutas, caramelos, helados y mermeladas se aumenta o se preserva por adición de ácido cítrico. El 20% se destina a productos farmacéuticos como el citrato de hierro y el ácido cítrico que se usan como conservantes de la sangre almacenada así como tabletas, pomadas y preparaciones cosméticas.

En la industria química se utiliza el 10% restante, se lo emplea como agente antiespumante, como reblandecedor y para el tratamiento de textiles. En la actualidad para la producción comercial de ácido cítrico, solo se utilizan mutantes de *Aspergillus Níger*. La esencia de la obtención del ácido cítrico conlleva limitar las cantidades de trazas de metales, como el manganeso y el hierro (cofactor de la aconitasa), para evitar el sobrecrecimiento de *Aspergillus Níger*. El medio suele tratarse con resinas de intercambio iónico para asegurar concentraciones bajas y controladas de los metales disponibles.

La obtención del ácido cítrico se lleva a cabo en fermentadores aeróbicos con agitación. Generalmente se utiliza como materia prima las melazas en altas concentraciones (15 – 18%). El ácido cítrico es un producto metabólico primario y se forma en el ciclo de los ácidos tricarboxílico. La glucosa es la principal fuente de carbono utilizada para la producción de ácido cítrico. (Chan, R, Microbiología; pp 727, 728, 735, 737, 746)

**Cuadro 5: Ficha técnica del ácido cítrico**

<b>Ácido cítrico</b>	
	
<b>General</b>	
Nomenclatura IUPAC	Ácido 3-hidroxi- 1,3,5-pentanotricarboxílico
Fórmula molecular	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>
<b>Propiedades físicas</b>	
Densidad	1,665×10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ;
Masa molecular	192,13 uma
Punto de fusión	448 K (175 °C)
<b>Riesgos</b>	
Efectos agudos: <i>Irrita piel y ojos.</i>	
Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario.	

Fuente: [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ácido\\_cítrico](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ácido_cítrico)

## **El limón como acidulante natural**

### **LIMÓN Rutáceas (*Rutaceae*).**

**Clasificación científica:**Especie *Citrus limon*

Familia de las Rutáceas (*Rutaceae*).

Según (<http://www.infoagro.com/citricos/limon.htm>), el zumo o jugo de limón se usa mucho como refresco, como ingrediente de otras bebidas, para aderezar ensaladas y platos de pescado y como aromatizante. La pulpa se usaba antes para obtener ácido cítrico, de fórmula, C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>, y ahora se emplea para elaborar zumo

o jugo de limón concentrado, que se usa en medicina por su elevado contenido en vitamina C, conocido como ácido ascórbico de fórmula  $C_6H_8O_6$ . Debido al ácido cítrico que tiene el jugo de limón, permite ser utilizado como acidulante natural, en diferentes procesos de la industria alimenticia. La cuales buscan obtener productos de carácter orgánico.

#### Cuadro 6: Calorías y valor nutritivo del limón

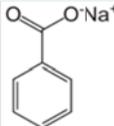
Frutas	Calorías	Fibra	Carbohidratos	Proteínas
Limón	30 kcal	0.3 g	9 g	1.1 g

Fuente: Nutrición humana, Enciclopedia Microsoft® Encarta® Online 2007

#### 2.10.3 Benzoato de sodio

El Benzoato de sodio, también conocido como benzoato de sosa es una sal del ácido benzoico, blanca, cristalina o granulada, de fórmula  $C_6H_5COONa$ . Es soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol. La sal es antiséptica y se usa generalmente para conservar los alimentos. En cantidades elevadas es tóxica. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Benzoato\\_s%C3%B3dico](http://es.wikipedia.org/wiki/Benzoato_s%C3%B3dico)). La ficha técnica del benzoato de sodio se muestra a continuación.

#### Cuadro 7: Ficha técnica del benzoato de sodio

Benzoato sódico	
	
Nomenclatura IUPAC	Benzoato Sódico
Otros nombres	E211, benzoato de sosa
Fórmula semidesarrollada	$NaC_6H_5CO_2$
Masa molecular	$144,1053 \text{ g mol}^{-1}$
Densidad	$1,44 \text{ g cm}^{-3}$
Punto de fusión	$>300 \text{ }^\circ\text{C}$

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Benzoato\\_s%C3%B3dico](http://es.wikipedia.org/wiki/Benzoato_s%C3%B3dico).

#### 2.10.4 Sorbato de potasio

El sorbato de potasio es un conservante suave cuyo principal objetivo es conservar alimentos (número E 202). Su fórmula molecular es  $C_6H_7O_2K$  y su nombre científico es potasio (*E,E*)-hexa-2,4-dienoato. El sorbato de potasio es utilizado en una variedad de aplicaciones incluyendo alimentos, vinos y cuidado personal. La fórmula semidesarrollada del compuesto debería ser:  $CH_3-CH=CH-CH=CH-COOK$ ; sin embargo, según la ficha técnica del sorbato de potasio, citada en ([http://es.wikipedia.org/wiki/Sorbato\\_de\\_potasio](http://es.wikipedia.org/wiki/Sorbato_de_potasio)), se muestra de la siguiente manera:  $CH_3-CH-CH-CH-CH-COOK$

#### Cuadro 8: Ficha técnica del sorbato de potasio

Sorbato de Potasio®		Ficha Técnica
<b>Descripción</b>	<b>Fórmula:</b> $CH_3-CH-CH-CH-CH-COOK$	
El <b>Sorbato de Potasio®</b> es la sal de potasio del ácido sórbico ampliamente utilizado en alimentación como conservante. El ácido sórbico se encuentra en forma natural en algunos frutos. Comúnmente en la industria alimenticia se utiliza el <b>Sorbato de Potasio®</b> ya que este es más soluble en agua que el ácido Sórbico. Es un conservante fungicida y bactericida.		
<b>Aplicaciones</b>		
Los sorbatos se utilizan en: <ul style="list-style-type: none"><li>. Bebidas refrescantes . Repostería . Quesos</li><li>. Pastelería y galletería . Derivados cárnicos . Aceitunas en conserva</li><li>. Postres lácteos con frutas . Mantequilla, margarina, mermeladas</li><li>. En la industria de fabricación de vino encuentra aplicación como inhibidor de la fermentación secundaria permitiendo reducir los niveles de sulfitos.</li></ul>		
Este compuesto no debe ser utilizado en productos en cuya elaboración entra en juego la fermentación, ya que inhibe la acción de las levaduras. En caso de utilizar combinaciones de <b>Sorbato de potasio®</b> con otros conservantes debe tenerse la precaución de no introducir iones calcio ya que se produce una precipitación. Por lo tanto en las combinaciones con Sorbato de potasio utilizar Propionato de Sodio y no de Calcio para una óptima acción sinérgica.		
<b>Dosificación</b>		
En derivados lácteos, frutas y sus derivados, vinos y conservas se recomienda tentativamente una dosis de 0.5 a 2.0 g / Kg. de producto. En soluciones al 40% para aspersion o inmersión.		
<b>Modo de Empleo</b>		
El Sorbato de Potasio puede ser incorporado directamente a los productos durante su preparación o por tratamiento de superficies (pulverización o sumergido). La eficacia del Sorbato de Potasio depende del valor de PH del producto, tiene un rango de acción de PH de hasta aproximadamente 6,5. El <b>Sorbato de Potasio®</b> es efectivo en productos fabricados en condiciones perfectamente higiénicas, si el producto ya se encuentra infectado, no puede revertir la contaminación.		
<b>Almacenamiento</b>		<b>Vida útil: 2 años</b>
El producto debe ser almacenado en lugar oscuro, seco y fresco		

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Sorbato\\_de\\_potasio](http://es.wikipedia.org/wiki/Sorbato_de_potasio).

## 2.11 TIPOS DE FILTROS UTILIZADOS

### 2.11.1 Filtro de carbón activado

El carbón activado, o carbón activo, es un material de carbón poroso. Un material carbonizado que se ha sometido, a reacción con gases oxidantes (como CO<sub>2</sub> o aire), o con vapor de agua; o bien a un tratamiento con adición de productos químicos como el H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, durante (o después) de un proceso de carbonización, con el objeto de aumentar su porosidad. Los carbones activados poseen una capacidad de adsorción elevada y se utilizan para la purificación de líquidos y gases.

**Adsorción con carbón activo.** La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para quitar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m<sup>2</sup>/g). Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo tiene en dos presentaciones: Carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC). La versión de GAC se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas, puede fijar las siguientes sustancias solubles y no polares por adsorción, indicadas en el siguiente cuadro.

**Cuadro 9: Principales usos del carbón activo en la industria de alimentos**

<b>CARBÓN ACTIVO</b>
Adsorción de Olor
Gusto
Levaduras
Varios productos de fermentación
Decoloración de azúcares, mieles y caramelos
Decoloración de licores, jugos y vinagres
Purificación de aire y gases
Adsorbente de etileno para evitar la maduración prematura de frutas
Tratamiento de agua en procesos industriales.
Decloración de aguas

Fuente: Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, tercera edición; 1991; pg 317.  
México.

**Descripción de la adsorción.** Las moléculas a partir de la fase del gas o del líquido serán unidas de una manera física a una superficie, en este caso la superficie es de carbón activo. El proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- Macro transporte : El movimiento del material orgánico a través del sistema del macro-poros del carbón activo (macro-poros > 50nm)
- Micro transporte : El movimiento del material orgánico a través del sistema del micro-poros del carbón activo (microporo < 2nm; meso-poro 2-50nm)
- Absorción: La adhesión física del material orgánico en la superficie del carbón activo en los meso-poros y micro-poros del carbón activo.

El nivel de actividad de la adsorción se basa en la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción y en el campo del tratamiento de aguas esta isoterma viene definida por la función de Freundlich.

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n}$$

La función de Freundlich:

$x/m$  = sustancia adsorbida por gramo de carbón activo

$C_e$  = diferencia de concentración (entre antes y después)

$K_f, n$  = constantes específicas

**Factores que influyen en la adsorción de compuestos por el carbón activo:**

- El tipo de compuesto que desea ser eliminado. Los compuestos con elevado peso molecular y baja solubilidad se absorben más fácilmente.
- La concentración del compuesto que desea ser eliminado. Cuanto más alta sea la concentración, más carbón se necesitará.

- Presencia de otros compuestos orgánicos que competirán con otros compuestos por los lugares de adsorción disponibles.
- El pH del agua. Por ejemplo, los compuestos ácidos se eliminan más fácilmente a pHs bajos. (Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, tercera edición; 1991; pg 317. México)

### **2.11.2 Filtros de celulosa**

Este tipo de cuerpos porosos poseen un material muy fiable como filtro membrana por su excelente estabilidad química frente a soluciones acuosas con pH entre 4 y 8, la mayoría de los alcoholes, hidrocarburos y aceites. También son muy apreciadas su baja adsorción, su buena estabilidad térmica y sobre todo su elevada velocidad de flujo, lo que les permite ser utilizadas en la esterilización y clarificación. ([http://es.filter-lab.membrana celulosa/.nxb](http://es.filter-lab.membrana%20celulosa/.nxb))

## **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1 MATERIALES**

#### **3.1.1 Materia prima e insumos**

##### **a. Materia Prima**

- Caña de azúcar

##### **b. Insumos**

- Limón
- Carbón Activado
- Celulosa
- Conservantes
  - . Benzoato de Sodio
  - . Sorbato de Potasio
- Hipoclorito de sodio

#### **3.1.2 Equipos y materiales de laboratorio**

##### **a. Equipos**

- Cámara de flujo laminar
- Autoclave
- Bomba de vacío
- Tanque de sedimentación
- Tanque de agitación y acidificación
- Columna de vacío
- Molino de extracción
- Turbidímetro

- Agitador de paletas
- Refractómetro
- Peachímetro
- Termómetro
- Probetas
- Vasos de precipitación
- Pipetas

**b. Materiales**

- Envases de cristal (V =250ml).
- Recipientes de acero inoxidable (V= 20 litros).
- Recipientes plásticos graduados (V= 15 litros).

## **3.2 MÉTODOS**

### **3.2.1 Localización**

La fase experimental de la presente investigación se realizó en los laboratorios del Centro Ecuatoriano de Investigación de Biotecnología Ambiental “CEBA” ubicado en la ciudad de Ibarra. La materia prima se obtuvo del sector Getzemani parroquia de Lita.

Los análisis microbiológicos, físico-químicos preliminares y finales se realizaron en el Instituto Ecuatoriano de Investigaciones Agropecuarias “INIAP”. (En la Estación Experimental Santa Catalina de la ciudad de Quito).

### 3.2.1.1 Datos Informativos del lugar

Los datos informativos que se indican a continuación fueron obtenidos del departamento de meteorología del Ilustre Municipio de Ibarra.

<b>Provincia</b>	Imbabura
<b>Cantón</b>	Ibarra
<b>Parroquia</b>	El Sagrario
<b>Barrio</b>	Chorlavi
<b>Clima</b>	Templado
<b>Altitud</b>	2228 m
<b>Latitud</b>	0° 20' Norte
<b>Longitud</b>	70° 08' Oeste
<b>Pluviosidad</b>	50.3 mm/año
<b>Temp. Media</b>	20 °C

En el presente estudio, la investigación se dividió en dos fases:

**Fase I.** Purificación del jugo de caña de azúcar.

**Fase II.** Estabilización del jugo de caña de azúcar purificado por tratamiento térmico mediante dos métodos:

- Esterilización
- Pasteurización

### 3.2.2 FASE I: Purificación del jugo de caña de azúcar

#### Factores en estudio

Para la purificación del jugo de caña de azúcar, se consideró los siguientes factores en estudio: pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación.

**Cuadro 10: Niveles de los factores en estudio en el proceso de purificación**

Factores	Nivel	Simbología
pH 1	4.5	<b>p1</b>
pH 2	4.0	<b>p2</b>
Velocidad de agitación del jugo de caña	700 rpm	<b>v1</b>
Velocidad de agitación del jugo de caña	1500rpm	<b>v2</b>
tiempo de agitación	2.0 min	<b>t1</b>
tiempo de agitación	7.0 min	<b>t2</b>

**Cuadro 11: Combinación de los niveles de los factores del proceso de purificación**

Nº	Tratamientos
1	p1v1t1
2	p2v1t1
3	p1v2t1
4	p2v2t1
5	p1v1t2
6	p2v1t2
7	p1v2t2
8	p2v2t2

### **Diseño experimental**

Para el presente estudio se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial A x B x C donde A es el pH del jugo de caña, B es la velocidad de agitación y C el tiempo de agitación.

### Características del diseño experimental

- Repeticiones 3
- Tratamientos 8
- Unidades experimentales 24
- Cada unidad experimental = 10 L.

### Esquema de análisis de varianza del proceso de purificación del jugo de caña

**Cuadro 12: ADEVA. Purificación del jugo de caña**

<b>F de V</b>	<b>Gl</b>
Total	23
Tratamientos	7
Factor A	1
Factor B	1
Interacción AxB	1
Factor C	1
Interacción AxC	1
Interacción BxC	1
Interacción AxBxC	1
Error experimental	16

### Análisis funcional

Para tratamientos: Tukey al 5 %.

Para factores:

Factor A. (pH del jugo de caña): DMS al 5 %

Factor B. (velocidad de agitación): DMS al 5 %

Factor C. (tiempo de agitación): DMS al 5 %

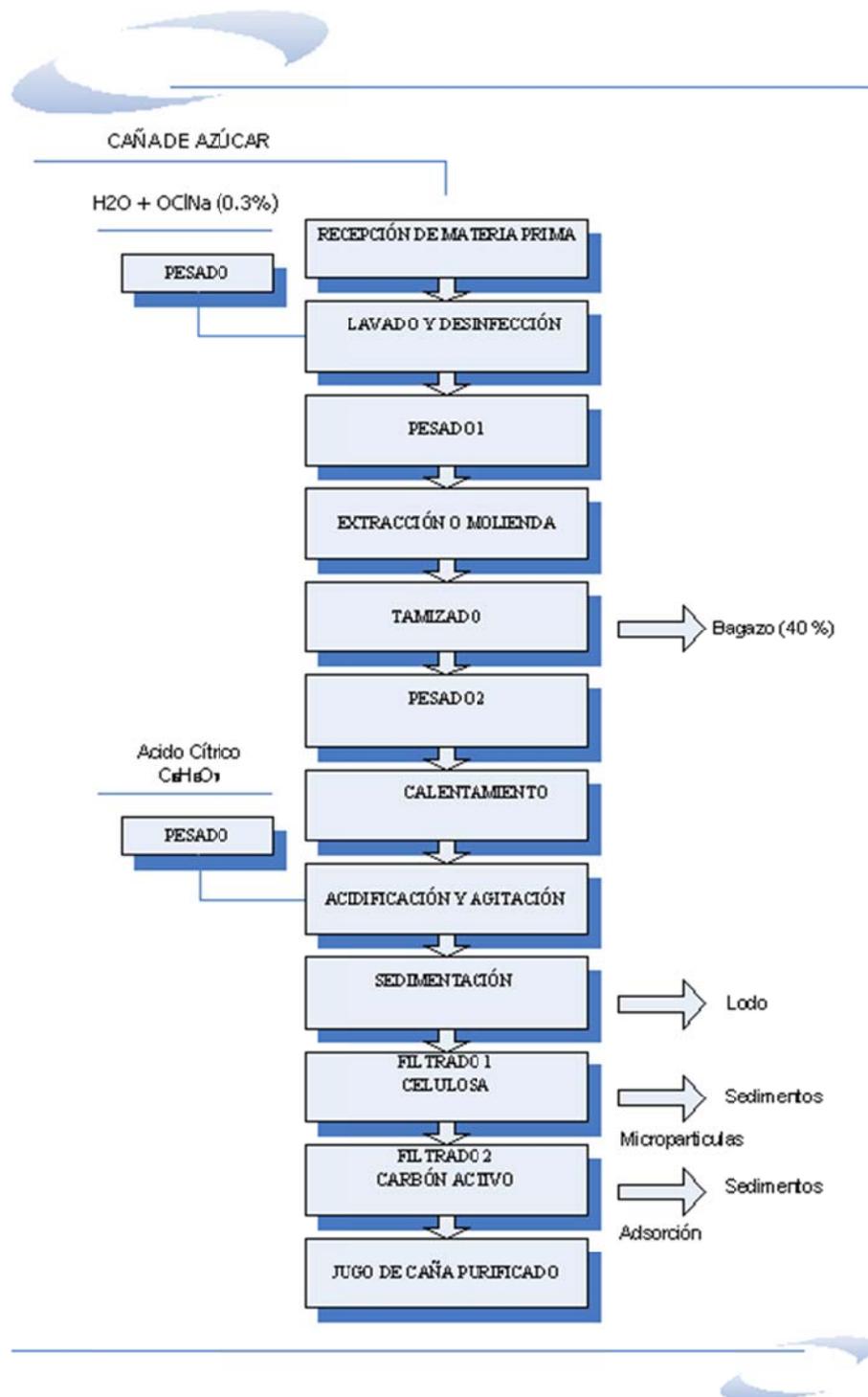
### 3.2.2.1 Variables evaluadas

#### Variables físico – químicas o paramétricas

Las variables físico químicas o paramétricas se evaluaron a través de instrumentos y cálculos matemáticos. A continuación se describen cada una de las variables analizadas.

- **Volumen de sedimentación:** La sedimentación es un método muy utilizado industrialmente para la separación de suspensiones en sus componentes (fluido y sólido) en el campo de gravedad, este proceso se llevó a cabo en equipos denominados sedimentadores, en los cuales las partículas sólidas tienden a descender, siguiendo las leyes de caída de los cuerpos en el seno de fluidos, y a acumularse en el fondo del equipo. Se evaluó la eficiencia de la purificación cuantificando el volumen de sedimentación en probetas al finalizar el proceso de purificación.
- **Turbidez:** Se determinó los sólidos en suspensión utilizando el turbidímetro, la toma de datos se realizó al inicio y al final del proceso de purificación del jugo caña de azúcar, lo que nos permitió cuantificar la eficiencia del proceso.
- **Grados Brix:** .Se midió los grados brix del jugo de caña de azúcar antes y después del proceso de purificación, haciendo uso del refractómetro, variable que nos permitió determinar los cambios en la concentración de sólidos solubles presentes en el jugo de caña de azúcar después del proceso de purificación.

### 3.2.2 Diagrama de bloques para la purificación del jugo de caña de azúcar



### 3.2.2.3 Manejo específico del experimento

#### **Fase I. Purificación del jugo de caña de azúcar.**

**Recepción de la materia prima.** Una vez que la caña ha alcanzado su madurez fisiológica (madurez industrial) y el índice de madurez “IM” se encuentra entre 0.85 a 1, determinado dividiendo los grados brix de la parte superior de la caña para los grados brix de la parte inferior de la misma, se procede al corte de la caña para separar el tallo del cogollo y hojas, la misma que se transporta en carros o animales hasta el lugar de proceso donde es recepta y se procede a eliminar las partes del tallo que se encuentren en visible estado fermentativo a causa del corte en la zafra.

**Lavado y desinfección.** Se realizó con agua potable y una solución de hipoclorito de sodio al 0.3 % en peso, este proceso tiene como finalidad desinfectar y eliminar todo lo que sea extraño a la caña de azúcar como: insectos, hierbas, tierra y otros que pueden alterar la calidad del producto, reduciendo de esta manera el riesgo de contaminación del jugo durante el proceso de extracción.

**Pesado 1.** Se determinó el peso de la caña de azúcar por medio de balanza, antes de introducirla al proceso de extracción y posterior a éste. Esto nos permitió examinar con atención y considerar el rendimiento de la misma al finalizar el proceso. Nos permitió además evaluar el rendimiento de la materia prima.

**Extracción o molienda.** La molienda constituye la primera operación del proceso de producción del jugo de caña de azúcar estabilizado. La extracción tiene como objeto separar el jugo de la caña por medio de la compresión de la caña al hacer pasar la misma a través de tres masas de acero que giran en sentido contrario. La extracción se la define como el jugo extraído que tiene la caña. Se utilizo para alcanzar este fin un molino de tracción mecánica de tres masas, en el cual se logro el 60% de extracción de jugo. Posteriormente, se procedió a envasar

el jugo recuperado en termos Roerbermaing, de capacidad de 10 Lts. Inmediatamente fueron trasladados hasta el área de proceso.

**Tamizado.** El jugo recuperado se conoce como jugo crudo o sin purificar y es pasado a través de un tamiz, constituido de lienzo, sus agujeros son finos de dimensiones 0.500 mm. El tamizado, nos permitió retener la mayor cantidad de impurezas para contar con un jugo libre de material extraño y facilitar el proceso de purificación.

Una vez terminado el proceso de tamizado, se evaluó la turbidez, pH y grados brix para determinar las condiciones iniciales del jugo de caña antes de ingresar al proceso de purificación.

Fotografía 2. Proceso de tamizado



**Pesado 2.** Se realizó el pesado del jugo de caña extraído por medio de balanza, después del tamizado antes de introducirla al proceso de calentamiento, esto nos permitió, considerar el rendimiento de la caña y cuantificar la masa total de jugo que entra al proceso de purificación.

**Calentamiento.** Se sometió el jugo de caña a un incremento de temperatura, comunicando calor por conducción hasta alcanzar una temperatura de 60° C, para lograr que el ácido cítrico aportado por el jugo de limón, actúe de manera eficiente preservando el sabor del jugo de caña. El calentamiento se realizó en un tanque de acero inoxidable.

**Acidificación.** Para este proceso se diseñó un tanque de acidificación con agitador de paleta o placa en acero inoxidable, el cual tiene un rango de velocidad de 700 rpm a 1500rpm.

Fotografía 3. Tanque de acidificación con agitador de paleta



Se trasvasó el jugo de caña del tanque de calentamiento al tanque de acidificación y se adicionó el jugo de limón que aporta ácido cítrico natural para modificar el pH inicial del jugo de caña.

Se utilizó como fuente de ácido cítrico jugo de limón (*Citrus limon*), de la familia de las Rutáceas (*Rutaceae*), de pH 2, a concentraciones de 0.1% y 0.05%, para lograr una variación en el pH del jugo en 4.0 y 4.5 respectivamente. Esta elección nos permitió eliminar la posible contaminación del producto con trazas de metales como el manganeso y el hierro que son empleados en la producción industrial de ácido cítrico para controlar el sobre crecimiento de *Aspergillus niger*.

Se dejó de lado los fenómenos químicos que provienen de la reacción del ácido cítrico del limón sobre el jugo de caña. La variación de acidez que experimentó el jugo permitió la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en floculos más grandes, por efecto de la adición del ácido, dando como resultado su posterior sedimentación en el campo de la gravedad.

Fotografía 4. Proceso de acidificación del jugo



**Agitación.** Esta operación se realizó con el fin de homogenizar el sistema por medio de la mezcla de los diferentes componentes, con el objeto de obtener un grado de mezcla eficiente entre el jugo de caña y ácido cítrico. Se lo realizó a velocidades variables de 700 a 1500 rpm, y tiempos variables de 2 a 7 min. Según se detalla en el diseño experimental.

Fotografía 5. Proceso de agitación del jugo acidificado



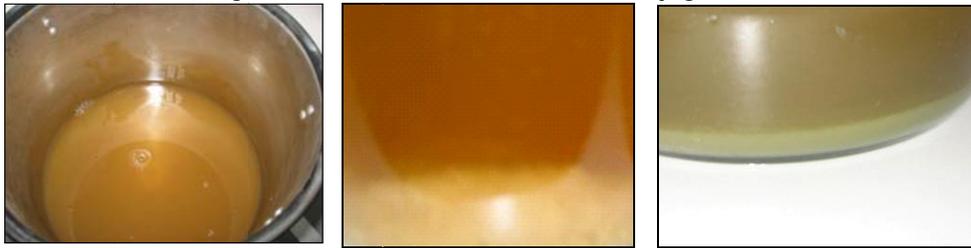
**Sedimentación.** Una vez que el jugo ha pasado por el tratamiento de acidificación y agitación es descargado al tanque de sedimentación para separar el jugo claro del precipitado que se formó en su masa. Para este proceso se diseñó un sedimentador de acción periódica o discontinua.

Este se caracteriza por que el proceso se lleva a cabo llenando el equipo con la suspensión y se deja en reposo un tiempo determinado, al final del cual se obtiene

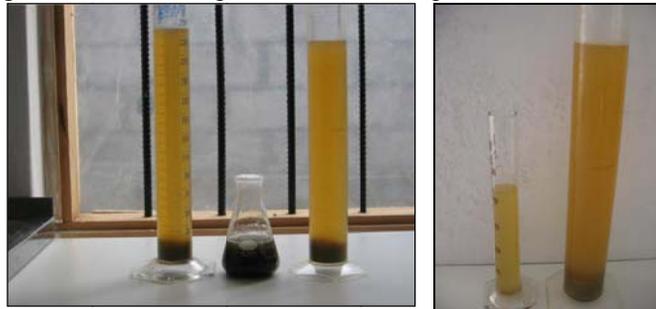
el lodo del fondo y el líquido clarificado en la parte superior. Durante este proceso no entra ni sale material alguno del sedimentador. Al final del periodo el líquido claro se decantó y después se extrajo el lodo.

En la presente investigación tomando como base la información científica de E. HUGOT, y pruebas preliminares de sedimentación en probeta se determinó un  $t = 2$  horas, necesario a la decantación. Posteriormente, a esta operación se procedió a registrar los volúmenes de sedimentación resultantes de cada tratamiento.

Fotografía 6. Proceso de sedimentación del jugo de caña



Fotografía 7. Prueba de probetas durante el proceso de sedimentación



**Filtrado.** Esta operación unitaria consistió en separar las suspensiones en sus componentes usando filtros de celulosa y carbón activo que retienen la fase sólida y dejan pasar la fase fluida.

**Filtro de celulosa.** Al inicio la suspensión fue forzada por medio de una diferencia de presión al atravesar la membrana porosa, que sólo dejó pasar la fase líquida y retuvo los sedimentos, que se depositaron en la cara anterior de la membrana formando la llamada torta.

Al proseguir la operación el jugo de caña tuvo que atravesar la torta y la membrana. Como la torta fue creciendo en grosor al pasar el tiempo, el jugo encontró cada vez mayor resistencia a su paso. Hasta el punto de agotar el filtro, por lo tanto fue necesario reemplazar este, cada 80 litros de jugo.

Fotografía 8. Filtro de celulosa

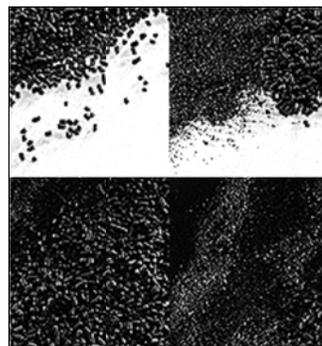


**Filtros de carbón activado.** Se armó un filtro utilizando material plastigama, en cuyo interior se colocó 50 gramos de carbón activo granulado (GAC). El flujo del jugo de caña por el filtro de GAC, permitió eliminar mediante el proceso de adsorción olores extraños, levaduras, algunos productos de la fermentación y promover la decoloración de los azúcares para obtener un producto de mejor presentación.

Fotografía 9. Filtro de carbón activado granular (GAC)



Fotografía 10. Carbón activado (GAC)



Cabe indicar que el proceso de filtración por celulosa y carbón activado fue continuo. Dicha filtración se llevó a cabo por gravedad y usando presión de vacío la misma que se efectuó esencialmente a presión constante. De acuerdo con su comportamiento durante la filtración, la torta se mostró compresible cuya porosidad disminuyó al aumentar la diferencia de presión, lo que provocó un aumento de la resistencia hidráulica de la misma.

Fotografía 11. Columna de vacío



Terminado el proceso de purificación que concluye con la operación de filtrado antes descrita, se procedió a la toma y registro de datos del porcentaje de sólidos disueltos y la turbidez del jugo purificado, mediante refractometría y turbidimetría respectivamente. Se realizó el análisis estadístico para determinar el mejor tratamiento del proceso de purificación con el cual, se llevó a cabo la Fase II, que comprende la estabilización del jugo por tratamiento térmico.

Concluida cada una de las corridas experimentales se ejecutó un lavado con agua potable a  $T = 60^{\circ}\text{C}$  e hipoclorito de sodio de concentración 0.03% en peso para desinfectar todos los equipos del sistema de purificación utilizados, evitando la contaminación con cualquier agente biológico o químico u otras sustancias no añadidas intencionalmente al jugo y que pueden comprometer la inocuidad o aptitud del mismo en la corrida posterior.

### 3.2.3 Fase II. Estabilización del jugo de caña de azúcar purificado por tratamiento térmico

El análisis estadístico de la Fase I arrojó como mejor resultado de purificación, al tratamiento T3 (pH = 4.5, v de agitación = 1500 rpms y un t de agitación = 2min) con el cual se desarrolló la Fase II, comprendida por la estabilización. Con el objetivo de determinar los parámetros óptimos de proceso para la estabilización del jugo de caña, el tratamiento térmico se realizó por dos métodos:

- Método I: esterilización.
- Método II: pasteurización.

#### 3.2.3.1 Método I: esterilización

##### Factores en estudio

Esta fase se realizó en autoclave a 121 °C y se tomó en cuenta los siguientes factores: tiempo de esterilización a temperatura y presión constante.

**Cuadro 13: Factores en estudio para el proceso térmico de esterilización.**

Factores	Nivel	Simbología
Temperatura	<b>121°C</b>	<b>T1</b>
tiempo	<b>5min</b>	<b>t1</b>
tiempo	<b>6 min</b>	<b>t2</b>
tiempo	<b>7 min</b>	<b>t3</b>
tiempo	<b>8 min</b>	<b>t4</b>
tiempo	<b>9 min</b>	<b>t5</b>
tiempo	<b>10 min</b>	<b>t6</b>
tiempo	<b>11 min</b>	<b>t7</b>
tiempo	<b>12 min</b>	<b>t8</b>
tiempo	<b>13 min</b>	<b>t9</b>
tiempo	<b>14 min</b>	<b>t10</b>
tiempo	<b>15 min</b>	<b>t11</b>
tiempo	<b>16 min</b>	<b>t12</b>
tiempo	<b>17 min</b>	<b>t13</b>
tiempo	<b>18 min</b>	<b>t14</b>
tiempo	<b>19 min</b>	<b>t15</b>
tiempo	<b>20 min</b>	<b>t16</b>

**Cuadro 14: Combinación de los niveles de los factores**

N°	Tratamientos
1	<b>T1t1</b>
2	<b>T1t2</b>
3	<b>T1t3</b>
4	<b>T1t4</b>
5	<b>T1t5</b>
6	<b>T1t6</b>
7	<b>T1t7</b>
8	<b>T1t8</b>
9	<b>T1t9</b>
10	<b>T1t10</b>
11	<b>T1t11</b>
12	<b>T1t12</b>
13	<b>T1t13</b>
14	<b>T1t14</b>
15	<b>T1t15</b>
16	<b>T1t16</b>

### **Diseño experimental**

En la etapa de esterilización del jugo de caña purificado se utilizó un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones.

### **Características de diseño experimental**

- Repeticiones 3
- Tratamientos 16
- Unidades experimentales 48
- Cada unidad experimental tiene = 250ml

## Esquema de análisis de varianza del proceso de esterilización

**Cuadro 15: ADEVA. Proceso de esterilización del jugo purificado**

<b>F de V</b>	<b>GI</b>
Total	47
Tratamientos	15
Error experimental	32

### **Análisis funcional**

Para tratamientos: Tukey al 5 %.

#### **3.2.3.1.1 Variables a evaluarse**

### **Análisis físico – químico o paramétricos**

- **Grados Brix:** Utilizando el refractómetro se midió la variación de sólidos solubles presentes en el producto terminado, esta variable se evaluó al final del proceso de esterilización.
- **pH:** Mediante la utilización del phmetro digital, se determinó el pH del producto terminado, esto permitió conocer la incidencia de la esterilización en esta variable y fue evaluada al final del proceso de esterilización.
- **Turbidez:** Se determinó los sólidos en suspensión presentes en el producto terminado utilizando el turbidímetro, la toma de datos se realizó al final de la esterilización, esto permitió cuantificar la incidencia de la temperatura y presión de esterilización en esta variable.
- **Azúcares reductores totales:** El objeto de esta variable fue determinar el porcentaje de azúcares reductores y no reductores presentes en el producto

terminado; para lo cual se utilizó el método basado en el procedimiento de Lane – Eynon este método es aplicable para todos los azúcares y soluciones azucaradas.

### **Pruebas microbiológicas**

- Se realizó un recuento de aerobios totales, en base a la normativa técnica AOAC: 989.10, con el objeto de encontrar los tratamientos adecuados, cuyos niveles de tiempo permitieron eliminar toda forma de vida en el producto terminado.

#### **3.2.3.3 Método II: pasteurización.**

#### **Factores en estudio para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización**

Esta preselección se la realizó con el objeto de encontrar los tres mejores tratamientos de pasteurización, tomando como base las variables cuantitativas evaluadas al producto final y principalmente la selección de estos, se fundamentó en los resultados microbiológicos obtenidos de cada tratamiento.

Este método se realizó en autoclave, tomando en cuenta los siguientes factores que nos permitieron seleccionar los parámetros para una eficiente pasteurización, dichos factores son: temperatura y tiempo de pasteurización.

**Cuadro 16:** Niveles de los factores en estudio para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización

Factores	Nivel	Simbología
Temperatura	<b>65 °C</b>	<b>T1</b>
Temperatura	<b>70 °C</b>	<b>T2</b>
Temperatura	<b>75 °C</b>	<b>T3</b>
tiempo	<b>5 min</b>	<b>t1</b>
tiempo	<b>10</b>	<b>t2</b>
tiempo	<b>15</b>	<b>t3</b>
tiempo	<b>20</b>	<b>t4</b>
tiempo	<b>25</b>	<b>t5</b>
tiempo	<b>30</b>	<b>t6</b>
tiempo	<b>35</b>	<b>t7</b>

**Cuadro 17:** Combinación de los niveles de los factores en estudio para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización

N°	Tratamientos
1	<b>T1t1</b>
2	<b>T1t2</b>
3	<b>T1t3</b>
4	<b>T1t4</b>
5	<b>T1t5</b>
6	<b>T1t6</b>
7	<b>T1t7</b>
8	<b>T2t1</b>
9	<b>T2t2</b>
10	<b>T2t3</b>
11	<b>T2 t4</b>
12	<b>T2t5</b>
13	<b>T2t6</b>
14	<b>T2t7</b>
15	<b>T3t1</b>
16	<b>T3t2</b>
17	<b>T3t3</b>
18	<b>T3t4</b>
19	<b>T3t5</b>
20	<b>T3t6</b>
21	<b>T3t7</b>

### **Diseño experimental**

En la etapa de pasteurización del jugo de caña purificado se utilizó un Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones con arreglo factorial A x B donde A es la temperatura de pasteurización y B es el tiempo de pasteurización.

### **Características del diseño experimental**

- Repeticiones 3
- Tratamientos 21
- Unidades experimentales 63
- Cada unidad experimental tiene = 250ml

### **Esquema de análisis de varianza para preseleccionar los tratamientos en el proceso de pasteurización**

**Cuadro 18: ADEVA. Proceso de pasteurización del jugo de caña**

<b>F de V</b>	<b>Gl</b>
Total	62
Tratamientos	20
Factor A	2
Factor B	6
Interacción AxB	12
Error experimental	42

### **Análisis funcional**

Para tratamientos: Tukey al 5 %.

Para factores:

Factor A. (Temperatura de pasteurización): DMS al 5 %

Factor B. (Tiempo de pasteurización): DMS al 5 %

### 3.2.3.2.1 Variables a evaluarse

#### Análisis físicos

- **Grados Brix:** La variación de sólidos solubles presentes en el producto final fue determinada mediante refractometría, esta variable se evaluó al final del proceso de pasteurización.
- **pH:** Mediante la utilización del phmetro digital, se determinó la variación de la concentración de iones hidrógeno en el producto terminado, esto permitió conocer la incidencia de la temperatura de pasteurización sobre esta variable la cual se evaluó al final del proceso de pasteurización.
- **Turbidez:** Se determino los sólidos en suspensión presentes en el producto terminado utilizando el turbidímetro, la toma de datos se realizó al final del proceso de pasteurización del jugo de caña purificado. Esto nos permitió cuantificar la incidencia de la temperatura y presión de pasteurización en esta variable.

#### Pruebas microbiológicas

- Se determinó mohos y levaduras, en base a la normativa técnica ecuatoriana NTE.INEN. 1529, esta variable fue evaluada al final del proceso de pasteurización. Se realizó en cámara de flujo laminar en el laboratorio de microbiología del Centro de Biotecnología Ambiental “CEBA” con la finalidad de seleccionar los tres mejores tratamientos para posteriormente con ellos realizar el proceso de optimización de la pasteurización.

### 3.2.3.3 Optimización del proceso de pasteurización

La optimización del proceso de pasteurización se realizó con los tres mejores tratamientos obtenidos de la preselección de los mismos en función del grado de contaminación microbiológico realizado en cámara de flujo laminar y las variables cuantitativas: turbidez, pH y ° Brix.

La optimización se realizó en autoclave, tomando en cuenta los siguientes factores en estudio: tiempo y temperatura de pasteurización.

#### Factores en estudio para optimizar el proceso de pasteurización

**Cuadro 19: Niveles de los factores en estudio para optimizar el proceso de pasteurización**

Factores	Nivel	Simbología
Temperatura	<b>65</b>	<b>T1</b>
Temperatura	<b>70</b>	<b>T2</b>
Temperatura	<b>75</b>	<b>T3</b>
tiempo	<b>26</b>	<b>t1</b>
tiempo	<b>27</b>	<b>t2</b>
tiempo	<b>28</b>	<b>t3</b>
tiempo	<b>29</b>	<b>t4</b>
tiempo	<b>30</b>	<b>t5</b>

**Cuadro 20: Combinación de los niveles de los factores en estudio**

Nº	Tratamientos
1	T1 T1t1
2	T2 T1t2
3	T3 T1t3
4	T4 T1t4
5	T5 T1t5
6	T6 T2t1
7	T7 T2t2
8	T8 T2t3
9	T9 T2t4
10	T10 T2t5
11	T11 T3t1
12	T12 T3t2
13	T13 T3t3
14	T14 T3t4
15	T15 T3t5

### **Diseño experimental**

Para la optimización de la pasteurización del jugo de caña purificado se utilizó un Diseño Completamente al Azar con dos repeticiones con arreglo factorial A x B donde A es la temperatura de pasteurización y B es el tiempo de pasteurización.

### **Características del diseño experimental**

- Repeticiones 3
- Tratamientos 15
- Unidades experimentales 45
- Cada unidad experimental tiene = 250ml

## Esquema de análisis de varianza para optimizar el proceso de pasteurización.

**Cuadro 21:** ADEVA. Proceso de pasteurización del jugo de caña

<b>F de V</b>	<b>Gl</b>
Total	44
Tratamientos	14
Factor A	2
Factor B	4
Interacción AxB	8
Error experimental	30

### Análisis funcional

Para tratamientos: Tukey al 5 %.

Para factores:

Factor A. (Temperatura de pasteurización): DMS al 5 %

Factor B. (Tiempo de pasteurización): DMS al 5 %

### 3.2.3.3.1 Variables evaluadas

#### Análisis físico

- **Grados Brix:** Se midió la variación de los sólidos solubles presentes en el producto final, con el objeto de conocer la incidencia de la pasteurización en el mismo. Esta variable se evaluó al final del proceso de pasteurización mediante refractometría.
- **pH:** Mediante la utilización del phmetro digital, se midió la variación de la concentración de iones hidrógeno en el producto terminado, esto permitió

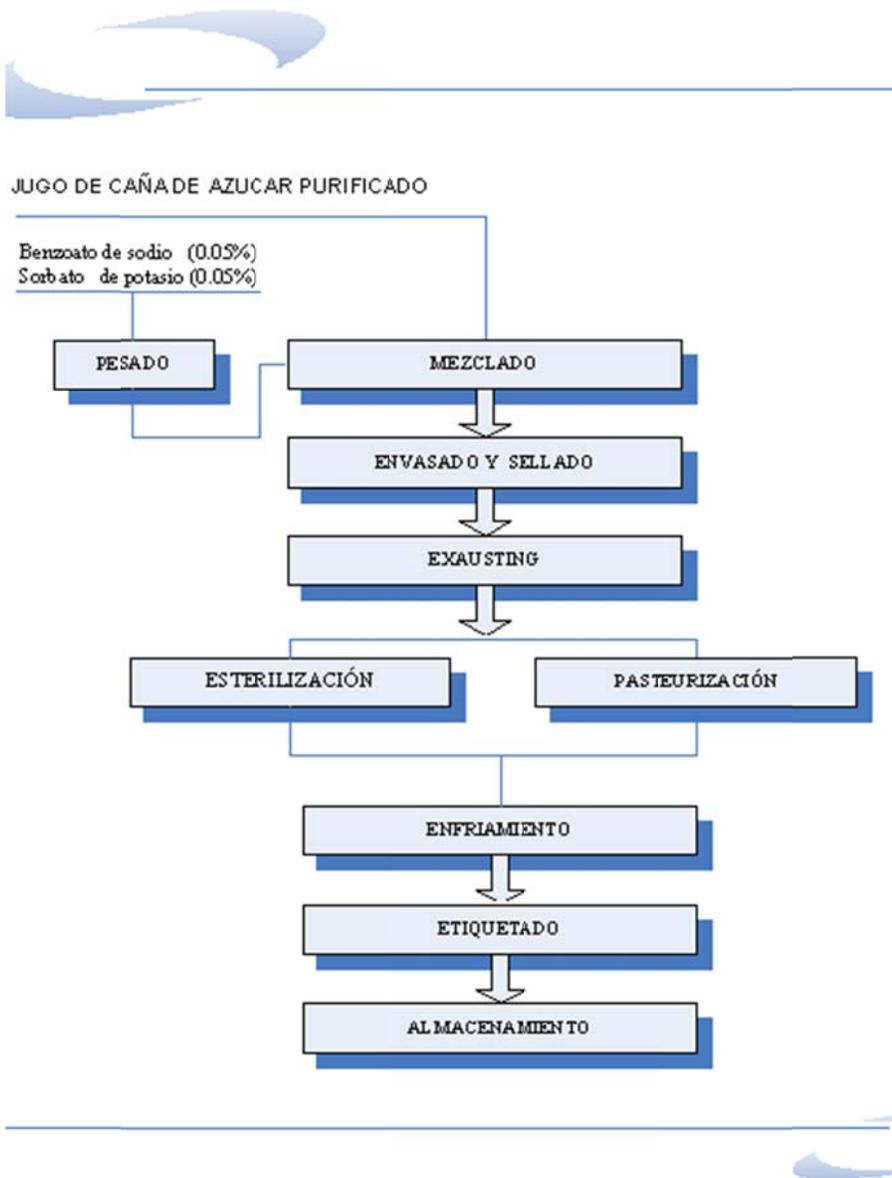
conocer la incidencia de la temperatura de pasteurización sobre esta variable la cual se evaluó al final del proceso de pasteurización.

- **Turbidez:** Se determinó los sólidos en suspensión presentes en el producto terminado utilizando el turbidímetro, la toma de datos se realizó al final del proceso de pasteurización del jugo de caña purificado. Esto nos permitió cuantificar la incidencia de la temperatura de pasteurización en esta variable.
- **Azúcares reductores totales:** Esta variable se midió para determinar el porcentaje de azúcares reductores y no reductores presentes en el producto; para lo cual se utilizó el método basado el procedimiento de Lane – Eynon este método es aplicable para todos los azúcares y soluciones azucaradas.

#### **Pruebas microbiológicas**

- Se determinó mohos y levaduras, en base a la normativa técnica ecuatoriana NTE.INEN. 1529, esta variable fue evaluada al final del proceso de pasteurización.
- Se realizó un recuento de aerobios totales, en base a la normativa técnica AOAC: 989.10 esta variable fue evaluada al final del proceso de pasteurización.

### 3.2.3.4 Diagrama de bloques para la estabilización del jugo de caña de azúcar



### 3.2.3.5 Manejo específico del experimento

**Fase II.** Estabilización del jugo de caña de azúcar purificado por tratamiento térmico mediante dos métodos: esterilización y pasteurización.

**Mezclado.-** El fin de una operación de mezclado es asociar elementos dispares, ligarlos íntimamente, bien para formar productos nuevos por reacción de unos sobre otros, bien para disponer de varios elementos en un conjunto homogéneo. Esta operación se realizó en el tanque con agitación mecánica constante de 700rpm y un  $t = 60$  seg, durante la adición de conservantes (Benzoato de Sodio y Sorbato de Potasio al 0.05 % en peso, al jugo de caña purificado, el objetivo de esta etapa es asegurar la inocuidad del producto final por acción de los conservantes.

Fotografía 12. Agitador de placa en acero inoxidable



**Envasado y sellado.-** se envasó el jugo purificado en recipientes de cristal, con el objetivo de proteger el producto de la contaminación y facilitar el tratamiento térmico.

En el tanque de agitación se instaló una válvula de bola en la parte inferior para descarga, la cual fue empleada para lograr este fin. Las operaciones preparatorias para obtener el producto terminado y las operaciones de envasado y sellado,

estuvieron sincronizadas de tal forma que se logró una manipulación rápida de unidades consecutivas en la producción, en condiciones que evitó la alteración, putrefacción o el desarrollo de microorganismos infecciosos.

**Exahusting.-** El fin de este proceso es eliminar el oxígeno que existe en el espacio de cabeza del envase y crear una condición de vacío, para evitar el crecimiento de microorganismos que pueden causar deterioro al producto terminado.

Los envases utilizados permiten por su diseño, que se realice por si mismo el exahusting, evacuando todo el oxígeno que se encuentra entre el líquido y la cara interior de la tapa del envase, generándose inmediatamente una condición de vacío, impidiendo el desarrollo de microorganismos.

**Tratamiento térmico.-** Para determinar los parámetros óptimos de proceso para la estabilización del jugo de caña de azúcar, el tratamiento térmico se realizó por dos métodos: esterilización y pasteurización.

La esterilización del jugo de caña purificado se realizó en autoclave a 121 °C de temperatura con tiempos variables de 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 min.

La preselección de los tratamientos en la pasteurización del jugo de caña purificado se realizó en autoclave a temperatura variable de 65 °C , 70°C y 75°C y tiempos variables de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35 min

En cuanto a la optimización de la pasteurización del jugo se realizó en autoclave con los tres mejores tratamientos arrojados de la preselección, estos son: T6(T=65°C), T13(70°C) y T20(75°C) con un tiempo de 30 min, a estos manteniendo las temperaturas se varió únicamente el factor tiempo con la finalidad de encontrar los parámetros óptimos del proceso, estos tiempos son: 26, 27, 28, 29 y 30 minutos asignados a cada temperatura respectivamente.

Se trabajó con decrementos del factor tiempo con el objeto de encontrar el punto de estabilidad del jugo al menor tiempo posible y evitar su desnaturalización por exposición prolongada a las temperaturas de pasteurización.

Fotografía 13. Autoclave



**Enfriamiento.-** El objeto del enfriamiento en las dos etapas del proceso de estabilización por transferencia de calor, es evitar la putrefacción termófila del producto y evitar la desnaturalización de los componentes del jugo de caña por exposición a temperaturas elevadas y tiempos prolongados.

Terminado el proceso de transferencia de calor se colocó los envases en un recipiente plástico acondicionado para este proceso con entrada y salida del flujo de agua a temperatura ambiente durante 10 minutos, hasta llegar aproximadamente a una temperatura interna de 40 °C (104°F), asegurando la pérdida de viabilidad de los microorganismos por acción del choque térmico.

Los recipientes tratados se enfriaron con agua de calidad potable. Es necesario señalar que si el agua de enfriamiento se hace recircular deberá desinfectarse eficazmente, mediante cloro o en cualquier otra forma. El agua de enfriamiento debe tener un contenido microbiano bajo. Por ejemplo, un número total de colonias mesófilas aerobias inferior a 100 c.f.u./ml. Aunque pueda normalmente considerarse que los envases están herméticamente cerrados, puede que un pequeño número de ellos admita infiltraciones de agua durante el período de enfriamiento debido principalmente a los esfuerzos mecánicos y a la diferencia de presión.

Con esta operación se finalizó el proceso de estabilización del jugo por tratamiento térmico, consecuentemente se procedió a la toma y registro de los datos resultantes de las variables a evaluar en cada tratamiento: pH, °Brix, turbidez y pruebas microbiológicas.

**Etiquetado.-** Posterior al proceso de enfriamiento de los envases se procedió al etiquetado, con el objeto de facilitar al consumidor datos sobre el producto, para que pueda elegir su alimentación con discernimiento. La etiqueta, presenta información sobre el mismo, inequívoca y real.

Fotografía 14. Etiqueta del producto terminado



**Almacenamiento.-** El producto terminado debido a su estabilidad fue almacenado a temperatura ambiente, lo cual implicó únicamente ser ubicado en un lugar fresco, seco y limpio.

Fotografía 15. Jugo de caña purificado y estabilizado



## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

En la presente investigación se realizó el análisis estadístico con la finalidad de establecer parámetros óptimos para el proceso de purificación y estabilización del jugo de caña de azúcar y comprobar las hipótesis planteadas.

### **4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO FASE I**

#### **Purificación del jugo de caña**

Para realizar el diseño estadístico, se considero los siguientes factores: pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación. Además se tomó en cuenta las siguientes variables cuantitativas, evaluadas al finalizar el proceso de purificación: turbidez, porcentaje de sedimentación y ° Brix.

#### **4.1.1 Análisis de la variable turbidez**

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra, causante de que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en un líquido puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. La eliminación de la turbiedad, se lleva a cabo mediante procesos de coagulación, asentamiento y filtración.

La medición de la turbiedad, en una manera rápida nos sirve para saber cuándo, cómo y hasta qué punto debemos tratar un líquido para que cumpla con la especificación requerida. La turbiedad es de importante consideración en esta investigación por dos razones:

**Estética:** la excesiva turbiedad en el jugo de caña, produce en el consumidor un rechazo inmediato y pocos deseos de ingerirla y utilizarla en sus alimentos.

**Filtrabilidad:** la turbiedad elevada del jugo de caña torna más difícil y costoso el proceso de filtración, puesto que el agotamiento de los filtros de celulosa y carbón activo es más rápido, disminuyendo la eficiencia y obligando el remplazo inmediato de estos cuerpos porosos.

**Cuadro 22: Valores obtenidos de la turbidez al finalizar el proceso de purificación**

Rep Trat	Rep			$\Sigma$ TRAT	MEDIA
	I	II	III		
T1 p1v1 t1	380	400	420	1200	400.00
T2 p2v1 t1	680	650	630	1960	653.33
T3 p1v2 t1	221	230	225	676	225.33
T4 p2v2 t1	520	500	540	1560	520.00
T5 p1v1 t2	750	590	630	1970	656.67
T6 p2v1 t2	590	530	550	1670	556.67
T7 p1v2t2	320	300	310	930	310.00
T8 p2v2 t1	850	870	820	2540	846.67
$\Sigma$ REP.	4311	4070	4125	12506	521.08

**Cuadro 23: ADEVA de la variable turbidez**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
Total	23	889597.83				
Tratamientos	7	869490.50	124212.93	988.46**	2.66	4.03
Factor p	1	363588.15	363588.15	289.32**	4.49	8.53
Factor t	1	122408.15	122408.15	97.40**	4.49	8.53
Interacción pxt	1	4648.19	4648.19	3.70 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
Factor v	1	49868.15	49868.15	39.68**	4.49	8.53
Interacción pxv	1	172381.52	172381.52	137.17**	4.49	8.53
Interacción txv	1	23688.19	23688.19	18.82**	4.49	8.53
Interacción ptxv	1	132908.15	132908.15	10.58**	4.49	8.53
E.Exp.	16	20107.33	1256.71			

**C.V = 6.8%**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

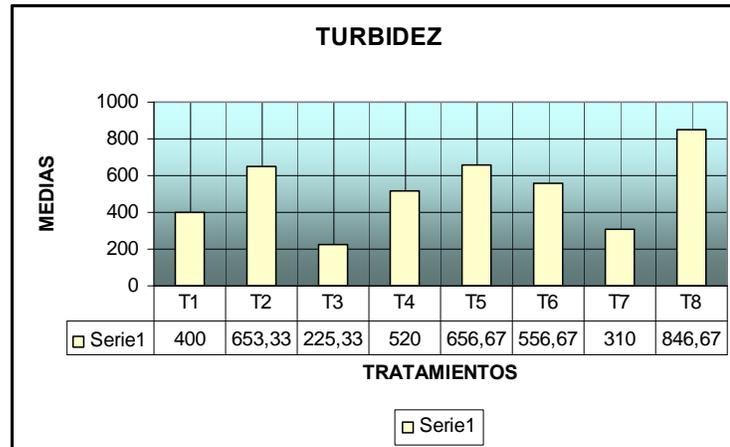
El análisis de varianza (Cuadro 23) denota alta significación estadística para los tratamientos, factores e interacciones, exceptuando la interacción (pxt) que no presenta significación estadística alguna. Esto demuestra, que los valores de la turbidez del jugo de caña purificado, estadísticamente son diferentes. Por lo tanto, se procede a realizar las pruebas de significación correspondientes.

**Cuadro 24: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): turbidez al final del proceso de purificación**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T3 p1v2t1	225.33	a
T7 p1v2 t2	310.00	a
T1 p1v1 t1	400.00	b
T4 p2v2 t1	520.00	c
T6 p2v1 t2	556.67	c
T2 p2v1 t1	653.33	d
T5 p1v1 t2	656.67	d
T8 p2v2 t2	846.67	e

El cuadro demuestra que los mejores tratamientos son el T3 y T7, ya que tienen un rango “a”, donde estadísticamente son iguales. De éstos la menor media corresponde al tratamiento T3 (pH = 4.5, velocidad de agitación = 1500 rpm. y un tiempo de agitación = 2min.) cuyo valor es de 225.53 NTU (unidades de turbidez nefelométricas). Este valor corresponde a una turbidez baja en relación al jugo de caña virgen que posee valores mayores a 1000 NTU y se logra una turbiedad aceptable. Para interpretar de mejor manera los resultados se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 8: Comportamiento de las medias para la turbidez al finalizar el proceso de purificación**



**Cuadro 25: Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	398.00	a
p2	644.17	b

Al realizar la prueba DMS para el factor pH encontramos que los niveles p1 y p2 presentan rangos diferentes, logrando una disminución de la turbidez del jugo de caña en el nivel p1 que tiene un pH de 4.5, que corresponde a 398.0 (NTU) en su media y posee rango “a”. Por lo tanto es considerado el más adecuado en función del objetivo de la investigación que pretende obtener jugo de caña purificado con una turbidez aceptable.

**Cuadro 26: Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	475.50	a
v1	566.67	b

El cuadro muestra que en el factor v2, se logra un menor grado de turbidez (475.50 NTU), siendo este el mejor nivel que se ajusta al objetivo de la investigación, que pretende obtener jugo de caña purificado con una turbidez aceptable.

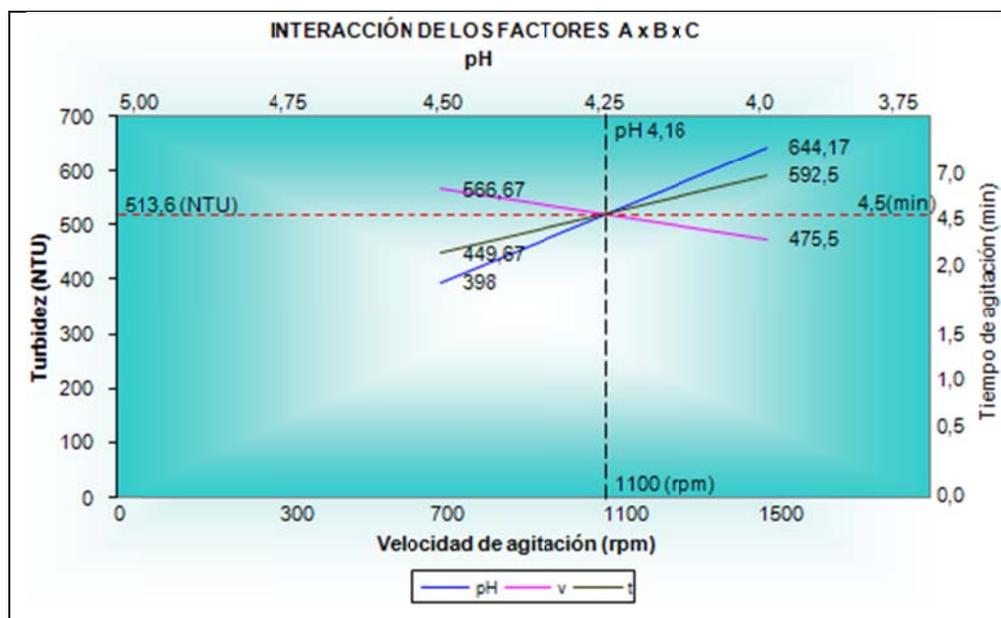
**Cuadro 27: Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)**

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	449.67	a
t2	592.50	b

Según datos del cuadro 27, respecto al tiempo de agitación se tiene que el mejor nivel es t1 (2min.), ya que posee rango “a”. Este tiempo permite una disminución de la turbidez en el jugo de caña, que corresponde a 449.67 (NTU).

Para interpretar de mejor manera el efecto de la interacción de los factores en relación a la variable turbidez, se procedió, a realizar únicamente el gráfico de la interacción AxBxC; debido al análisis de las interacciones AxB, AxC y BxC, que nos llevaron a una misma interpretación, consecuentemente se excluyo dichos gráficos.

**Gráfico 9: Efecto de la interacción de la turbidez (NTU) entre el pH, velocidad y tiempo de agitación**



El gráfico de la interacción de los factores estudiados demuestra que el pH y el tiempo de agitación son directamente proporcionales al grado de turbidez del jugo de caña, mientras la velocidad de agitación es inversamente proporcional. Esto demuestra que en el intervalo de tiempo de agitación [2; 4.5] minutos, y el intervalo de pH [4.2; 4.5[, la turbidez tiende a disminuir, condiciones que se ajustan al objetivo de la investigación. Esto se contrapone a la velocidad de agitación, que indica incrementos significativos de la turbidez al disminuir la velocidad en el intervalo [1100; 1500[ rpm.

Así mismo, el gráfico indica que la intersección de los factores y el menor valor de la turbidez se dieron a 1100 rpm, pH de 4,2 y 4,5 minutos de agitación. Consecuentemente se podría aumentar la velocidad de agitación siempre y cuando los factores tiempo de agitación y pH disminuyan conforme a los intervalos. Se deberá tener en consideración la alteración de las propiedades que podría sufrir el jugo, al ser expuesto a pH menos ácido.

Finalmente, en la experimentación se alcanzó una turbidez de 225.33 (NTU) en el jugo luego de la purificación, con los niveles de pH =4.5, t= 2(min.) y v=1500(rpm.).

#### 4.1.2 Análisis de la variable porcentaje de sedimentación

La sedimentación es un método muy utilizado industrialmente para la separación de suspensiones en sus componentes (fluido y sólido) en el campo de la gravedad. Este proceso se lleva a cabo en equipos denominados sedimentadores, en los cuales las partículas sólidas tienden a descender, siguiendo las leyes de caída de los cuerpos en el seno de fluidos, y a acumularse en el fondo del equipo.

Esta variable fue evaluada con el propósito de establecer la eficiencia del proceso de purificación. Para lograrlo se cuantificó el volumen de sedimentación resultante de cada tratamiento y se lo representó en porcentaje, utilizando probetas al finalizar el proceso de purificación.

**Cuadro 28: Valores obtenidos del porcentaje de sedimentación al finalizar el proceso de purificación**

Rep Trat	I	II	III	ΣTRAT	MEDIA
T1 p1v1 t1	14.90	14.86	14.96	<b>44.72</b>	14.91
T2 p2v1 t1	10.50	11.10	9.37	<b>30.97</b>	10.32
T3 p1v2 t1	16.10	16.00	16.20	<b>48.30</b>	16.10
T4 p2v2 t1	13.33	13.10	13.05	<b>39.48</b>	13.16
T5 p1v1 t2	9.50	9.30	9.21	<b>28.01</b>	9.34
T6 p2v1 t2	11.18	11.04	11.10	<b>33.32</b>	11.11
T7 p1v2 t2	14.91	15.00	14.90	<b>44.81</b>	14.94
T8 p2v2 t2	6.60	6.80	5.29	<b>18.69</b>	6.23
ΣREP.	97.02	97.20	94.08	288.30	<b>12.01</b>

**Cuadro 29: ADEVA de la variable porcentaje de sedimentación al final del proceso de purificación**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
<b>Total</b>	23	240.69				
<b>Tratamientos</b>	7	237.67	33.95	178.68**	2.66	4.03
<b>Factor p</b>	1	78.41	78.41	412.68**	4.49	8.53
<b>Factor t</b>	1	62.21	62.21	327.42**	4.49	8.53
<b>Interacción pxt</b>	1	0.13	0.13	0.68 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
<b>Factor v</b>	1	8.48	8.48	44.63**	4.49	8.53
<b>Interacción pxv</b>	1	29.26	29.26	154.00**	4.49	8.53
<b>Interacción txv</b>	1	4.10	4.10	21.58**	4.49	8.53
<b>Interacción pxtv</b>	1	55.08	55.08	289.89**	4.49	8.53
<b>E.Exp.</b>	16	3.02	0.19			

**CV = 3.63%**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

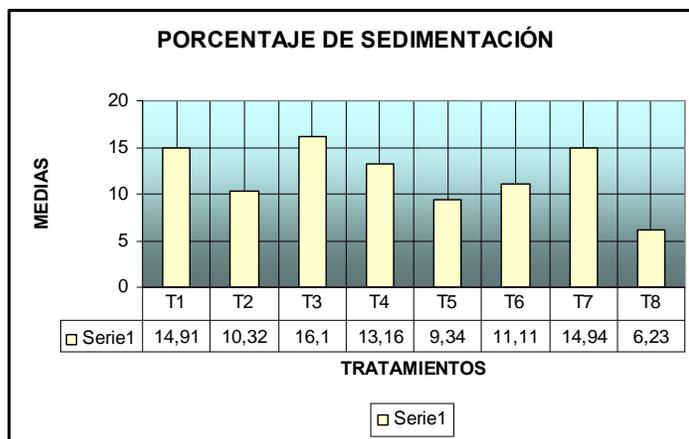
El análisis de varianza (Cuadro 29) señala alta significación estadística para los tratamientos, factores e interacciones respectivamente exceptuando la interacción (pxt) que estadísticamente es no significativa. Esto demuestra que los porcentajes de sedimentación del jugo de caña, estadísticamente son diferentes; por lo tanto, se procede a realizar las pruebas de significación correspondientes.

**Cuadro 30: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): porcentaje de sedimentación al final del proceso de purificación**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T3 p1v2t1	16.10	a
T7 p1v2 t2	14.94	a
T1 p1v1 t1	14.91	a
T4 p2v2 t1	13.16	b
T6 p2v1 t2	11.11	c
T2 p2v1 t1	10.32	c
T5 p1v1 t2	9.34	d
T8 p2v2 t2	6.23	e

En el cuadro se puede observar que los tratamientos T3, T7 y T1 poseen un mismo rango “a” y el valor mayor de las medias pertenece al tratamiento T3 (pH = 4.5, velocidad de agitación = 1500 rpm. y un tiempo de agitación = 2min.) cuyo valor corresponde a 16.10 % de sedimentos y se lo distingue como el mejor. Esto significa que la mayor eficiencia del proceso se logra en estos tratamientos. Para interpretar de mejor manera los resultados, se presenta el siguiente gráfico.

**Gráfico 10: Comportamiento de las medias para el porcentaje de sedimentación al finalizar el proceso de purificación**



**Cuadro 31: Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	13.82	a
p2	10.21	b

Al realizar la prueba DMS para el factor pH, encontramos que los niveles p1 y p2 presentan rangos diferentes, logrando un incremento del porcentaje de sedimentos del jugo de caña en el nivel p1 que tiene un pH de 4.5, que corresponde a 13.82% en su media y presenta rango “a”. Por lo tanto, es considerado el mejor nivel ya que se ajusta al objetivo de la investigación que requiere un jugo libre de sedimentos.

**Cuadro 32: Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad a de agitación)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	12.61	a
v1	11.41	b

DMS para el factor velocidad de agitación, demuestra que, los niveles v1 y v2 presentan rangos diferentes. Sin embargo, el nivel que menor porcentaje de sedimentos se obtuvo en el jugo de caña fue v2 (1500rpm.) y que corresponde a 12.61 % en su media; por lo tanto, es considerado el más adecuado y eficiente en función del objetivo de la investigación que requiere un jugo libre de sedimentos.

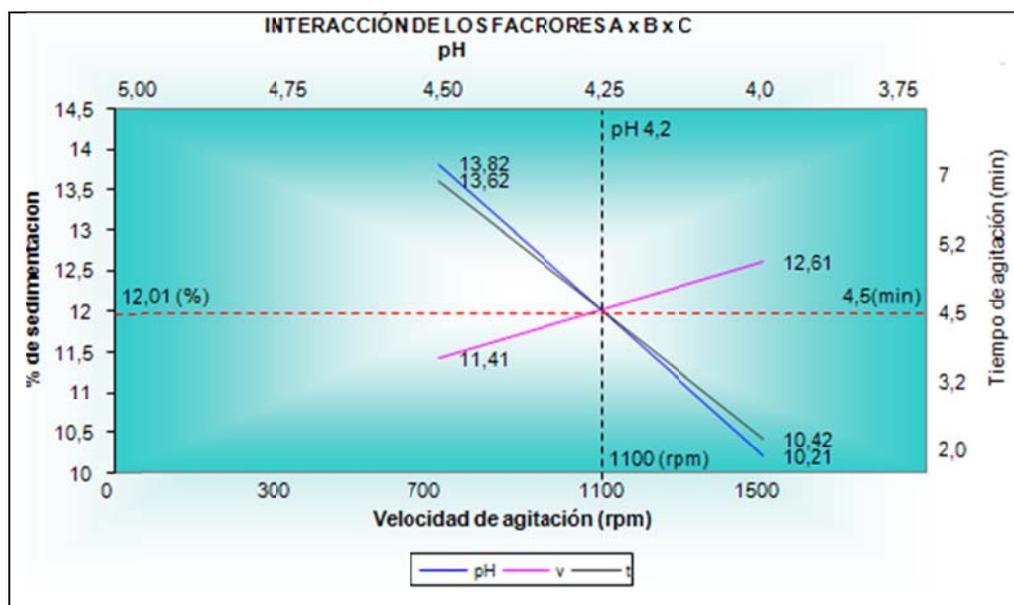
**Cuadro 33: Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)**

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	13.62	a
t2	10.42	b

Al realizar la prueba DMS para el factor tiempo de agitación, encontramos que los niveles t1 y t2 presentan rangos diferentes. A tiempos de 2 minutos se logra mayor sedimentación que se refleja en una menor turbidez del jugo, por lo tanto es considerado el nivel más adecuado

Para interpretar de mejor manera el efecto de la interacción de los factores en relación a la variable porcentaje de sedimentación, se procedió, a realizar exclusivamente el gráfico de la interacción AxBxC; debido al análisis de las interacciones AxB, AxC y BxC, que originaron una similar interpretación, consecuentemente se excluyo dichos gráficos.

**Gráfico 11: Efecto de la interacción del porcentaje de sedimentación entre el pH, velocidad y tiempo de agitación**



La interacción de los factores estudiados demuestra que el pH y tiempo de agitación son inversamente proporcionales al porcentaje de sedimentación del jugo, a diferencia de la velocidad de agitación que se muestra directamente proporcional. Esto indica que, en el intervalo de tiempo de agitación]4,5; 7] minutos, y el intervalo de pH [4,2; 4,5[, el porcentaje de sedimentación tiende a

subir, mientras en el intervalo de la velocidad de agitación [1100; 1500]rpm, el porcentaje de sedimentación tiende a disminuir.

En el gráfico se puede apreciar la intersección de los factores en 4,5 minutos de agitación, pH= 4,2 y velocidad de agitación de 1100 (rpm.), alcanzando el 12.01 % de sedimentos. Este valor puede subir, al modificar los niveles de los factores pH y tiempo de agitación descendientemente, mientras la velocidad se incremente conforme a los intervalos definidos, tomando en consideración las posibilidades de una excesiva sedimentación y consecuentemente la pérdida de la calidad del jugo de caña. Cabe señalar que en la experimentación se alcanzó el 16.10 % de sedimentos con los niveles de pH =4.5, t= 2(min.) y v =1500(rpm.).

#### 4.1.3 Análisis de la variable °Brix al final del proceso de purificación

Mediante refractometría se determinó la variación de sólidos solubles presentes en el producto terminado. Esta variable se evaluó antes y después del proceso de purificación, la misma que permitió determinar cambios en la concentración de sólidos solubles presentes en el jugo de caña de azúcar después de ser sometido al proceso.

**Cuadro 34: Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de purificación**

Rep Trat	I	II	III	ΣTRAT	MEDIA
T1 p1v1 t1	19.50	19.60	19.30	<b>58.40</b>	19.47
T2 p2v1 t1	23.20	23.50	22.70	<b>69.40</b>	23.13
T3 p1v2 t1	19.10	19.20	19.10	<b>57.40</b>	19.13
T4 p2v2 t1	20.10	20.70	21.00	<b>61.80</b>	20.60
T5 p1v1 t2	20.00	21.30	21.40	<b>62.70</b>	20.90
T6 p2v1 t2	24.50	22.09	24.80	<b>71.39</b>	23.80
T7 p1v2 t2	19.80	19.40	19.20	<b>58.40</b>	19.47
T8 p2v2 t2	21.00	22.70	21.50	<b>65.20</b>	21.73
ΣREP.	167.20	168.49	169.00	<b>504.690</b>	<b>21.029</b>

**Cuadro 35: ADEVA de la variable °Brix al final del proceso de purificación**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
Total	23	71.928				
Tratamientos	7	63.781	9.112	17.902**	2.66	4.03
Factor p	1	39.758	39.758	78.110**	4.49	8.53
Factor t	1	4.761	4.761	9.354**	4.49	8.53
Interacción pxt	1	0.001	0.001	0.002 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
Factor v	1	15.184	15.184	29.831**	4.49	8.53
Interacción p×v	1	3.004	3.004	5.902*	4.49	8.53
Interacción t×v	1	0.150	0.150	0.295 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
Interacción p×t×v	1	0.923	0.923	1.813 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
E.Exp.	16	8.147	0.509			

CV = 3.40%

\*\* : Altamente significativo. \* : Significativo

NS: No significativo

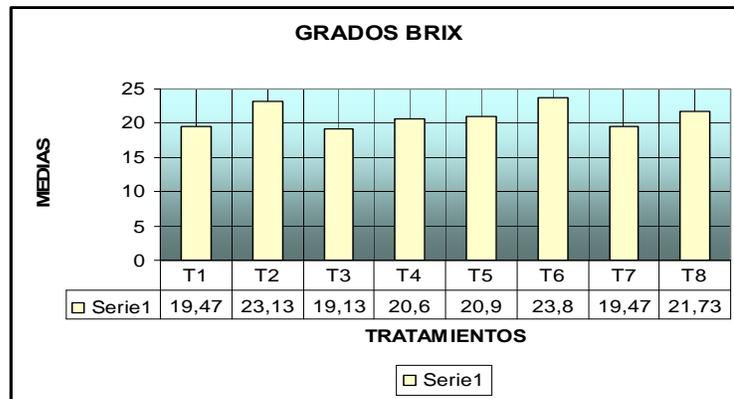
El análisis de varianza (Cuadro 35) denota alta significación estadística para los tratamientos y factores. La interacción (p×v) es significativa; mientras que las interacciones (t×v) y (p×t×v) no poseen significación alguna lo que nos indica que estadísticamente son iguales; por lo tanto, se procede a realizar las pruebas de significación correspondientes.

**Cuadro 36: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de purificación**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T3 p1v2 t1	19.13	a
T1 p1v1 t1	19.47	a
T7 p1v2 t2	19.47	b
T4 p2v2 t1	20.60	b
T5 p1v1 t2	20.90	b
T8 p2v2 t2	21.73	c
T2 p2v1 t1	23.13	c
T6 p2v1 t2	23.80	c

Al realizar la prueba Tukey en los tratamientos encontramos que T3 y T1 presentan un mismo rango “a”, lo que manifiesta que son estadísticamente iguales, en tanto que la menor media de estos corresponde al tratamiento T3 (pH = 4.5, velocidad de agitación = 1500 rpm. y un tiempo de agitación = 2min.) cuyo valor es 19.13 °Brix en su media, manifestando que este tratamiento permite conservar de mejor manera el °Brix original; es decir, los niveles de este tratamiento son los más adecuados en función de los objetivos de la investigación, ya que se logró mayor eficiencia del proceso de purificación del jugo de caña. Para interpretar de mejor manera los resultados se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 12: Comportamiento de las medias para los °Brix al finalizar el proceso de purificación**



**Cuadro 37: Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	19.74	a
p2	22.32	b

Al realizar la prueba DMS para el factor pH encontramos que los niveles p1 y p2 presentan rangos diferentes. No obstante se logró un valor menor del °Brix del jugo de caña en el nivel p1 que tienen un valor de 4.5, que corresponde a 19.74 en su media. Por lo tanto, es considerado el más adecuado y eficiente para purificar el jugo, evitando la excesiva alteración de los sólidos solubles.

**Cuadro 38: Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	20.23	a
v1	21.82	b

Al realizar la prueba DMS para el factor velocidad de agitación encontramos que los niveles v1 y v2 presentan rangos diferentes. Sin embargo, con el nivel v2 (1500 rpm.) se consiguió un valor menor del °Brix del jugo, que corresponde a 20.23 en su media y tiene el primer rango. Por lo tanto, es considerado el más adecuado en función del objetivo de la investigación que busca purificar el jugo evitando la excesiva modificación de sus propiedades.

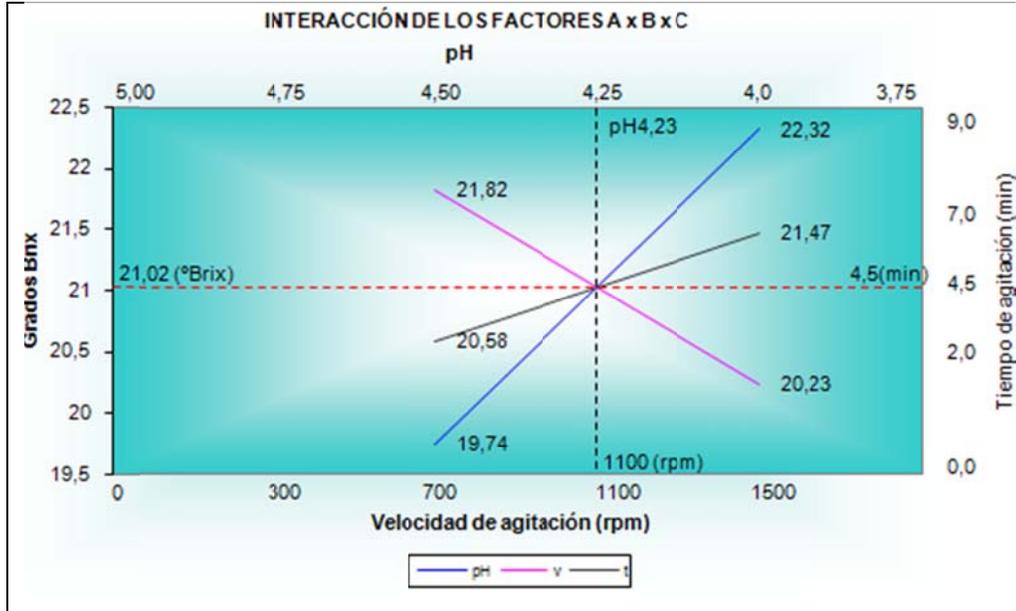
**Cuadro 39: Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)**

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	20.58	a
t2	21.47	b

Al realizar la prueba DMS para el factor velocidad de agitación encontramos que los niveles t1 y t2 presentan rangos diferentes. El nivel t1 (2min.) presenta menor °Brix, que corresponde a 20.58 en su media y posee un rango “a”; por lo tanto, es considerado el mejor.

Para interpretar de mejor manera el efecto de la interacción de los factores en relación a la variable grados brix, se procedió, a realizar únicamente el gráfico de la interacción AxBxC; debido al análisis de las interacciones AxB, AxC y BxC, que nos llevaron a una similar interpretación, consecuentemente se exceptuó dichos gráficos.

**Gráfico 13: Efecto de la interacción del °Brix entre el pH, velocidad y tiempo de agitación**



El gráfico de la interacción de los factores estudiados demuestra que el pH y el tiempo de agitación son directamente proporcionales a los °Brix del jugo de caña, mientras la velocidad de agitación es inversamente proporcional. Esto demuestra que en el intervalo de tiempo de agitación [2; 4.5] minutos, y el intervalo de pH [4.2; 4.5[, los °Brix tienden a incrementarse. Esto se contrapone a la velocidad de agitación, que indica disminución de los °Brix al aumentar la velocidad en el intervalo [1100; 1500[ rpm.

Según la intersección de los factores a 1100 rpm, pH de 4,2 y 4,5 (min.) de agitación, se podría incrementar la velocidad de agitación siempre y cuando el factor tiempo de agitación sufra decrementos conjuntamente con el pH. Se deberá tener en consideración las posibles alteraciones en las propiedades del jugo al incrementar su pH. Cabe señalar que en la experimentación se alcanzó 19.13°Brix en el jugo luego de la purificación con los niveles de pH =4.5, t= 2(min.) y v=1500(rpm.).

## **4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO FASE II**

### **Estabilización del jugo de caña purificado**

La segunda fase de la investigación se desarrolló luego de la evaluación estadística del proceso de purificación del jugo de caña. El análisis estadístico de esta primera fase arrojó como mejor resultado de purificación al tratamiento T3 cuyos valores son: pH = 4.5, velocidad de agitación = 1500 rpm y un tiempo de agitación = 2min, con estos valores se desarrolló la FASE II, comprendida por la estabilización del jugo purificado.

Con el objetivo de determinar los parámetros óptimos del proceso para la estabilización del jugo, el tratamiento térmico se realizó por dos métodos: esterilización y pasteurización.

#### **4.2.1. Método I: Esterilización**

La esterilización es el proceso de eliminación de toda forma de vida, incluidas las esporas. Es un término absoluto que implica pérdida de la viabilidad o eliminación de todos los microorganismos contenidos en un objeto o sustancia, acondicionado de tal modo que impida su posterior contaminación.

La esterilización, como método de conservación puede ser aplicada a cualquier producto, provisto de un envase adecuado y sellado en forma hermética de tal manera que se evite la entrada de microorganismos y oxígeno después de la esterilización. Además el envase debe presentar condiciones de vacío para asegurar la calidad del producto. Generalmente este proceso es empleado para alimentos de baja acidez y que son almacenados a temperatura ambiente. Las temperaturas en este proceso varían de 110°C a 125°C. En la investigación se tomó una temperatura de esterilización de 121°C con tiempos variables de 5 a 20min con intervalos de 1min.

#### 4.2.1.1 Análisis de la variable °Brix al final del proceso de esterilización

**Cuadro 40: Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de esterilización**

Rep Trat		Rep			ΣTRAT	MEDIA
		I	II	III		
T1	T1t1	19.10	19.00	19.20	57.30	<b>19.10</b>
T2	T1t2	19.30	19.10	19.00	57.40	<b>19.13</b>
T3	T1t3	19.10	19.10	19.30	57.50	<b>19.17</b>
T4	T1t4	19.20	19.10	19.40	57.50	<b>19.23</b>
T5	T1t5	19.20	19.20	19.60	58.00	<b>19.53</b>
T6	T1t6	19.80	19.10	19.30	58.20	<b>19.40</b>
T7	T1t7	19.20	19.10	20.30	58.60	<b>19.53</b>
T8	T1t8	19.30	19.30	20.20	58.80	<b>19.60</b>
T9	T1t9	19.30	19.30	20.20	58.80	<b>19.60</b>
T10	T1t10	20.30	19.10	19.50	58.90	<b>19.63</b>
T11	T1t11	19.80	19.10	20.20	59.10	<b>19.70</b>
T12	T1t12	19.80	19.90	21.90	61.60	<b>20.53</b>
T13	T1t13	21.80	19.20	21.40	62.40	<b>20.80</b>
T14	T1t14	21.60	21.90	21.00	64.50	<b>21.50</b>
T15	T1t15	21.30	21.80	22.00	65.10	<b>21.70</b>
T16	T1t16	21.50	21.80	23.40	66.70	<b>22.23</b>
ΣREP.		319.60	315.20	325.80	<b>960.60</b>	<b>20.01</b>

**Cuadro 41: ADEVA de la variable ° Brix al final del proceso de esterilización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
<b>Total</b>	47	59.69				
<b>Tratamientos</b>	15	46.38	3.09	7.36**	2.01	2.70
<b>E.Exp.</b>	32	13.31	0.42			

**CV = 3.24 %**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 41) denota alta significación estadística para los tratamientos lo que indica que estadísticamente son diferentes y se procede a realizar las correspondientes pruebas de significación.

**Cuadro 42: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de esterilización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T11 T1t11	19.70	a
T10 T1t10	19.63	a
T9 T1t9	19.60	a
T8 T1t8	19.60	a
T7 T1t7	19.53	a
T5 T1t5	19.53	a
T6 T1t6	19.40	a
T4 T1t4	19.23	a
T3 T1t3	19.17	a
T2 T1t2	19.13	a
T1 T1t1	19.10	a
T16 T1t16	22.23	b
T15 T1t15	21.70	b
T14 T1t14	21.50	b
T13 T1t13	20.80	b
T12 T1t12	20.53	b

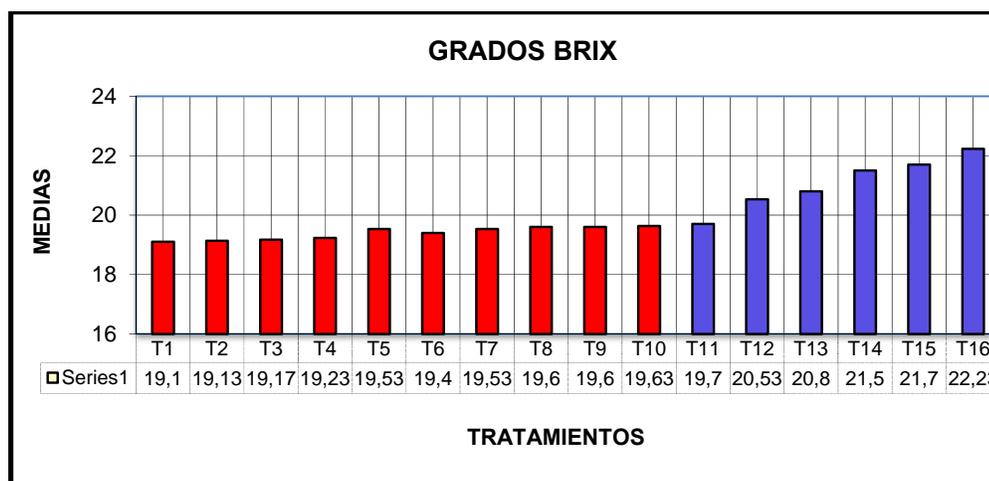
Al realizar la prueba Tukey encontramos que los tratamientos T11 a T1 se ubican en el primer rango. Esto demuestra que son estadísticamente iguales; sin embargo, la menor media en los tratamientos que tienen rango “a” corresponde a T11 (T = 121°C, t =15 min.) cuyo valor es 19.70 °Brix. Manifestando que este tratamiento posee los niveles más adecuados en función de los objetivos de la investigación, que pretende evitar la desnaturalización de los sólidos solubles del jugo.

Los tratamientos que preceden a T11 del mismo rango “a” poseen valores menores de los °Brix en sus medias; sin embargo, fueron excluidos por presentar contaminación microbiológica. Los tratamientos de rango “b” a pesar de no estar contaminados presentan una menor eficiencia en el proceso de estabilización del jugo ya que tienen incrementos considerables en sus medias y se alejan del valor original del °Brix del jugo.

Cabe indicar que el cuadro fue organizado para interpretar convenientemente la información de la variable en función de los objetivos de la investigación, se puede acceder a la información que presenta el cuadro original en el anexo (9) de esta investigación.

Para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos de se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 14: Comportamiento de las medias del °Brix al finalizar el proceso de esterilización**

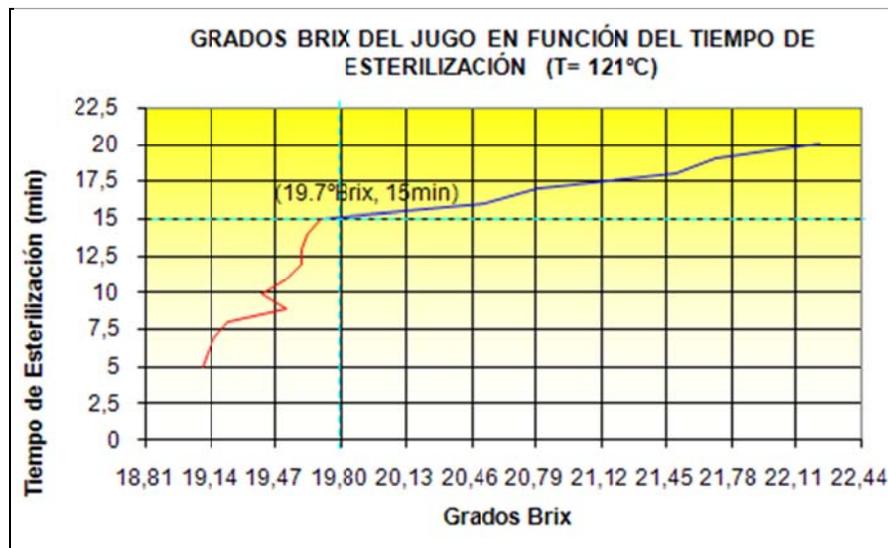


■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica

El comportamiento de las medias (Gráfico 14), indica que los tratamientos T1 a T10, constituyen las barras de color rojo. Esto se debe, a la contaminación microbiológica que sufrieron. Por lo tanto, fueron excluidos a pesar de tener valores de turbidez inferiores a los tratamientos libres de contaminación, que están representados en las barras azules.

Tomando en consideración el aspecto microbiológico, se puede observar que el mejor tratamiento corresponde a T11, ya que posee el menor valor de °Brix en su media con respecto a los tratamientos que no reportan contaminación.

**Gráfico 15: Comportamiento de los °Brix del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)**



■ Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10  
■ Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T11, T12, T13, T14, T15, T16

La gráfica indica que el °Brix es directamente proporcional al tiempo de esterilización, lo que indica que se debe evitar la exposición del jugo a tiempos prolongados para impedir incrementos en el °Brix. El segmento rojo de la curva claramente muestra que a tiempos de esterilización inferiores a 15 min. que corresponden a los tratamientos T1 a T10 no es posible eliminar toda la carga microbiana, ya que según el análisis a los 15 días el producto presenta

contaminación microbiológica. No así los tratamientos que fueron esterilizados a tiempos superiores a 15 minutos debido a que se eliminó todos los microorganismos los cuales se indican en el segmento azul de la curva.

Finalmente, observamos que a tiempos mayores a 15 minutos es posible estabilizar y evitar la desnaturalización excesiva en el °Brix del jugo purificado, logrando un valor de 19.7 °Brix, valor que corresponde a T11 según lo detalla la gráfica.

#### 4.2.1.2 Análisis de la variable turbidez al final del proceso de esterilización

**Cuadro 43: Valores obtenidos de la turbidez al finalizar el proceso de esterilización**

Rep Trat	I	II	III	ΣTRAT	MEDIA
T1 T1t1	226	226	225	677	225.67
T2 T1t2	226	226	225	677	225.67
T3 T1t3	229	226	233	688	229.33
T4 T1t4	230	229	230	689	229.67
T5 T1t5	229	234	227	690	230.00
T6 T1t6	228	230	233	691	230.33
T7 T1t7	225	238	229	692	230.37
T8 T1t8	228	235	230	693	231.00
T9 T1t9	231	236	232	699	233.00
T10 T1t10	230	243	237	710	236.67
T11 T1t11	236	239	246	721	240.33
T12 T1t12	238	250	245	733	244.33
T13 T1t13	249	241	262	752	250.67
T14 T1t14	250	271	242	763	254.33
T15 T1t15	244	270	253	767	255.66
T16 T1t16	260	265	271	796	265.33
ΣREP.	3759	3859	3820	11438	238.29

**Cuadro 44: ADEVA de la turbidez al final del proceso de esterilización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
<b>Total</b>	47	8181.92				
<b>Tratamientos</b>	15	6695.25	446.35	9.61**	2.01	2.70
<b>E.Exp.</b>	32	1486.67	46.46			

CV = 3.00 %

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo.

El análisis de varianza (Cuadro 44) denota alta significación estadística para los tratamientos; por lo tanto, se procedió a realizar las pruebas de significación estadística correspondientes

**Cuadro 45: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): turbidez al final del proceso de esterilización.**

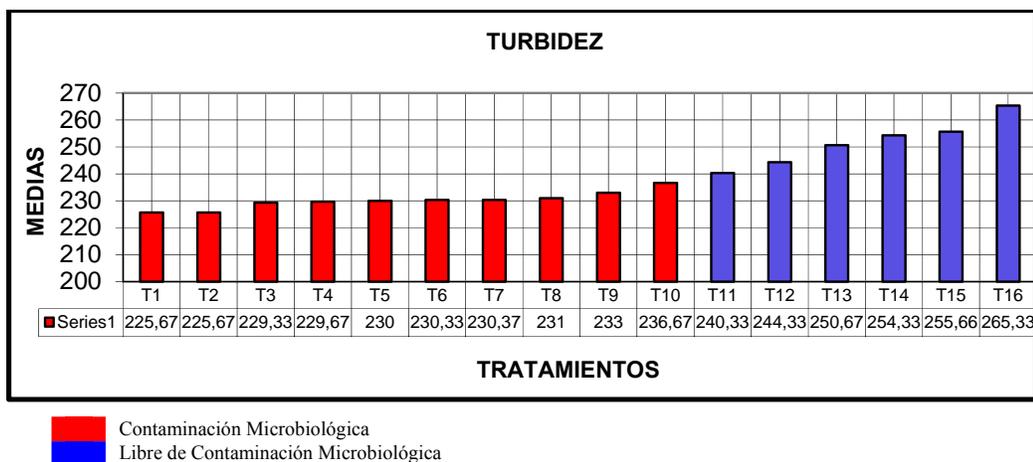
TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T12 T1t12	244.33	a
T11 T1t11	240.33	a
T10 T1t10	236.67	a
T9 T1t9	233.00	a
T8 T1t8	231.00	a
T7 T1t7	230.37	a
T6 T1t6	230.33	a
T5 T1t5	230.00	a
T4 T1t4	229.67	a
T3 T1t3	229.33	a
T2 T1t2	225.67	a
T1 T1t1	225.67	a
T16 T1t16	265.33	b
T15 T1t15	255.66	b
T14 T1t14	254.33	b
T13 T1t13	250.67	b

Al realizar la prueba Tukey encontramos que los tratamientos T12 a T1 presentan un mismo rango “a”, lo que manifiesta que son estadísticamente iguales en relación a la variable en análisis. De estos tratamientos asignados con el primer rango, se elige como mejor a T11 (T = 121°C, t =15 min.) cuyo valor es 240.33 (NTU) en su media; esto debido, a la contaminación microbiológica que sufrieron los tratamientos precedentes a T11, consecuentemente fueron excluidos. Mientras el T12 y los tratamientos de rango “b” a pesar de eliminar todo microorganismo presentan valores superiores en sus medias con respecto a T11 y se alejan del valor original de la turbidez del jugo purificado.

Cabe indicar que el cuadro fue organizado para interpretar de mejor manera la información de la variable en función de los objetivos de la investigación. Se puede acceder a la información que presenta el cuadro original en el anexo (9) de esta investigación.

Para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos se construye el siguiente gráfico.

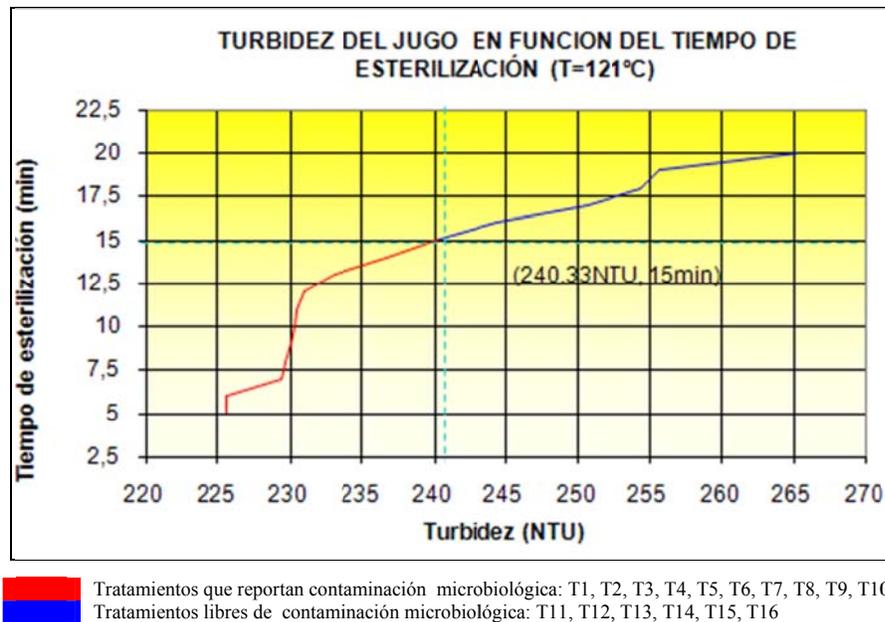
**Gráfico 16: Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de esterilización**



En el gráfico se puede apreciar que los tratamientos T1 a T10, constituyen las barras de color rojo. Esto debido, a la contaminación microbiológica que

reportaron, consecuentemente fueron excluidos, a pesar de tener valores de turbidez inferiores a los tratamientos libres de contaminación, que están representados en las barras azules. Por lo tanto, se puede observar que el mejor tratamiento corresponde a T11, ya que posee el menor valor de turbidez en su media con respecto a los tratamientos no contaminados.

**Gráfico 17: Comportamiento de la turbidez del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)**



El gráfico indica que la turbidez es directamente proporcional al tiempo de esterilización, con la consideración que se debe evitar la exposición del jugo a tiempos prolongados para evitar incrementos en la turbidez. El segmento rojo de la curva visiblemente muestra que a valores inferiores a 15 min que corresponden a los tratamientos T1 a T10 el jugo sufre contaminación. Sobre este valor, se logra la estabilización según detalla el análisis microbiológico de recuento de aerobios totales practicado y puede visualizarse en la curva de color azul que corresponde a los tratamientos T11 a T16. Finalmente, cabe señalar que niveles de tiempo de esterilización superiores a 15 minutos e inferiores a 16 minutos a

temperatura de 121 °C, son adecuados para eliminar microorganismos y evitar cambios excesivos en la turbidez del jugo, ya que la variación de la turbidez en este rango de tiempo es 4 NTU y no afecta considerablemente la turbiedad del jugo.

#### 4.2.1.3 Análisis de la variable pH al final del proceso de esterilización

Mediante la utilización del phmetro digital, se determinó el pH del producto terminado, para verificar la variación de la concentración de iones hidrógeno, esto permitió conocer la incidencia de la esterilización en esta variable. Fue evaluada al final del proceso.

**Cuadro 46: Valores obtenidos del pH al finalizar el proceso de esterilización**

Rep Trat	I	II	III	ΣTRAT	MEDIA
T1 T1t1	4.50	4.50	4.50	13.50	4.50
T2 T1t2	4.52	4.54	4.53	13.59	4.53
T3 T1t3	4.53	4.54	4.54	13.61	4.54
T4 T1t4	4.55	4.55	4.60	13.70	4.57
T5 T1t5	4.53	4.59	4.60	13.72	4.57
T6 T1t6	4.57	4.60	4.58	13.75	4.58
T7 T1t7	4.60	4.60	4.55	13.75	4.58
T8 T1t8	4.63	4.63	4.64	13.90	4.63
T9 T1t9	4.64	4.65	4.64	13.93	4.64
T10 T1t10	4.65	4.64	4.66	13.95	4.65
T11 T1t11	4.67	4.67	4.64	13.98	4.66
T12 T1t12	4.50	4.92	4.69	14.11	4.70
T13 T1t13	4.60	4.51	5.01	14.12	4.71
T14 T1t14	4.50	4.78	5.12	14.40	4.80
T15 T1t15	4.60	4.82	5.30	14.72	4.91
T16 T1t16	4.98	4.52	5.50	15.00	5.00
ΣREP.	73.57	74.06	76.10	223.73	4.66

**Cuadro 47: ADEVA del pH al final del proceso de esterilización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
<b>Total</b>	47	2.03				
<b>Tratamientos</b>	15	0.86	0.06	1.50 **	2.01	2.70
<b>E.Exp.</b>	32	1.17	0.04			

**CV = 4.29%**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 47) manifiesta alta significación estadística para los tratamientos, esto indica que son diferentes. Por lo tanto, se procedió a realizar las pruebas de significación correspondientes.

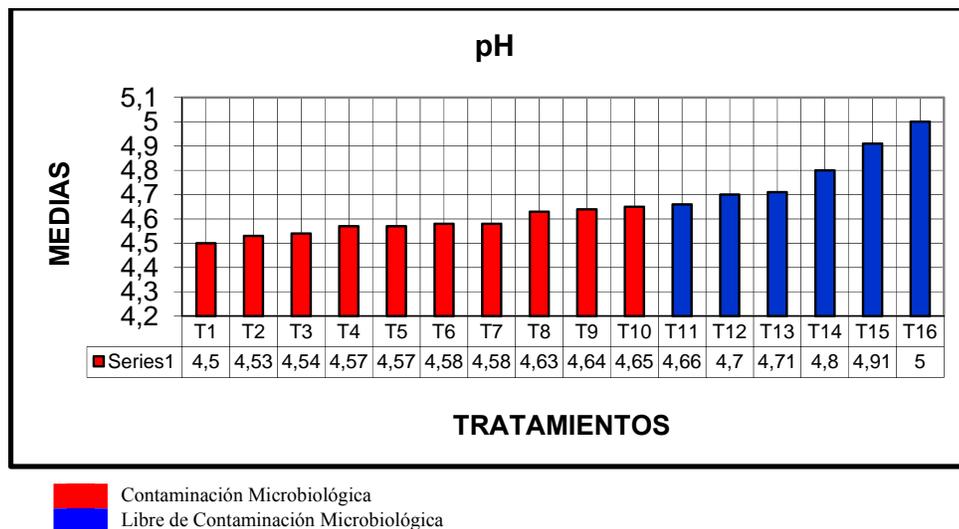
**Cuadro 48: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): pH al final del proceso de esterilización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T16 T1t16	5.00	a
T15 T1t15	4.91	a
T14 T1t14	4.80	a
T13 T1t13	4.71	a
T12 T1t12	4.70	a
T11 T1t11	4.66	a
T10 T1t10	4.65	a
T9 T1t9	4.64	a
T8 T1t8	4.63	a
T7 T1t7	4.58	a
T6 T1t6	4.58	a
T5 T1t5	4.57	a
T4 T1t4	4.57	a
T3 T1t3	4.54	a
T2 T1t2	4.53	a
T1 T1t1	4.50	a

Al realizar la prueba Tukey encontramos que todos los tratamientos presentan rango “a”, esto indica que son estadísticamente iguales. De ellos se asigna como mejor a T11 (T = 121°C, t =15 min.), cuya media tiene un pH de 4.66. Esto en razón a los tratamientos antecedentes a T11 que muestran incremento en sus medias, entendiéndose mayor deterioro de las propiedades del jugo durante el proceso, mientras los tratamientos precedentes a T11 presentan contaminación microbiológica consecuentemente fueron excluidos.

Por lo tanto se estima que el tratamiento T11 posee los niveles más adecuados en función de los objetivos de la investigación, que pretende evitar la desnaturalización de compuestos del jugo por la variación considerable del pH.

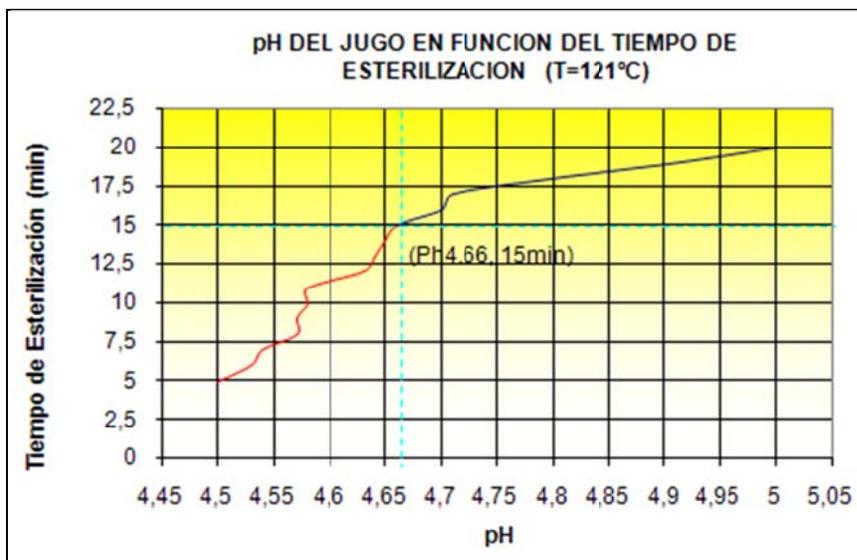
**Gráfico 18: Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de esterilización**



El comportamiento de las medias del pH (Gráfico 18) indica que los tratamientos T1 a T10, tienen los valores más bajos de pH; sin embargo, presentan contaminación microbiológica. Por lo tanto, se los representa con barras de color rojo, mientras las barras azules constituyen los tratamientos libres de contaminación; de los cuales, se elige como mejor a T11 ya que posee el menor

valor de pH en su media con respecto a los tratamientos que no reportan contaminación.

**Gráfico 19: Comportamiento del pH del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)**



■ Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10  
■ Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T11, T12, T13, T14, T15, T16

El gráfico indica la relación directamente proporcional entre el pH y el tiempo de esterilización, esto indica que se debe evitar la exposición del jugo a tiempos prolongados para impedir incrementos en la variable.

El segmento rojo de la curva que corresponde a los tratamientos T1 a T10, visiblemente muestra que a valores inferiores a 15 minutos el jugo se contamina. Sobre este valor se logra la estabilización del jugo, la cual se expresa en el segmento de color azul y corresponde a los tratamientos T11 a T16. Finalmente, observamos que mínimo 15 minutos son necesarios para estabilizar y evitar cambios excesivos del pH (4.66), que corresponde a T11 según lo detalla el gráfico.

## **4.2.2 Método II: Pasteurización**

La pasteurización es el proceso de destrucción de las bacterias patógenas que pueden existir en un líquido mediante el calor, generalmente usado en el tratamiento de líquidos alimenticios, alterando lo menos posible la estructura física y química de los componentes.

Este método consiste en elevar la temperatura de los alimentos entre 60° y 80 °C, generalmente se realiza a 68 °C, durante un período entre unos pocos segundos y 30 minutos. Así se destruyen los microorganismos más peligrosos o los que con mayor frecuencia pueden producir alteraciones.

Para determinar los parámetros (tiempo y temperatura de pasteurización), más adecuados para eliminar microorganismos patógenos alterando lo menos posible la estructura física y química del jugo de caña se realizó una preselección de tratamientos. Esta preselección se la efectuó, tomando como base principalmente los resultados de los ensayos microbiológicos y las siguientes variables cuantitativas evaluadas al producto final: turbidez, pH y ° Brix.

Esta preselección identificó los tres mejores tratamientos con los cuales posteriormente se optimizó el proceso de pasteurización variando únicamente el factor tiempo.

### **4.2.2.1 Preselección de los tratamientos de pasteurización**

#### **4.2.2.1.1 Análisis de la variable turbidez al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos**

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra, esta causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad en un líquido puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos

tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia. Por lo tanto, mediante turbidimetría se determinó la variación de NTU (unidades de turbidez nefelométricas) al producto final, con respecto a las temperaturas y tiempos de pasteurización, variable que nos permitió identificar los tres mejores tratamientos con los cuales se procedió a optimizar el proceso de pasteurización.

**Cuadro 49: Valores obtenidos de la turbidez al finalizar el proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos**

Trat \ Rep	I	II	III	$\Sigma$ TRAT	MEDIA
T1 T1t1	225	228	229	<b>682</b>	227.33
T2 T1t2	225	228	229	<b>682</b>	227.33
T3 T1t3	225	228	229	<b>682</b>	227.33
T4 T1t4	231	231	230	<b>692</b>	230.36
T5 T1t5	240	238	242	<b>720</b>	240.00
T6 T1t6	255	253	250	<b>755</b>	251.67
T7 T1t7	268	254	256	<b>778</b>	259.33
T8 T2t1	231	226	229	<b>686</b>	228.66
T9 T2t2	231	226	229	<b>686</b>	228.66
T10 T2t3	231	227	229	<b>687</b>	229.00
T11 T2 t4	242	243	240	<b>725</b>	241.66
T12 T2t5	250	251	245	<b>746</b>	248.67
T13 T2t6	260	262	254	<b>776</b>	258.67
T14 T2t7	250	288	291	<b>829</b>	276.33
T15 T3t1	228	230	226	<b>684</b>	228.00
T16 T3t2	228	230	226	<b>684</b>	228.00
T17 T3t3	229	230	231	<b>690</b>	230.00
T18 T3t4	250	251	246	<b>747</b>	249.00
T19 T3t5	251	255	249	<b>755</b>	251.67
T20 T3t6	275	270	268	<b>813</b>	271.00
T21 T3t7	308	346	310	<b>946</b>	321.33
$\Sigma$ REP.	5130	5195	5138	<b>15463</b>	<b>245.44</b>

**Cuadro 50: ADEVA de la Turbidez al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos**

<b>F. de V.</b>	<b>gl.</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>
<b>Total</b>	62	3467.56				
<b>Tratamientos</b>	20	32284.22	1614.21	29.69**	2.35	1.83
<b>Factor T</b>	2	2877.08	1438.54	26.46**	5.16	3.22
<b>Factor t</b>	5	24716.89	4943.38	90.92**	3.27	2.33
<b>Interacción Txt</b>	10	4690.26	469.03	8.63**	2.64	1.99
<b>E.Exp.</b>	42	2283.33	54.37			

**CV = 3.0%**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS : No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 50) indica alta significación estadística para los tratamientos, factores e interacción respectivamente. Esto demuestra que estadísticamente son diferentes y se procedió a realizar las correspondientes pruebas de significación.

**Cuadro 51: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): Turbidez al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T20 T3t6	271.00	a
T13 T2t6	258.67	a
T6 T1t6	251.67	a
T21 T3t7	321.33	b
T14 T2t7	276.33	c
T7 T1t7	259.33	c
T18 T3t4	251.67	d
T19 T3t5	249.00	d
T12 T2t5	248.67	d
T11 T2t4	241.66	d
T5 T1t5	240.00	d
T4 T1t4	230.66	d
T17 T3t3	230.00	d
T16 T3t2	228.00	d
T10 T2t3	229.00	d
T9 T2t2	228.66	d
T8 T2t1	228.66	d
T15 T3t1	228.00	d
T3 T1t3	227.33	d
T2 T1t2	227.33	d
T1 T1t1	227.33	d

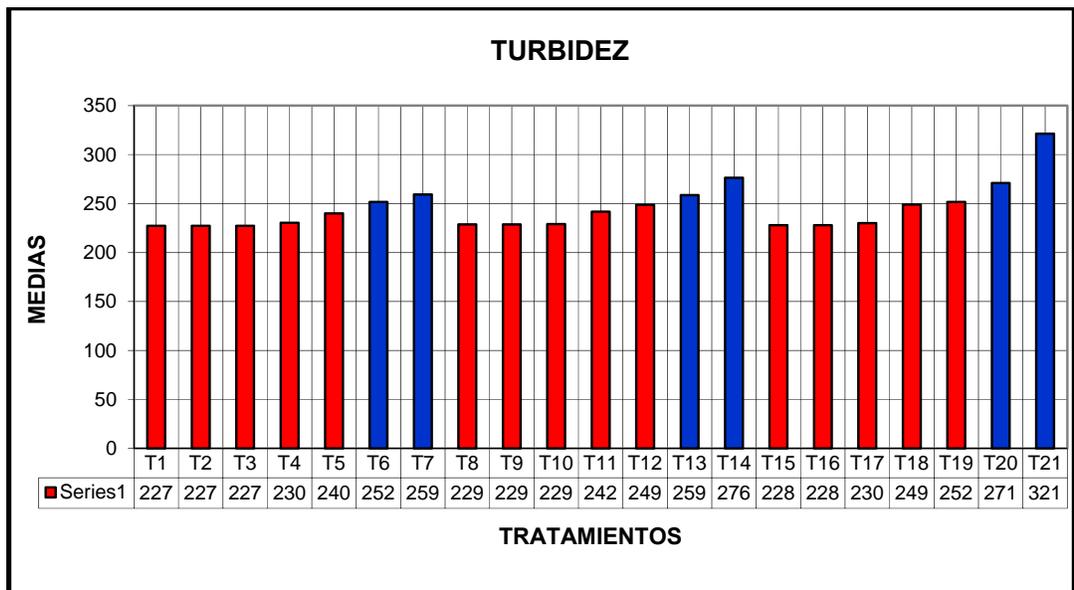
Luego de realizar la prueba Tukey encontramos que los tratamientos T20, T13 y T6, se encuentran en el primer rango, mientras el T21, tiene rango “b” y los tratamientos T14 y T7 presentan rango “c”. Estos tratamientos ubicados en la parte superior de la tabla de rango “a”, “b” y “c” respectivamente, no reportaron contaminación microbiológica. Esto contrasta a los tratamientos de rango “b” que sufrieron contaminación, consecuentemente fueron excluidos a pesar de tener valores inferiores de turbidez en sus medias.

Por lo tanto, se consideró como mejores tratamientos a T20, T13 y T6, ya que poseen menores medias en turbidez: 271.00, 258.67 y 251.67 respectivamente, con respecto a los tratamientos que no se contaminaron. Estos valores bajos de turbidez implican mejor calidad en el producto final ya que la excesiva turbiedad en el jugo, produce en el consumidor un excesivo rechazo.

Cabe indicar que el cuadro fue organizado para interpretar de mejor manera la información de la variable en función de los objetivos de la investigación. Se puede observar el cuadro original de las pruebas de significación para tratamientos mediante tuckey (5%), de la turbidez en el anexo (9) de este documento.

Para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos de la variable, se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 20: Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de pasteurización**



■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica

Para la interpretación del gráfico es necesario indicar que las barras de color rojo representan los tratamientos que sufrieron contaminación microbiológicamente y fueron excluidos del análisis por esta condición, mientras las barras azules constituyen los tratamientos libres de contaminación. Tomando en consideración lo antes descrito puede apreciarse que los tratamientos T6, T13 y T20, tiene los valores más bajos de turbidez en sus medias con respecto a los tratamientos no contaminados. Por lo tanto estos son los mejores.

**Cuadro 52: Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	237.67	a
T2	244.52	a
T3	254.52	b

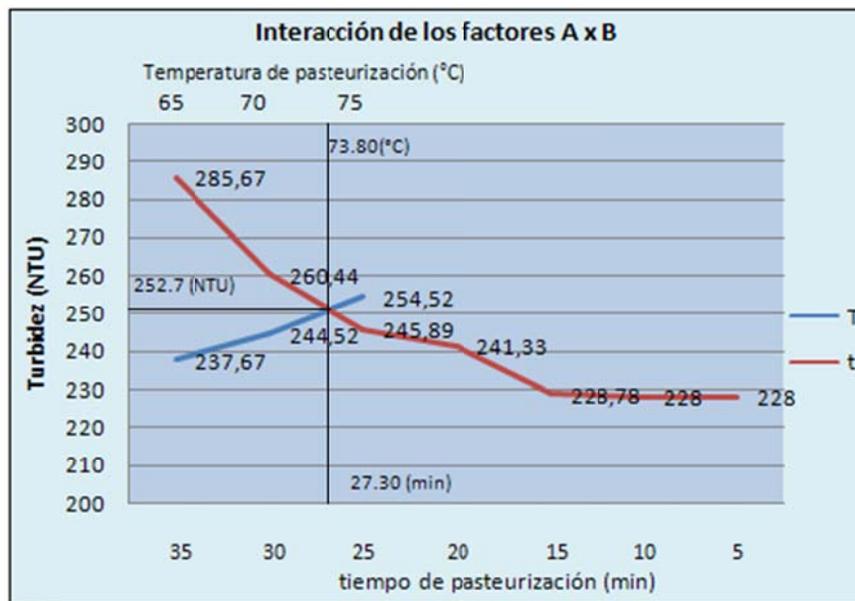
Al realizar la prueba DMS para el factor temperatura de pasteurización encontramos que los niveles T1 y T2 presentan rango “a”, de estos dos niveles se puede apreciar que la menor media corresponde a T1 (65°C) el cual posee un valor de 237.67 (NTU); se interpreta que este nivel de temperatura no altera considerablemente la turbidez del jugo purificado y se evita la contaminación con microorganismos patógenos, a diferencia del nivel T3 que produce un incremento de 16.85 unidades nefelométricas en la turbidez del jugo.

**Cuadro 53: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t6	260.44	a
t7	285.67	b
t5	245.89	c
t4	241.33	c
t3	228.78	c
t2	228.00	c
t1	228.00	c

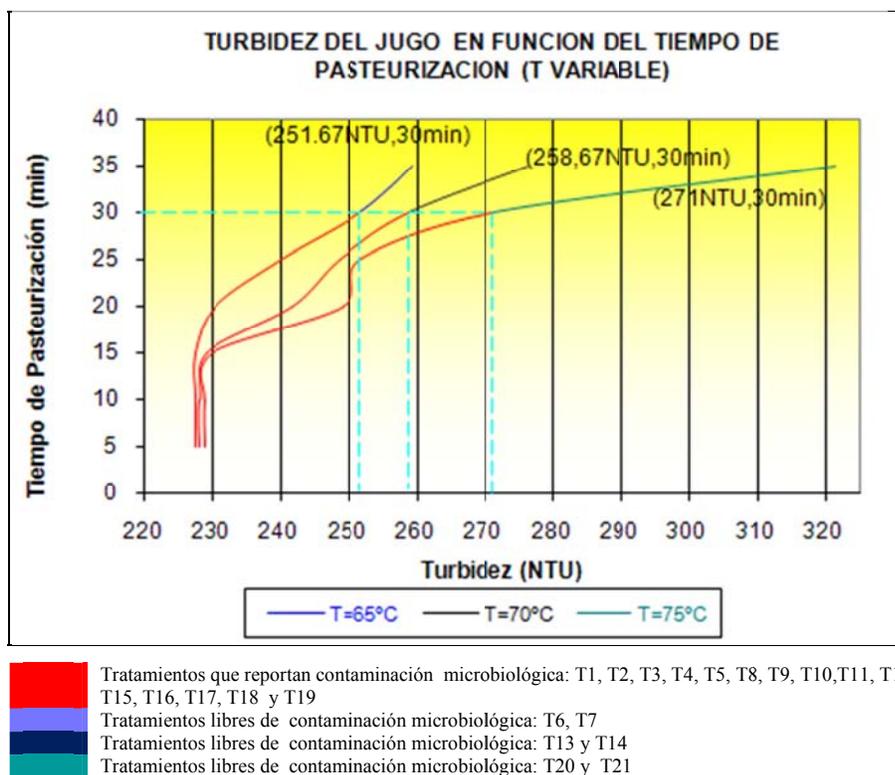
Luego de realizar la prueba DMS para el factor tiempo, se encontró que el nivel t6 (30min.) es adecuado para eliminar los microorganismos y evitar la variación excesiva de las propiedades del jugo, figurándose como el mejor. El nivel t7 presenta una media superior a t6, lo que indica que a este nivel de tiempo las características del jugo purificado se alteran en mayor grado, mientras que los niveles que poseen rango “c” presentan medias inferiores de turbidez pero son excluidos por contaminación microbiológica.

**Gráfico 21: Efecto de la interacción de turbidez del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización**



El gráfico de la interacción de los factores estudiados demuestra que la temperatura y tiempo de pasteurización son directamente proporcionales a la turbidez del jugo de caña. Se observa que en el intervalo de temperatura de pasteurización  $[65; 73.8]$  °C, y el intervalo de tiempo  $[27.3; 5]$  min, la turbidez tiende a disminuir, manifestando que se evitaría cambios excesivos en la turbiedad si el proceso se realiza con niveles de temperatura y tiempo de pasteurización inferiores al punto de la intersección. Finalmente puede apreciarse que se obtiene una turbidez de 252.7 NTU, en la intersección de los factores en los puntos 73.80 °C y 27.3 (min.).

**Gráfico 22: Comportamiento de la turbidez del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable**



El gráfico indica que el efecto de la temperatura en función del tiempo de pasteurización es directamente proporcional a la turbidez del jugo de caña. Lo que sugiere no exponer el jugo a tiempos prolongados de pasteurización para evitar la variación excesiva en la turbiedad. De acuerdo al recuento de mohos y levaduras practicado se determinó que las tres temperaturas eliminan los microorganismos a tiempos superiores de 30 minutos, tal como indican los segmentos de color: azul, negro y verde que corresponden a las temperaturas de 65°C, 70°C y 75°C respectivamente, a diferencia de los segmentos de color rojo de cada curva que indican contaminación.

Finalmente, se observa que los tres niveles de temperatura eliminan los microorganismos a un mismo nivel de tiempo (30 minutos), mientras la turbidez aumenta conforme se incrementa la temperatura. La turbidez más baja tiene un valor de 251.67 (NTU) en 65°C, mientras que a 70°C y 75°C, alcanzan valores

superiores. Por lo tanto, fue necesario investigar minuciosamente el comportamiento de la turbidez en el intervalo de 26 a 30 minutos, para esto se procedió a optimizar la pasteurización disminuyendo el nivel del tiempo de en los tres niveles de temperaturas señaladas, que más adelante se indica.

#### 4.2.2.1.2 Análisis de la variable °Brix al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos

**Cuadro 54: Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización**

Rep Trat	I	II	III	$\Sigma$ TRAT	MEDIA
T1 T1t1	19.10	19.00	19.20	<b>57.30</b>	19.10
T2 T1t2	19.20	19.00	19.00	<b>57.20</b>	19.07
T3 T1t3	19.10	19.00	19.20	<b>57.30</b>	19.10
T4 T1t4	19.40	19.30	19.40	<b>58.10</b>	19.37
T5 T1t5	19.50	19.40	19.60	<b>58.50</b>	19.50
T6 T1t6	20.30	19.70	20.30	<b>60.30</b>	20.10
T7 T1t7	22.40	21.30	23.20	<b>66.90</b>	22.30
T8 T2t1	19.10	19.00	19.20	<b>57.30</b>	19.10
T9 T2t2	19.20	19.20	19.00	<b>57.40</b>	19.13
T10 T2t3	19.30	19.20	19.10	<b>57.60</b>	19.20
T11 T2 t4	19.30	19.40	19.50	<b>58.20</b>	19.40
T12 T2t5	19.20	20.00	19.50	<b>59.40</b>	19.80
T13 T2t6	21.00	20.00	20.80	<b>61.80</b>	20.60
T14 T2t7	22.10	23.00	24.30	<b>69.40</b>	23.13
T15 T3t1	19.20	19.10	19.00	<b>57.30</b>	19.10
T16 T3t2	19.20	19.10	19.00	<b>57.30</b>	19.10
T17 T3t3	19.40	19.50	19.30	<b>58.20</b>	19.40
T18 T3t4	19.70	19.80	19.60	<b>59.10</b>	19.70
T19 T3t5	20.00	21.20	19.90	<b>61.00</b>	20.33
T20 T3t6	21.00	23.00	20.10	<b>64.10</b>	21.37
T21 T3t7	24.10	21.00	24.90	<b>70.00</b>	23.33
$\Sigma$ REP.	421.33	420.33	422.04	<b>1263.70</b>	20.06

**Cuadro 55: ADEVA de los °Brix al final del proceso de pasteurización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.01	0.05
<b>Total</b>	62	128.17				
<b>Tratamientos</b>	20	108.92	5.45	11.85**	2.35	1.83
<b>Factor T</b>	2	6.73	3.37	7.33**	5.16	3.22
<b>Factor t</b>	5	92.50	18.5	40.21**	3.27	2.33
<b>Interacción Txt</b>	10	9.65	0.97	2.10*	2.64	1.99
<b>E.Exp.</b>	42	19.25	0.46			

**CV = 3.38%**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 55) denota alta significación estadística para los tratamientos y factores, mientras la interacción Txt (temperatura x tiempo), tiene significación estadística únicamente. Por lo tanto, se procedió a realizar las pruebas de significación correspondientes.

**Cuadro 56: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T21 T3t7	23.33	a
T14 T2t7	23.13	a
T7 T1t7	22.30	a
T20 T3t6	21.37	a
T13 T2t6	20.60	a
T6 T1t6	20.10	a
T19 T3t5	20.33	b
T12 T2t5	19.60	b
T18 T3t4	19.70	b
T5 T1t5	19.50	b
T17 T3t3	19.40	b
T11 T2t4	19.40	b
T4 T1t4	19.37	b
T10 T2t3	19.20	b
T9 T2t2	19.13	b
T16 T3t2	19.10	b
T15 T3t1	19.10	b
T3 T1t3	19.10	b
T8 T2t1	19.10	b
T1 T1t1	19.10	b
T2 T1t2	19.07	b

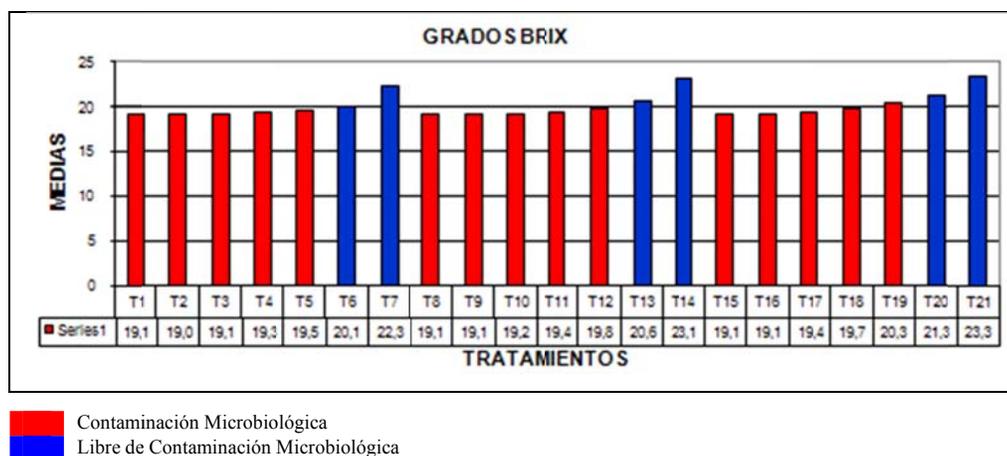
Luego de realizar la prueba Tukey se establece que los tratamientos ubicados en la parte superior de la tabla con rango “a”, no reportaron contaminación microbiológica. Esto a diferencia de los tratamientos de rango “b” que sufrieron contaminación, consecuentemente fueron excluidos a pesar de tener valores inferiores del °Brix en sus medias.

Por lo tanto, se consideró como mejores tratamientos a T20, T13 y T6, ya que poseen menores medias de °Brix: 21.37, 20.60 y 20.10 respectivamente, con respecto a los tratamientos que no se contaminaron.

Cabe indicar que el cuadro fue organizado para interpretar de mejor manera la información de la variable en función de los objetivos de la investigación. Se puede observar el cuadro original de las pruebas de significación para tratamientos mediante tuckey (5%), de los °Brix en el anexo (9) de este documento.

Para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos de la variable, se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 23: Comportamiento de las medias de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización**



En el gráfico se representa a los tratamientos libres de contaminación microbiológica mediante las barras de color azul y las barras rojas representan los tratamientos que sufrieron contaminación. Por lo tanto, fueron excluidos del análisis por esta condición. Tomando en consideración lo antes descrito puede apreciarse que los mejores tratamientos son: T6, T13 y T20, que tienen los valores más bajos del °Brix en sus medias con respecto a los tratamientos no contaminados.

**Cuadro 57: Pruebas de significación de DMS para el factor A(temperatura de pasteurización)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	19.67	a
T2	20.04	a
T3	20.47	a

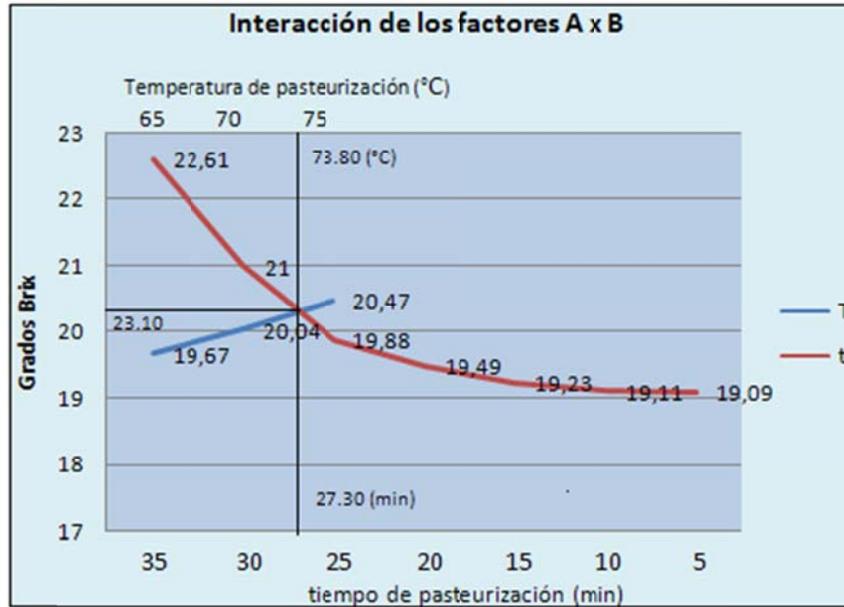
Al realizar la prueba DMS para el factor temperatura de pasteurización encontramos que los niveles T1, T2 y T3 presentan rango “a”, indicando que estadísticamente son iguales, de éstos tres niveles se puede apreciar que la menor media corresponde a T1 (65°C) el cual posee un valor de 19.67 (°Brix). Significa que a este nivel de temperatura no se altera considerablemente los sólidos solubles del jugo purificado y se evita la contaminación con microorganismos patógenos.

**Cuadro 58: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t7	22.61	a
t6	21.00	a
t5	19.88	a
t4	19.49	a
t3	19.23	b
t2	19.11	b
t1	19.09	c

Luego de realizar la prueba DMS para el factor tiempo, se encontró que el nivel t6 (30min.) es adecuado para estabilizar y evitar la variación excesiva de las propiedades del jugo, figurándose como el mejor. Los niveles t1 a t5 presentan medias inferiores, pero son excluidos por contaminación microbiológica, mientras que el nivel t7 presenta una media superior a t6, lo que indica que este tiempo altera en mayor grado las características del jugo purificado.

**Gráfico24 : Efecto de la interacción del °Brix del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización**



La interacción de los factores estudiados (Gráfico 24) indican que la temperatura y tiempo de pasteurización son directamente proporcionales a los grados Brix del jugo; consecuentemente, pueden producirse modificaciones considerables en los sólidos solubles del jugo de caña al exponerlo a temperaturas altas y tiempos prolongados.

Se observa que en el intervalo de temperatura de pasteurización [65; 73.8] °C, y el intervalo de tiempo [27.3; 5] min, los °Brix tienden a disminuir, manifestando que se evitaría cambios excesivos en los °Brix si el proceso se realiza con niveles de temperatura y tiempo de pasteurización inferiores al punto de la intersección. Finalmente puede apreciarse que se obtiene un valor de 23.10 grados Brix, en la intersección de los factores en los puntos 73.80 °C y 27.3 (min.).

**Gráfico 25: Comportamiento de los °Brix del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable**



- Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T4, T5, T8, T9, T10, T11, T12, T15, T16, T17, T18 y T19
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T6, T7
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T13 y T14
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T20 y T21

El gráfico indica que el efecto de la temperatura en función del tiempo de pasteurización es directamente proporcional a los °Brix del jugo de caña, esto según detallan las tres curvas graficadas. De acuerdo al recuento de mohos y levaduras practicado se determinó que los tres niveles de temperaturas eliminan los microorganismos a tiempos superiores de 30 minutos, tal como indican los segmentos de color: azul, negro y verde, que corresponden a las temperaturas de 65°C, 70°C y 75°C respectivamente, a diferencia de los segmentos de color rojo de cada curva que indican contaminación. Los tres niveles de temperatura estabilizaron el jugo a un mismo nivel de tiempo (30 min.), obteniendo un °Brix de 20.1 a 65°C. Mientras que a 70°C y 75°C se alcanzaron valores del °Brix mayores al obtenido en 65°C; por lo tanto, fue necesario estudiar minuciosamente el intervalo de 26 a 30 minutos y se procedió a optimizar el tiempo de pasteurización en las tres temperaturas señaladas como se indica más adelante.

#### 4.2.2.1.3 Análisis de la variable pH al final del proceso de pasteurización en la preselección de los tratamientos

Mediante la utilización del phmetro digital, se determinó el pH del producto terminado, para verificar la variación de la concentración de iones hidrogeno, esto permitió conocer la incidencia de la pasteurización en esta variable. Fue evaluada al final del proceso.

**Cuadro 59: Valores obtenidos del pH al finalizar el proceso de pasteurización**

Rep Trat	I	II	III	$\Sigma$ TRAT	MEDIA
T1 T1t1	4.5	4.5	4.5	13.5	4.50
T2 T1t2	4.5	4.5	4.5	13.5	4.50
T3 T1t3	4.5	4.5	4.5	13.5	4.50
T4 T1t4	4.5	4.6	4.5	16.6	4.53
T5 T1t5	4.5	4.7	4.9	14.1	4.80
T6 T1t6	4.9	4.8	4.7	14.4	4.80
T7 T1t7	5.2	4.9	5.0	15.1	5.03
T8 T2t1	4.5	4.5	4.5	13.5	4.50
T9 T2t2	4.5	4.6	4.5	13.6	4.53
T10 T2t3	4.6	4.6	4.5	13.7	4.57
T11 T2 t4	4.7	4.9	4.6	14.2	4.73
T12 T2t5	5.0	4.8	4.6	14.4	4.80
T13 T2t6	4.7	5.0	5.1	4.93	4.93
T14 T2t7	4.9	5.0	5.3	15.2	5.07
T15 T3t1	4.5	4.5	4.58	13.5	4.50
T16 T3t2	4.5	4.5	4.58	13.5	4.50
T17 T3t3	4.6	4.7	4.7	14.0	4.67
T18 T3t4	4.9	4.7	4.8	14.4	4.80
T19 T3t5	4.7	4.8	5.0	14.5	4.83
T20 T3t6	4.7	5.0	5.2	14.9	4.97
T21 T3t7	5.2	4.9	5.5	15.6	5.20
$\Sigma$ REP.	99.30	98.14	99.03	297.50	4.72

**Cuadro 60: ADEVA del pH al final del proceso de pasteurización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.01	0.05
<b>Total</b>	62	3.77				
<b>Tratamientos</b>	20	2.92	0.15	7.50**	2.35	1.83
<b>Factor T</b>	2	0.23	0.12	6.00**	5.16	3.22
<b>Factor t</b>	5	2.57	0.514	25.70**	3.27	2.33
<b>Interacción Txt</b>	10	0.12	0.01	0.6 <sup>NS</sup>	2.64	1.99
<b>E.Exp.</b>	42	0.85	0.02			

**CV = 3.0%**

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 60) señala alta significación estadística para los tratamientos y los factores, mientras que la interacción Txt (Temperatura, tiempo) no posee significación alguna, por lo cual se procedió a realizar las pruebas de significación correspondientes.

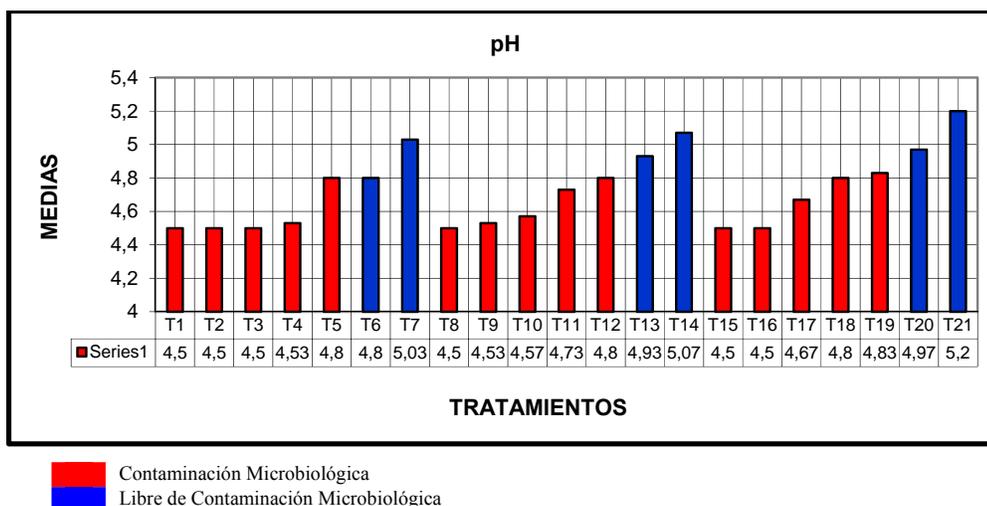
**Cuadro 61: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): pH al final del proceso de pasteurización.**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T21 T3t7	5.20	a
T14 T2t7	5.07	a
T7 T1t7	5.03	a
T20 T3t6	4.97	a
T13 T2t6	4.93	a
T19 T3t5	4.83	a
T6 T1t6	4.80	a
T18 T3t4	4.80	a
T12 T2t5	4.80	a
T11 T2 t4	4.73	b
T5 T1t5	4.70	b
T17 T3t3	4.67	b
T10 T2t3	4.57	b
T9 T2t2	4.53	b
T4 T1t4	4.53	b
T16 T3t2	4.50	b
T15 T3t1	4.50	b
T8 T2t1	4.50	b
T3 T1t3	4.50	b
T2 T1t2	4.50	b
T1 T1t1	4.50	b

Luego de realizar la prueba Tukey encontramos que los tratamientos: T20, T13 y T6, tienen los valores más bajos de pH en sus medias (4.97, 4.93 y 4.80) respectivamente, en relación a los tratamientos de rango “a” que no presentan contaminación, ya que los tratamientos T19, T18 y T12 del mismo rango “a”, conjuntamente con los tratamientos de rango “b”, a pesar de tener valores inferiores de pH en sus medias fueron excluidos por presentar contaminación microbiológica. Se puede observar además que los tratamientos T21 y T14 de rango “a” tienen valores más altos de pH, indicándonos que alteraron en mayor

grado el jugo; por lo tanto, los tratamientos T20, T13 y T6, son considerados los mejores. Para interpretar de mejor manera los resultados obtenidos de la variable se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 26: Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de pasteurización**



En el gráfico se representa a los tratamientos libres de contaminación microbiológica mediante las barras de color azul y las barras rojas representan los tratamientos que sufrieron contaminación y que fueron excluidos del análisis por esta condición. Tomando en consideración lo antes descrito puede apreciarse que los mejores tratamientos son: T6, T13 y T20, que tienen los valores más bajos de pH en sus medias con respecto a los tratamientos no contaminados.

Finalmente se puede observar que las medias más altas del pH se producen en los tratamientos T6, T7, T13, T14, T2 y T21, esto se debe al incremento en el tiempo de pasteurización que es directamente proporcional al pH. Mientras que, las medias más bajas de pH se producen a niveles de tiempo bajos; sin embargo, tiempos inferiores a 30 minutos no son suficientes para eliminar los microorganismos patógenos.

**Cuadro 62: Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	4.64	a
T2	4.73	a
T3	4.79	a

Al realizar la prueba DMS para el factor temperatura de pasteurización encontramos que los tres niveles presentan un mismo rango “a”, indicando que estadísticamente son iguales. De éstos la menor media corresponde al nivel T1 (65°C), el cual produce un pH de 4.64 en su media, este nivel de temperatura no modificó considerablemente el pH del jugo de caña purificado y evitó la contaminación con microorganismos patógenos.

Para proceder a la optimización se eligió las tres temperaturas para ser estudiadas minuciosamente y se modificó únicamente el factor tiempo conforme se indica más adelante.

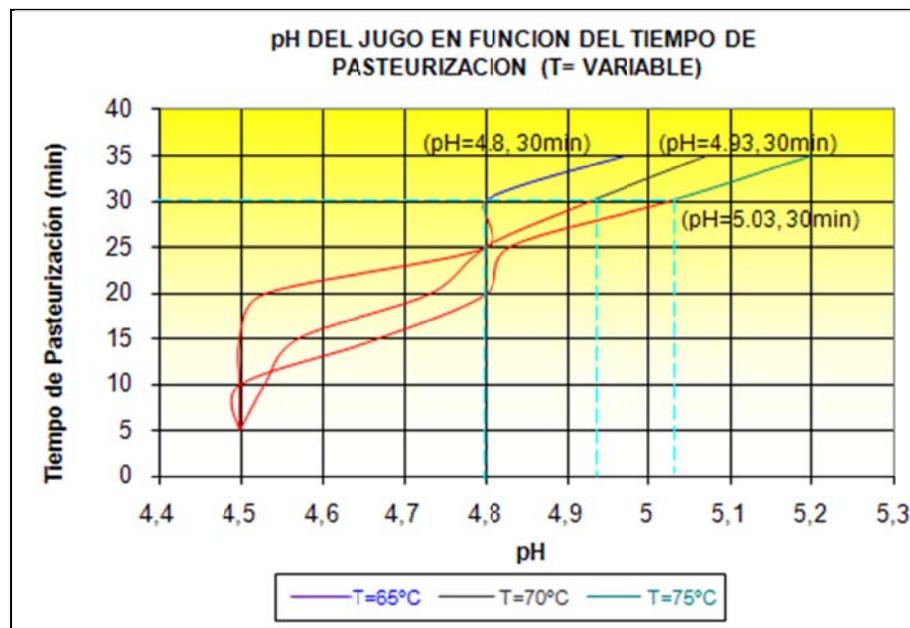
**Cuadro 63: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t7	5.08	a
t6	4.92	a
t5	4.78	b
t4	4.69	b
t3	4.58	b
t2	4.51	c
t1	4.50	c

Luego de realizar la prueba DMS para el factor tiempo, se encontró que el nivel t6 (30min.) es el mejor para estabilizar y evitar la variación excesiva de las

propiedades del jugo ya que los niveles t1 a t5 presentan medias inferiores pero son excluidos por contaminación microbiológica; es decir, estos niveles de tiempo no son eficientes para eliminar los microorganismos, mientras que el nivel t7 presenta una media superior a t6. Esto indica que alteró las características del jugo purificado en mayor grado que el nivel t6.

**Gráfico 27: Comportamiento del pH del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable**



- Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T4, T5, T8, T9, T10, T11, T12, T15, T16, T17, T18 y T19
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T6, T7
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T13 y T14
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T20 y T21

En el gráfico se puede apreciar que el efecto de la temperatura en función del tiempo de pasteurización es directamente proporcional al pH del jugo y los tres niveles de temperatura eliminan los microorganismos a tiempos superiores de 30 minutos, tal como indican los segmentos de color: azul, negro y verde que representan a los tratamientos libres de contaminación, a diferencia de los segmentos de color rojo de cada curva que indican contaminación.

Vale destacar que se logró eliminar los microorganismos del jugo en los tres niveles de temperaturas a un mismo nivel de tiempo (30 minutos), y el pH más bajo corresponde a 4.8 en 65°C, mientras que a 70°C y 75°C se alcanzan valores del pH superiores al obtenido en 65°C; esto se debe al incremento del tiempo de pasteurización. Por lo tanto, fue necesario estudiar minuciosamente el intervalo de 26 a 30 minutos y se procedió a optimizar el tiempo de pasteurización en las tres temperaturas señaladas conforme se indica a continuación.

#### **4.2.2.2 Optimización del proceso de pasteurización**

El informe del ensayo microbiológico practicado y el análisis estadístico de las variables evaluadas en la preselección de los tratamientos de pasteurización, determinó que los mejores tratamientos son: T6 (T=65°C y 30'), T13 (70°C y 30') y T20 (75°C y 30'), con los cuales se realizó la optimización del proceso de pasteurización.

El trabajo consistió en mantener constantes las temperaturas de pasteurización (65, 70 y 75) °C y reducir el tiempo de pasteurización para lograr valores de turbidez, pH y °Brix más bajos que los alcanzados en 30 minutos de pasteurización. Para efecto se procedió a reducir el nivel de 30 minutos hasta 26 minutos en intervalos de 1 minuto y se evaluó las siguientes variables: turbidez, pH y ° Brix, en el producto final.

##### **4.2.2.2.1 Análisis de la variable turbidez al final del proceso de optimización de la pasteurización**

La turbidez es la expresión de la propiedad óptica de la muestra, la cual causa que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de ser transmitidos en línea recta a través de la muestra. La turbiedad en un líquido puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia.

**Cuadro 64: Valores obtenidos de la turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

Rep Trat	Rep			ΣTRAT	MEDIA
	I	II	III		
T1 T1t1	236	235	147	718	239.33
T2 T1t2	248	240	242	727	242.33
T3 T1t3	241	249	243	733	244.33
T4 T1t4	244	245	253	742	247.33
T5 T1t5	245	244	250	743	247.66
T6 T2t1	248	244	255	747	249.00
T7 T2t2	250	253	250	753	251.33
T8 T2t3	255	252	261	768	256.00
T9 T2t4	253	254	269	776	258.66
T10 T2t5	251	254	271	777	259.00
T11 T3t1	250	245	258	753	251.00
T12 T3t2	257	250	265	772	257.33
T13 T3t3	268	259	254	781	260.33
T14 T3t4	257	284	267	808	269.33
T15 T3t5	270	264	291	825	275.00
ΣREP.	3773	3765	3877	11415	253.67

**Cuadro 65: ADEVA de la turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.01	0.05
Total	44	5974.00				
Tratamientos	14	4115.32	293.95	4.74**	2.75	2.04
Factor T	2	2545.60	1272.80	20.53**	5.39	3.32
Factor t	4	1267.11	316.78	5.11**	4.02	2.69
Interacción Txt	8	302.67	37.83	0.61 <sup>NS</sup>	3.17	2.27
E.Exp.	30	1858.67	61.96			

CV = 3.53 %

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 65) indica alta significación estadística para los tratamientos y los factores; por lo tanto, se procedió a realizar las correspondientes pruebas de significación, mientras que la interacción T<sub>x</sub>t (temperatura - tiempo) son no significativos, esto indica que estadísticamente son iguales.

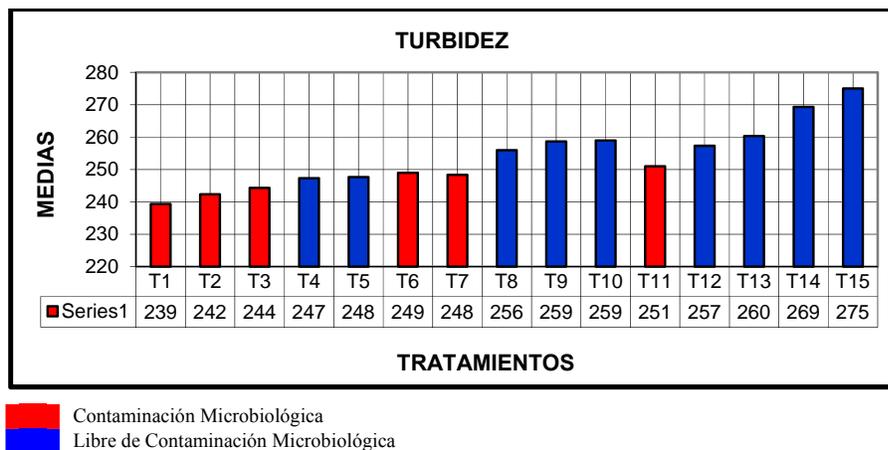
**Cuadro 66: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY al (5%): Turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T5 T1t5	247.66	a
T4 T1t4	247.33	a
T3 T1t3	244.33	a
T2 T1t2	242.33	a
T1 T1t1	239.33	a
T15 T3t5	275.00	b
T14 T3t4	269.33	b
T13 T3t3	260.33	b
T10 T2t5	259.00	b
T9 T2t4	258.66	b
T12 T3t2	257.33	b
T8 T2t3	256.00	b
T7 T2t2	251.33	b
T11 T3t1	251.00	b
T6 T2t1	249.00	b

Al realizar la prueba Tukey encontramos que los tratamientos T5 a T1 presentan un mismo rango “a”, lo que manifiesta que son estadísticamente iguales. De éstos, se distingue como mejor T4 (65°C y 29’), cuyo valor en su media es 247.33 (NTU), esto debido a la exclusión de los tratamientos precedentes a T4 por presentar contaminación microbiológica, mientras el T5 posee una media superior a T4.

De igual manera los tratamientos de rango “b”, a pesar de no estar contaminados presentan una mayor cantidad de impurezas consecuentemente tienen incrementos considerables en sus medias y se alejan del valor original de la turbidez del jugo purificado.

**Gráfico 28: Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**



Para una mejor interpretación del gráfico es necesario indicar que las barras de color rojo representan los tratamientos que sufrieron contaminación microbiológicamente y fueron excluidos del análisis por esta condición, mientras las barras azules constituyen los tratamientos libres de contaminación. Tomando en consideración lo antes descrito puede apreciarse que el tratamiento T4, tiene el valor más bajo de turbidez en su media con respecto a los tratamientos no contaminados por lo tanto este es el mejor.

Además puede apreciarse que los picos más altos de turbidez se generaron en los tratamientos T13, T14 y T15, cuyos niveles de tiempo de pasteurización son más altos, lo cual sugiere evitar la exposición del jugo a tiempos prolongados de pasteurización, para impedir cambios en esta variable.

**Cuadro 67: Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización), al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	244.20	a
T2	254.20	a
T3	262.60	b

Al realizar la prueba DMS para el factor temperatura de pasteurización encontramos que los niveles T1 y T2 presentan rango “a”, indicando que estadísticamente son iguales, de éstos se puede apreciar que la menor media corresponde a T1 (65°C) el cual posee una turbidez de 244.20 (NTU). Se deduce que a este nivel de temperatura no se altera considerablemente los sólidos solubles del jugo purificado y se evita la contaminación con microorganismos patógenos, por lo tanto, es el más adecuado.

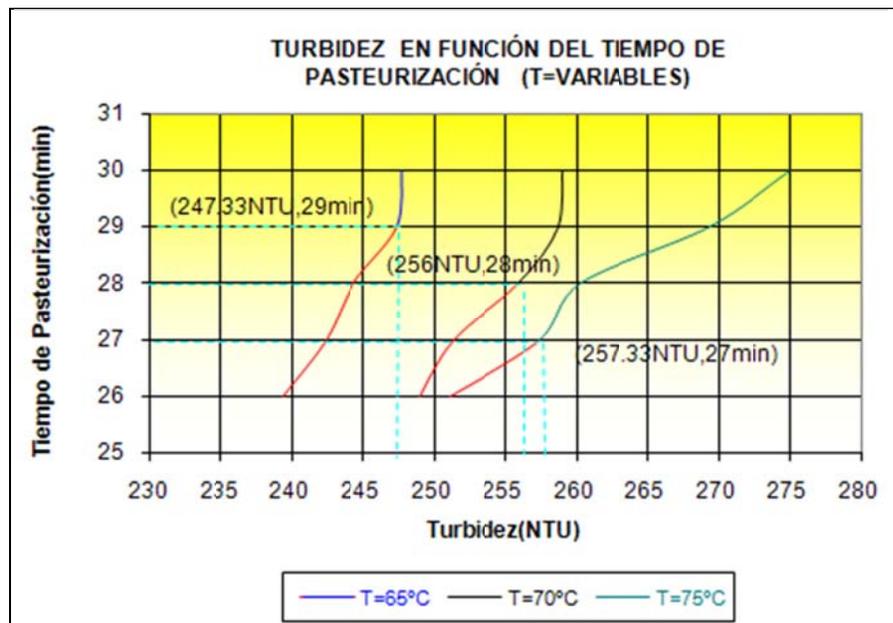
**Cuadro 68: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización), al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t5	260.44	a
t4	258.56	a
t3	253.56	a
t2	249.33	a
t1	246.44	b

Luego de realizar la prueba DMS para el factor tiempo, se encontró que el nivel t4 (29min) es adecuado para estabilizar y evitar la variación excesiva de las propiedades del jugo, ya que este tiempo es suficiente para eliminar los microorganismos a la temperatura más baja (65°C), mientras que niveles

inferiores de tiempo necesitan incremento de la temperatura para cumplir el propósito de pasteurizar, lo que implica según el análisis estadístico de la variable turbidez un aumento en la turbiedad, esto contrasta con el objetivo de la investigación. Finalmente; en cuanto al nivel t5, se puede observar que el valor de la turbidez en su media es más alto que t4. Por lo tanto inobjetablemente el nivel t4 es el mejor.

**Gráfico 29: Comportamiento de la turbidez del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable**



■ Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T6, T7 y T11  
■ Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T4, T5  
■ Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T8, T9 y T10  
■ Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T12, T13, T14 y T15

El gráfico indica que el efecto de la temperatura en función del tiempo de pasteurización es directamente proporcional a la turbidez del jugo, esto según especifican las tres curvas graficadas; por lo tanto, se interpreta que la temperatura de pasteurización incide en el aumento de la turbiedad, por lo que es necesario trabajar con los niveles de temperatura más bajos posibles, teniendo en

consideración que sean suficientes para cumplir con el objetivo de la pasteurización.

De acuerdo al recuento de mohos y levaduras practicado se determinó que las tres temperaturas estudiadas eliminan los microorganismos a tiempos superiores de 27, 28 y 29 minutos, tal como indican los segmentos de color: azul, negro y verde, que corresponden a 65°C, 70°C y 75°C de temperatura de pasteurización respectivamente, a diferencia de los segmentos de color rojo de cada curva que indican contaminación.

Se observa que los tres niveles de temperatura realizan una eficiente pasteurización del jugo a tiempos diferentes; de tal modo que, a temperatura de 65°C se necesitan 29 minutos, a T=70 °C se necesitan 28 minutos y a T=75 °C se necesitan 27 minutos para eliminar todo microorganismo patógeno del jugo de caña purificado, conforme al reporte microbiológico practicado.

Se puede observar que el menor valor de unidades nefelométricas es 247.33 en 65°C por 29 minutos, que corresponde al tratamiento T4. Esto significa que se optimizó el proceso de pasteurización en 1 minuto y la turbidez en 4.34 (NTU), en relación a los valores obtenidos de la preselección de los tratamientos en los cuales se logró una turbiedad de 251.67 (NTU) con un tiempo de pasteurización de 30 minutos y temperatura de 65°C.

#### **4.2.2.2 Análisis de la variable °Brix al final del proceso de optimización de la pasteurización**

Utilizando el refractómetro se determinó la variación de sólidos solubles presentes en el producto terminado, esta variable se evaluó al final del proceso de pasteurización.

**Cuadro 69: Valores obtenidos de los °Brix al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización**

Rep Trat		Rep			ΣTRAT	MEDIA
		I	II	III		
T1	T1t1	19.5	19.6	19.6	<b>58.7</b>	19.57
T2	T1t2	19.5	19.7	19.6	<b>58.8</b>	19.60
T3	T1t3	19.8	19.6	19.5	<b>58.9</b>	19.63
T4	T1t4	19.6	19.7	20.3	<b>59.7</b>	19.87
T5	T1t5	20.2	19.5	20.6	<b>60.3</b>	20.10
T6	T2t1	19.6	19.7	19.8	<b>59.1</b>	19.70
T7	T2t2	19.9	20.0	19.7	<b>59.6</b>	19.87
T8	T2t3	20.1	19.9	20.2	<b>60.2</b>	20.07
T9	T2t4	20.0	20.8	19.9	<b>60.7</b>	20.23
T10	T2t5	20.7	19.6	20.8	<b>61.1</b>	20.37
T11	T3t1	19.8	21.7	19.8	<b>61.3</b>	20.43
T12	T3t2	21.2	20.7	19.8	<b>61.7</b>	20.57
T13	T3t3	22.0	19.9	22.9	<b>64.80</b>	21.60
T14	T3t4	22.1	22.0	23.1	<b>67.20</b>	22.40
T15	T3t5	22.1	22.4	23.5	<b>68.00</b>	22.67
ΣREP.		306.1	304.8	309.1	<b>920.0</b>	<b>20.44</b>

**Cuadro 70: ADEVA del ° Brix al final del proceso de pasteurización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.05	0.01
<b>Total</b>	44	53.81				
<b>Tratamientos</b>	14	41.36	2.95	7.02**	2.04	2.75
<b>Factor T</b>	2	27.32	13.66	32.52**	3.32	5.39
<b>Factor t</b>	4	4.96	1.24	2.95*	2.69	4.02
<b>Interacción Txt</b>	8	9.08	1.14	2.71*	2.27	3.17
<b>E.Exp.</b>	30	12.45	0.42			

CV = 3.20 %

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 70) denota alta significación estadística para los tratamientos y el factor T (temperatura de pasteurización), mientras que el factor t(tiempo de pasteurización) y la interacción T<sub>x</sub>t es significativa únicamente; por lo tanto, se procedió a realizar las correspondientes pruebas de significación.

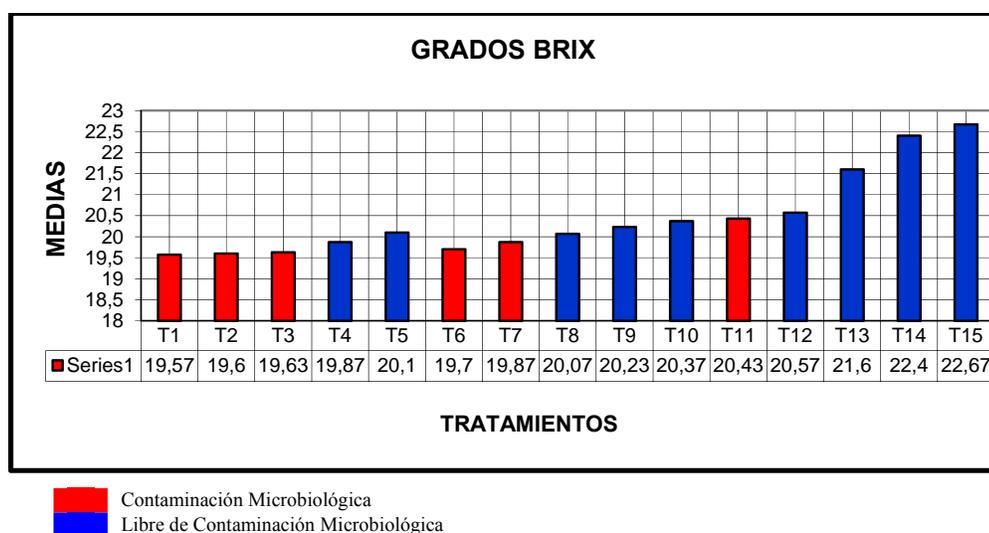
**Cuadro 71: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de optimización de la pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T15 T3t5	22.67	a
T14 T3t4	22.40	a
T13 T3t3	21.60	a
T12 T3t2	20.57	a
T11 T3t1	20.43	a
T10 T2t5	20.37	a
T9 T2t4	20.23	a
T8 T2t3	20.07	a
T5 T1t5	20.10	a
T7 T2t2	19.87	a
T4 T1t4	19.87	a
T6 T2t1	19.70	b
T3 T1t3	19.63	b
T2 T1t2	19.60	b
T1 T1t1	19.57	b

En el cuadro se observa que los tratamientos T15 a T4 pertenecen a un mismo rango “a”, lo que demuestra que son estadísticamente iguales; sin embargo, matemáticamente los tratamientos T7 y T4 tienen el menor valor en su media (19.87 °Brix); de estos, se asigna como mejor al tratamiento T4 (T= 65°C y t= 29min.), en razón que no reporta contaminación microbiológica como si lo obtiene el tratamiento; consecuentemente fue excluido.

Finalmente, se puede apreciar que los tratamientos T6, T3, T2 y T1 mantienen un rango homogéneo “b” y conservan valores más cercanos al °Brix original del jugo purificado. Sin embargo, todos estos tratamientos se encuentran contaminados según el informe de microbiología y de igual manera que el tratamiento T7 fueron descartados. Para interpretar de mejor manera los resultados se construye el siguiente gráfico.

**Gráfico 30: Comportamiento de las medias de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización**



Para interpretar el gráfico es necesario indicar que las barras de color rojo representan los tratamientos que sufrieron contaminación microbiológica y fueron excluidos del análisis por esta condición, mientras las barras azules constituyen los tratamientos libres de contaminación. Tomando en consideración lo antes descrito puede apreciarse que el tratamiento T4, tiene el valor más bajo en los °Brix, con respecto a los tratamientos no contaminados por lo tanto se lo consideró el mejor.

Por otra parte, los picos más altos del °Brix se generaron en los tratamientos T13, T14 y T15, cuyos niveles de tiempo de pasteurización son los más altos, lo cual sugiere evitar la exposición del jugo a tiempos prolongados de pasteurización, para impedir cambios en esta variable.

**Cuadro 72: Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización), al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	19.75	a
T2	20.05	b
T3	21.53	b

En este cuadro se puede observar que el nivel T1 (65°C) posee un rango “a” y un valor en su media de 19.75. A este nivel de temperatura se logra la estabilización, puesto que fueron eliminados todos los microorganismos patógenos, evitando alteración excesiva las propiedades del jugo purificado. Los niveles T2 (70°C) y T3 (75°C) presentan incremento en sus medias lo que indica que a éstas temperaturas el grado de desnaturalización del jugo es mayor. Por lo tanto, estos niveles son inadecuados.

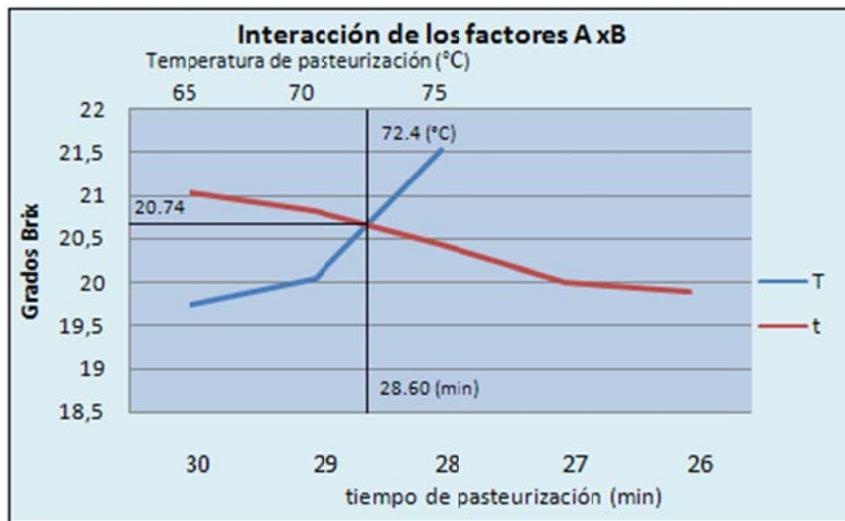
**Cuadro 73: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de Pasteurización) al finalizar la optimización del proceso de pasteurización**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t5	21.04	a
t4	20.83	a
t3	20.43	a
t2	20.01	a
t1	19.90	b

El cuadro indica la presencia de un rango “a” para los niveles t5, t4, t3 y t2, entendiéndose que estadísticamente son iguales, de estos se elige como mejor a t4 (29min.), ya que tiene en su media un valor inferior (20.83 °Brix), al que presenta el nivel t5 (21.04 ° Brix); además, no presenta contaminación microbiológica; es decir, éste nivel de tiempo fue suficiente para cumplir con el objetivo de la

pasteurización, no así los niveles t3 (28min.) y t2 (27min.) que conservaron de mejor manera los sólidos solubles pero no eliminaron los microorganismos y se produjo contaminación en el jugo.

**Gráfico 31: Efecto de la interacción del °Brix del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización**



El gráfico indica que la temperatura y tiempo de pasteurización son directamente proporcionales a los grados Brix del jugo de caña. Se observa que en el intervalo de temperatura de pasteurización [65; 72.4] °C, y el intervalo de tiempo [28.6; 26] minutos, los °Brix tienden a disminuir, manifestando que se evitaría cambios excesivos en los °Brix si el proceso se realiza con niveles de temperatura y tiempo de pasteurización inferiores al punto de la intersección.

Finalmente puede apreciarse que se obtiene un valor de 20.74 grados Brix, en la intersección de los factores en los puntos 72.4 °C y 28.60 (min.).

**Gráfico 32: Comportamiento del °Brix del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable**



- Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T6, T7 y T11
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T4, T5
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T8, T9 y T10
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T12, T13, T14 y T15

El gráfico indica que el efecto de la temperatura en función del tiempo de pasteurización es directamente proporcional a los °Brix del jugo, esto según especifican las tres curvas graficadas. De acuerdo al recuento de mohos y levaduras practicado, se determinó que los tres niveles de temperatura eliminan los microorganismos a niveles de tiempo superiores a 27, 28 y 29 minutos, tal como indican los segmentos de color: azul, negro y verde, que corresponden a 65°C, 70°C y 75°C de temperatura de pasteurización respectivamente. A diferencia de los segmentos de color rojo de cada curva que indican contaminación.

Se observa que los tres niveles de temperatura pasteurizan el jugo a tiempos diferentes, es decir a temperatura de 65°C se necesitan 29 minutos, a T=70°C se necesitan 28 minutos y a T=75 °C se necesitan 27 minutos para eliminar todo

microorganismo patógeno del jugo de caña purificado, conforme al reporte microbiológico practicado.

Finalmente se observa que el menor valor del °Brix es 19.87 y se lo obtiene a temperatura de 65°C por 29 minutos. Consecuentemente se optimizó el proceso de pasteurización en 1 minuto y el °Brix 0.23, en relación a los valores obtenidos de la preselección de los tratamientos en los cuales se logró un grado Brix de 20.10 con un tiempo de pasteurización de 30 minutos y temperatura de 65 °C.

#### 4.2.2.2.3 Análisis de la variable pH al final del proceso de optimización de la pasteurización

**Cuadro 74: Valores obtenidos del pH al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización**

Rep Trat	I	II	III	ΣTRAT	MEDIA
T1 T1t1	4.5	4.5	4.5	13.5	4.50
T2 T1t2	4.5	4.5	4.6	13.6	4.53
T3 T1t3	4.6	4.7	4.6	13.9	4.63
T4 T1t4	4.7	4.7	4.6	14.0	4.67
T5 T1t5	4.6	4.9	4.9	14.4	4.80
T6 T2t1	4.6	4.6	4.8	14.0	4.67
T7 T2t2	4.8	4.7	4.9	14.4	4.80
T8 T2t3	4.9	4.8	4.7	14.4	4.80
T9 T2t4	4.9	4.8	4.8	14.5	4.83
T10 T2t5	4.7	5.2	5.0	14.9	4.96
T11 T3t1	4.8	4.7	4.9	14.4	4.8
T12 T3t2	4.9	5.0	5.0	14.9	4.97
T13 T3t3	5.2	5.0	5.4	15.2	5.07
T14 T3t4	4.8	4.9	5.5	15.5	5.17
T15 T3t5	5.1	5.3	5.3	15.8	5.27
ΣREP.	71.60	72.30	73.50	217.40	4.83

**Cuadro 75: ADEVA del pH al final del proceso de pasteurización**

F. de V.	gl.	SC	CM	FC	0.01	0.05
<b>Total</b>	44	2.76				
<b>Tratamientos</b>	14	2.07	0.15	7.50**	2.75	2.04
<b>Factor T</b>	2	1.37	0.69	35.40**	5.39	3.32
<b>Factor t</b>	4	0.56	0.14	7.00**	4.02	2.69
<b>Interacción Txt</b>	8	0.14	0.02	1.00 <sup>NS</sup>	3.17	2.27
<b>E.Exp.</b>	30	0.69	0.02			

CV = 3.00 %

\*\* : Altamente significativo

\* : Significativo

NS: No significativo

El análisis de varianza (Cuadro 75) muestra alta significación estadística para los tratamientos y los factores por lo tanto se procedió a realizar las correspondientes pruebas de significación, mientras que la interacción de los factores no posee significación estadística alguna.

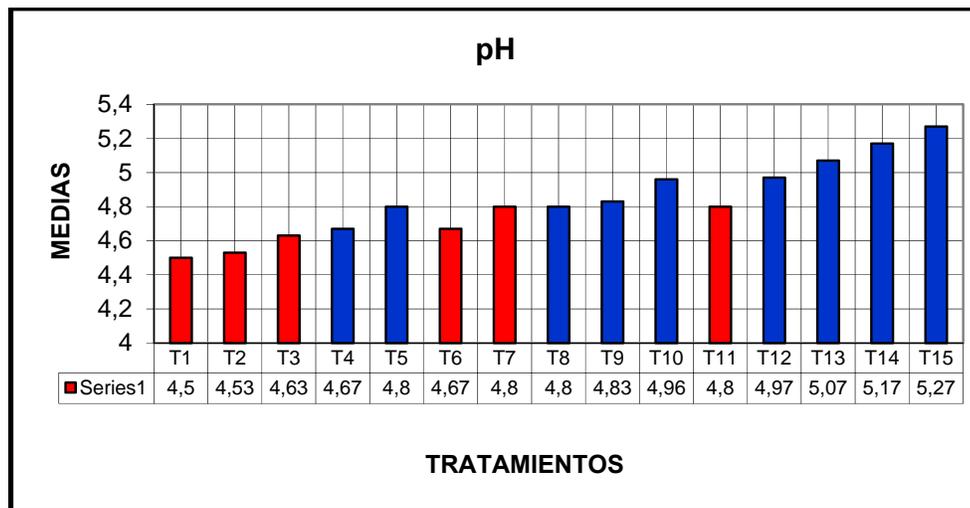
**Cuadro 76: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY al (5%): pH al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T1 T1t1	4.50	a
T2 T1t2	4.53	a
T3 T1t3	4.63	a
T4 T1t4	4.67	a
T6 T2t1	4.67	b
T5 T1t5	4.80	b
T7 T2t2	4.80	b
T8 T2t3	4.80	b
T11 T3t1	4.80	b
T9 T2t4	4.83	b
T10 T2t5	4.96	b
T12 T3t2	4.97	b
T13 T3t3	5.07	b
T14 T3t4	5.17	b
T15 T3t5	5.27	b

Los datos del cuadro muestran que los tratamientos T1, T2, T3 y T4, pertenecen a un mismo rango “a”, consecuentemente son estadísticamente iguales. De éstos se asigna como mejor tratamiento a T4 (T= 65°C y t= 29min.) que tiene un valor en su media de 4.67 y no reporta contaminación microbiológica alguna. Lo que no sucedió con T1, T2 y T3, que se contaminaron, entendiéndose que estos tratamientos no son eficientes; por lo tanto, fueron excluidos. De igual manera se observa que los tratamientos restantes que poseen rango “b” sufren un incremento en sus medias, alejándose del pH del jugo purificado; por esta razón el tratamiento T4 se ratifica como el mejor.

Cabe indicar que el cuadro fue organizado para interpretar convenientemente la información de la variable en función de los objetivos de la investigación, se puede acceder a la información que presenta el cuadro original en el anexo (9) de esta investigación.

**Gráfico 33: Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización**



■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica

En el gráfico se representa a los tratamientos libres de contaminación microbiológica mediante las barras de color azul y las barras rojas representan los tratamientos que sufrieron contaminación y que fueron excluidos del análisis por esta condición.

Tomando en consideración lo antes descrito con respecto a los tratamientos no contaminados, puede apreciarse que el mejor tratamiento es T4, que tiene un valor de 4.6. Además, puede observarse que los picos más altos del pH se producen en los tratamientos T10, T12, T13, T14 y T15, esto se debe al incremento en el tiempo de pasteurización que es directamente proporcional al pH.

Mientras que, las medias más bajas de pH se producen a niveles de tiempo bajos; sin embargo, a estos niveles no se logra pasteurizar el jugo y se presenta contaminación.

**Cuadro 77: Pruebas de significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización), al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	4.63	a
T2	4.81	b
T3	5.05	c

En este cuadro se puede observar que los niveles T1, T2 y T3 poseen rangos diferentes, esto indica que estadísticamente son disímiles.

Por lo tanto, el mejor nivel es T1 (65°C) ya que posee la menor media y evita una excesiva desnaturalización del jugo purificado.

**Cuadro 78: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización), al finalizar el proceso de optimización de la pasteurización**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t5	5.01	a
t4	4.89	a
t3	4.83	a
t2	4.77	a
t1	4.67	b

El cuadro indica la presencia de un rango “a”, para los niveles t5, t4, t3 y t2, lo que indica que estadísticamente son iguales. Se elige como mejor al nivel t4 (29min.), que tiene un valor de 4.89 en su media y permite pasteurizar el jugo a un nivel de temperatura de 65°C, contrario a los niveles t2 (27min.) y t3 (28min.) que fueron ineficientes y causa de ello, el jugo sufrió contaminación.

Por otra parte, el nivel t5 (30min) registra un valor de pH superior a t4, entendiéndose que provoca un mayor cambio en las propiedades del jugo. Por lo tanto, el nivel t4 es confiable para la pasteurizar el jugo de caña purificado.

**Gráfico 34: Comportamiento del pH del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable**



- Tratamientos que reportan contaminación microbiológica: T1, T2, T3, T6, T7 y T11
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T4, T5
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T8, T9 y T10
- Tratamientos libres de contaminación microbiológica: T12, T13, T14y T15

El gráfico indica que el efecto de la temperatura en función del tiempo de pasteurización es directamente proporcional a la turbidez del jugo, esto según especifican las curvas graficadas.

De acuerdo al recuento de mohos y levaduras practicado se determinó que los tres niveles de temperatura eliminan los microorganismos a niveles de tiempo superiores a 27, 28 y 29 minutos, tal como indican los segmentos de color: azul, negro y verde, que corresponden a 65°C, 70°C y 75°C de temperatura de pasteurización respectivamente, a diferencia de los segmentos de color rojo de cada curva que indican contaminación.

Se observa que los tres niveles de temperatura logran pasteurizar el jugo a diferentes niveles de tiempo, es decir a temperatura de 65°C se necesitan 29

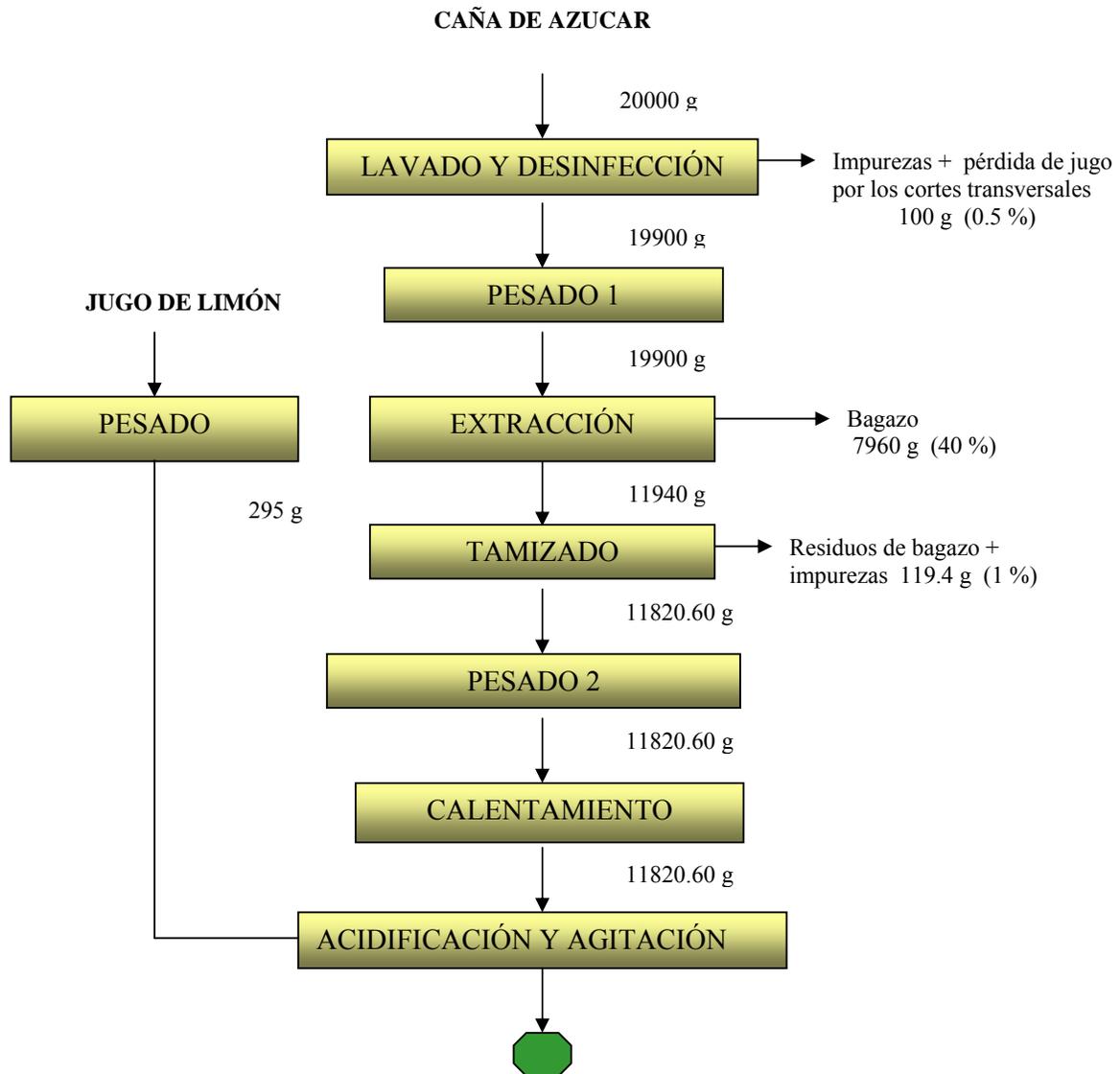
minutos para lograr eliminar los microorganismos, a  $T=70^{\circ}\text{C}$  se necesitan 28 minutos y a  $T=75^{\circ}\text{C}$  se necesitan 27 minutos, observando que el menor valor de pH se logra a temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$  por 29 minutos, que corresponde a un valor de 4.67.

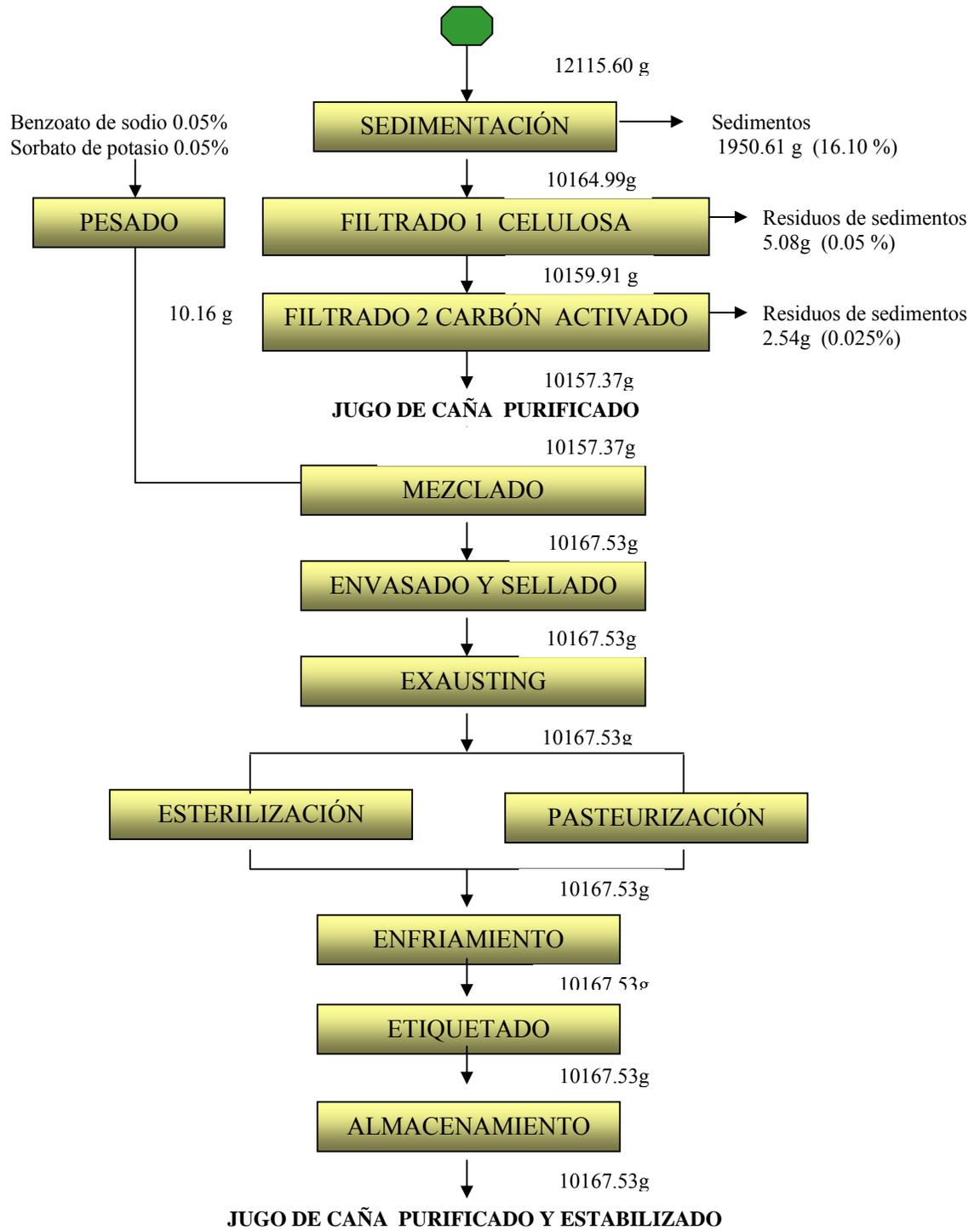
Finalmente, la optimización del proceso de pasteurización se logró en 1 minuto y el pH en 0.13, en relación a los valores obtenidos de la preselección de los tratamientos en los cuales se logró un pH de 4.80 con un tiempo de pasteurización de 30 minutos y temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$ ; consecuentemente se consideró que  $65^{\circ}\text{C}$  y 29 minutos son niveles confiables para pasteurizar el jugo de caña.

### 4.3 BALANCE DE MATERIALES

Con el objetivo de determinar las pérdidas durante el proceso y la cantidad de jugo purificado y estabilizado que se obtiene al final del mismo, fue importante realizar el balance de materiales. Esto permitió, determinar el rendimiento del proceso.

#### 4.3.1 Diagrama de bloques del proceso de purificación y estabilización del jugo de caña





**RENDIMIENTO:**

$$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

$$R = \frac{10167.53 \text{ g}}{20000.00 \text{ g}} \times 100$$

**R = 50.84%**

Del balance de materiales se deduce que, por cada 20000 g de jugo virgen de caña de azúcar se obtiene alrededor de 10167.53g de jugo purificado y estabilizado, equivalente a un porcentaje del 50.84 % de rendimiento.

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

Luego de haber realizado la investigación sobre Purificación y estabilización del jugo de caña de azúcar (*Saccharum Officinarum L*), se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En cuanto a la primera hipótesis “El pH del jugo de caña, la velocidad de agitación y el tiempo de agitación inciden en la calidad del jugo de caña de azúcar y la eficiencia del proceso de purificación”, se acepta la hipótesis planteada ya que el pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación si inciden en la purificación del jugo.
- Durante el proceso de la purificación del jugo de caña se determinó que el pH que debe tener el jugo es de 4.5, cabe mencionar que el jugo de caña virgen de pH 5.0 fue ajustado a 4.5 al mezclarlo con ácido cítrico aportado por el jugo de limón, con esto se logró extraer las impurezas como gomas y ceras principalmente, obteniendo una purificación eficiente del jugo; a pH superiores a 4.5 el producto se fermenta, consecuentemente, cambian sus propiedades, mientras que a pH inferior a 4 el jugo tiende a sufrir desnaturalización.
- Para lograr una mejor mezcla entre el jugo de caña y el jugo de limón, se determinó que la agitación se debe efectuar a una velocidad de 1500 rpm durante 2 minutos. De esta manera se logra extraer un 16.10 % de sedimentos. A menor velocidad de agitación y a niveles de tiempo

superiores a 2 minutos el grado de mezcla es menor y la sedimentación extraída decrece, debido a que el jugo tiende a homogenizarse y mantener los sedimentos en suspensión.

- Al evaluar la turbidez del jugo de caña purificado se observó que los valores mayores a 1000 NTU que tiene el jugo virgen de caña decrecen hasta un valor de 225 NTU en el mejor tratamiento evaluado, que corresponde a T3(pH = 4.5, v = 1500rpm. y t = 2min.), determinándose estos parámetros como los adecuados para el proceso de purificación. De igual forma en el mismo tratamiento (T3), los sólidos solubles y el porcentaje de sedimentos obtuvieron los mejores registros: 19.1 °Brix y 16.10%. Esto nos reveló, que el tratamiento evitó la desnaturalización de las propiedades del jugo de caña y mejoro la turbiedad del producto en mayor grado.
- En cuanto a la segunda hipótesis “El tiempo de esterilización a temperatura constante incide en la estabilización y calidad del producto final”, se acepta la hipótesis planteada ya que el tiempo de esterilización 15 minutos a 121° C, incide directamente en la pérdida de la viabilidad de toda forma de vida de microorganismos. Además, la turbidez, pH y °Brix del jugo son directamente proporcionales al tiempo de esterilización.
- En el método de esterilización se determinó que a temperatura constante de 121°C durante 15 minutos (tratamiento T11), es suficiente para eliminar toda forma de vida, incluidas las esporas. Esto implica pérdida de la viabilidad o eliminación de todos los microorganismos contenidos en el jugo, acondicionándolo de tal modo que impide su posterior contaminación. Se alcanzó los siguientes resultados en el producto final: pH= 4.66, °Brix=19.7 y turbidez=240.33 NTU.

- En cuanto a la tercera hipótesis “El tiempo de pasteurización a temperaturas variables inciden en la estabilización y calidad del producto final”, se acepta la hipótesis planteada ya que la temperatura y tiempo de pasteurización inciden directamente en la eliminación de microorganismos patógenos. Además, la turbidez, pH y °Brix del jugo son directamente proporcionales al tiempo y temperatura de pasteurización. Esto indicó que la exposición del jugo a tiempo prologado provocó alteración en las propiedades.
- En el método de pasteurización, se determinó que los tres niveles de temperatura 65, 70 y 75 °C logran pasteurizar el jugo a un mismo nivel de tiempo de 30 minutos. Esto permitió optimizar la pasteurización al disminuir el factor tiempo de 30min. hasta 26min. en intervalos de 1min. manteniendo las temperaturas estables. Dicha optimización arrojó como mejor tratamiento a T4( T=65°C y t=29 min.), en el cual encontramos como resultados finales los siguientes valores: pH= 4,67, °Brix= 19.87 y turbidez = 247.33 NTU; además, según el análisis practicado en el INIAP, se reporta que en 100 ml de muestra existe un nivel de proteína de 0.42 %, azúcares totales 27.04%, azúcares reductores 14.10%, análisis que permitieron identificar al producto como un edulcorante energético y aportador de minerales como el Ca, P, Mn, K, Na, Cu, Fe y Zn.
- Los informes microbiológicos practicados al mejor tratamiento tanto de pasteurización y esterilización T4 y T11 respectivamente, indican que no se encontró contaminación. Por lo tanto, se logró un producto inocuo y apto para el consumo humano. Valorando estos resultados se concluye que el mejor tratamiento se encuentra en el proceso de esterilización y corresponde al tratamiento T11, el cual tiene con respecto al mejor tratamiento de la pasteurización T4, la turbidez menor en 7 NTU, el °Brix inferior en 0.03, mientras que el pH se mantiene constante en los dos métodos de tratamiento térmico.

## 5.2 RECOMENDACIONES:

El desarrollo de la presente investigación, permite sugerir las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda realizar un estudio poscosecha de la caña de azúcar, para determinar el índice de madures, tipo de corte y procedimiento de preparación de esta materia prima, con el objeto de industrializarla como edulcorante natural, conservando considerables porcentajes de minerales y vitaminas propios del jugo, tomando en cuenta que los métodos tradicionales de cosecha conllevan un alto porcentaje de impurezas; por lo tanto, no son adecuados para este fin, ya que aumenta el costo del proceso de purificación y disminuye la calidad del producto final.
- Investigar el tipo de molino adecuado para extraer el jugo de caña, considerando: superficie de las masas (rugosa o lisa), número de masas y técnicas de extracción; ya que al hacer pasar la caña con toda cáscara por un molino con masas rugosas se obtiene un jugo oscuro, mientras que la caña previamente pelada proporciona un jugo más claro al hacerlo pasar únicamente por dos masas, aumentando la calidad del producto pero disminuyendo el rendimiento de la materia prima; mientras que las masas lisas, evitarían que la cascara se destroce en mayor grado permitiendo que el jugo recogido sea de menor turbiedad.
- Realizar una investigación en la cual se estandarice los parámetros de producción de jugo purificado y estabilizado, utilizando un intercambiador de calor de placas, con el objeto de minimizar los cambios físico-químicos del jugo al exponerlo a tratamientos térmicos más controlados que permitan un rápido enfriamiento del producto. Afianzando este estudio para llevarlo a una siguiente fase, la cual comprendería una planta piloto para la elaboración de este edulcorante que constituye una materia prima.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDREIEV y OTROS. (1980). Trituración, Desmenuzamiento y Cribado de minerales. Editorial MIR. Moscú.
- HUGOT E. (1974). Manual para Ingenieros Azucareros. Editorial CONTINENTAL S.A. México.
- METCALF y EDDY. (1991) Wastewater Engineering. Tercera edición. Los Ángeles-California.
- MOYA G. (2000) Manual para la Producción de Panela. CFN. Quito-Ecuador.
- \* ROSABAL V. y VALLE M. (1989) Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas. La Habana-Cuba.
- \* SÁNCHEZ ALMAZÁN (1985). Consultor. Física y Química. EDITORIAL NAUTA S.A. Barcelona-España.
- \* SÁNCHEZ TIBAIDE. (2004). Manual de Cultivos Tropicales. Primera edición. Editorial UCV. Maracay-Venezuela.

## **Bibliografía Electrónica**

[Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.cenicana.org/agroindustria/index.php> [Consulta: 2007, Febrero 5].

[Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.cenicaña.informe.anual.col> [Consulta: 2007, Febrero 21].

[Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.monografias.com/meste/meste.shtml> [Consulta: 2007, Marzo 2].

[Documento en línea]. Disponible:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Pasteurizaci%C3%B3n> [Consulta: 2007, Marzo 11].

[Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.alimentacion-sana.com.ar.htm> [Consulta: 2007, Marzo 18].

[Documento en línea]. Disponible:  
<http://www.infoagro.com/citricos/limon.htm> [Consulta: 2007, Marzo 24].

[Documento en línea]. Disponible:  
[http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ácido\\_cítrico](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Ácido_cítrico) [Consulta: 2007, Marzo 25].

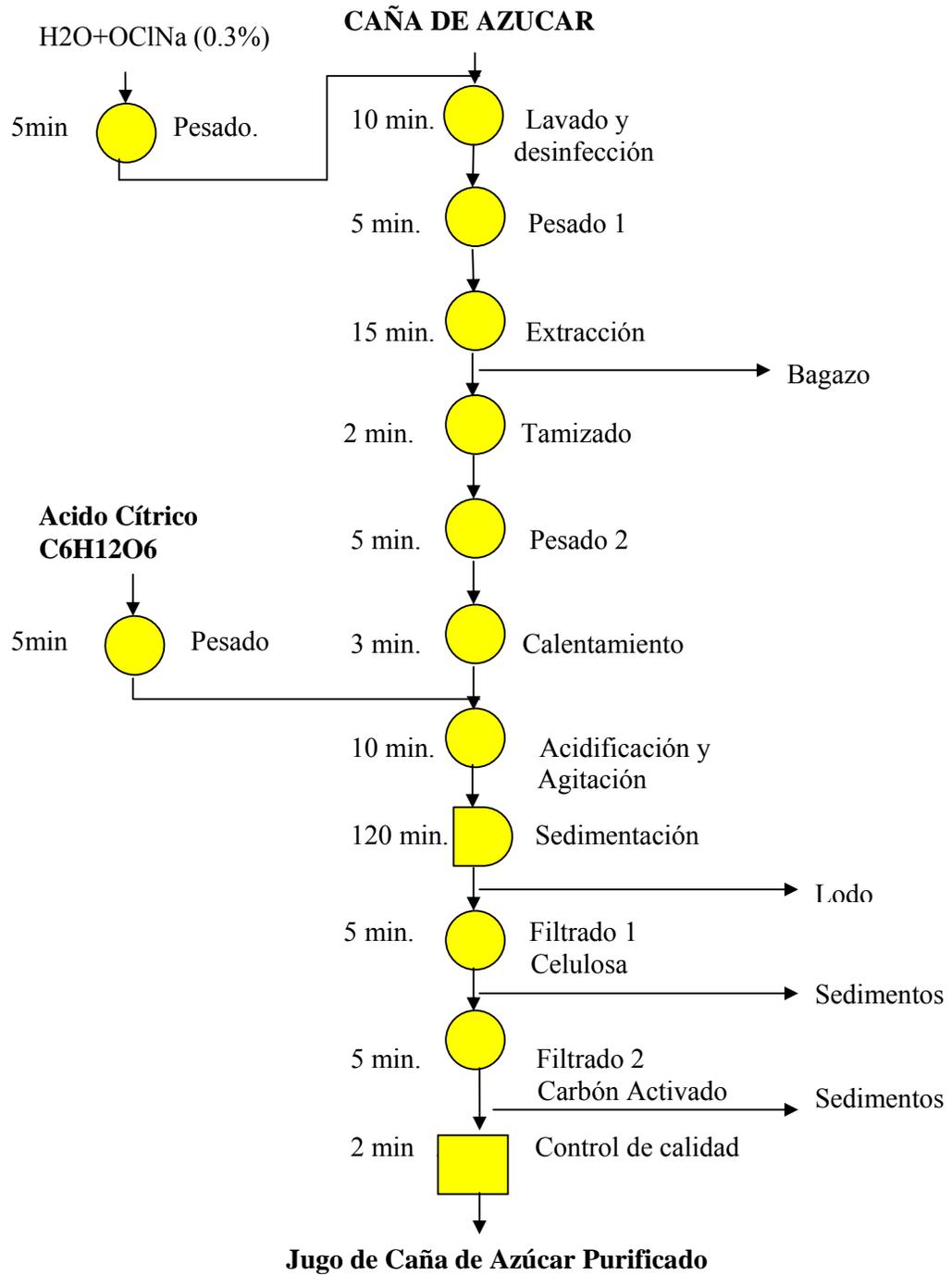
[Documento en línea]. Disponible:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Benzoato\\_s%C3%B3dico](http://es.wikipedia.org/wiki/Benzoato_s%C3%B3dico) [Consulta: 2007, Abril 4].

[Documento en línea]. Disponible:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Sorbato\\_de\\_potasio](http://es.wikipedia.org/wiki/Sorbato_de_potasio) [Consulta: 2007, Abril 12].

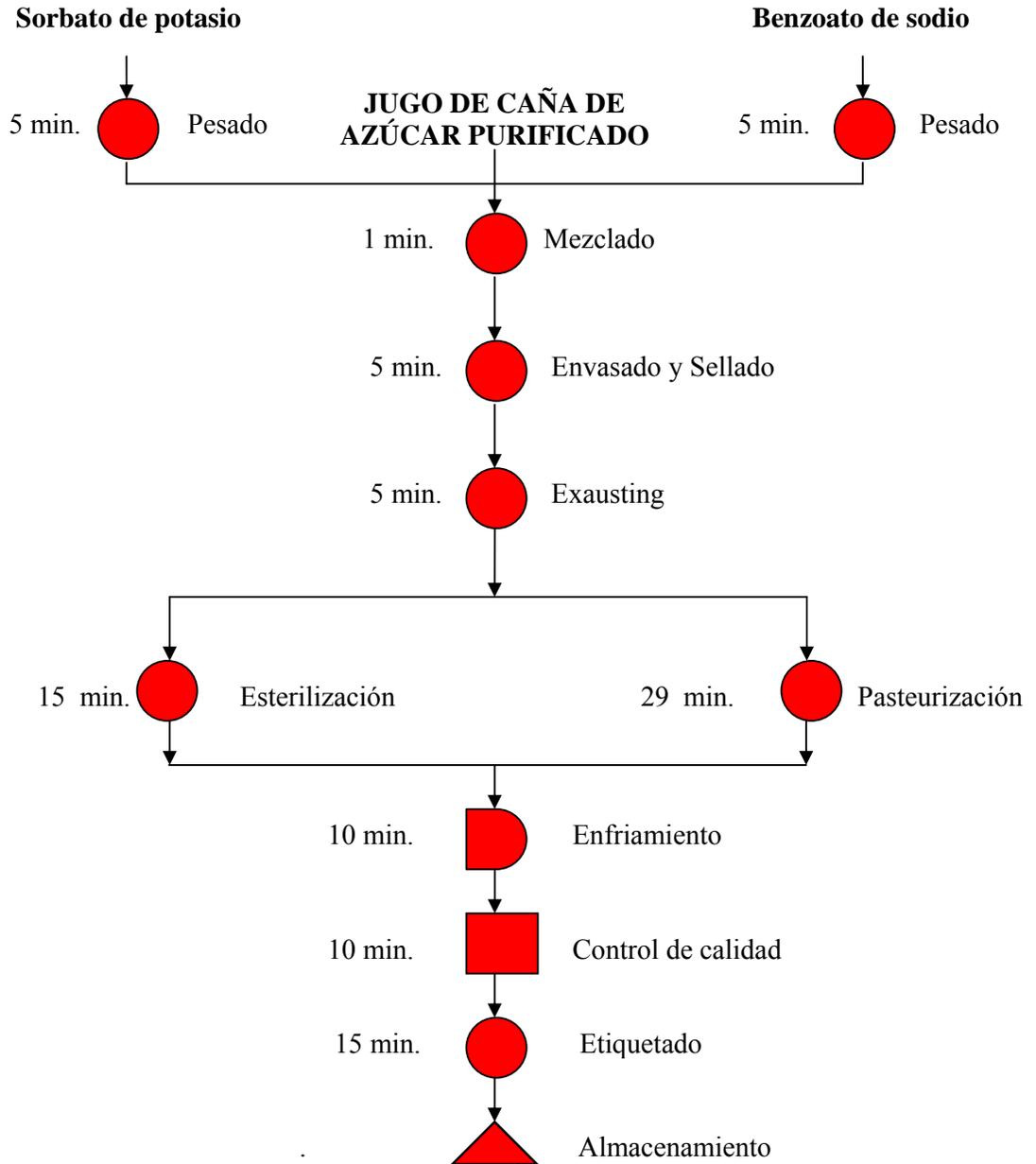
[Documento en línea]. Disponible:  
[http://es.filter-lab.membrana\\_celulosa/.nxb](http://es.filter-lab.membrana_celulosa/.nxb) [Consulta: 2007, Abril 24].

## ANEXOS

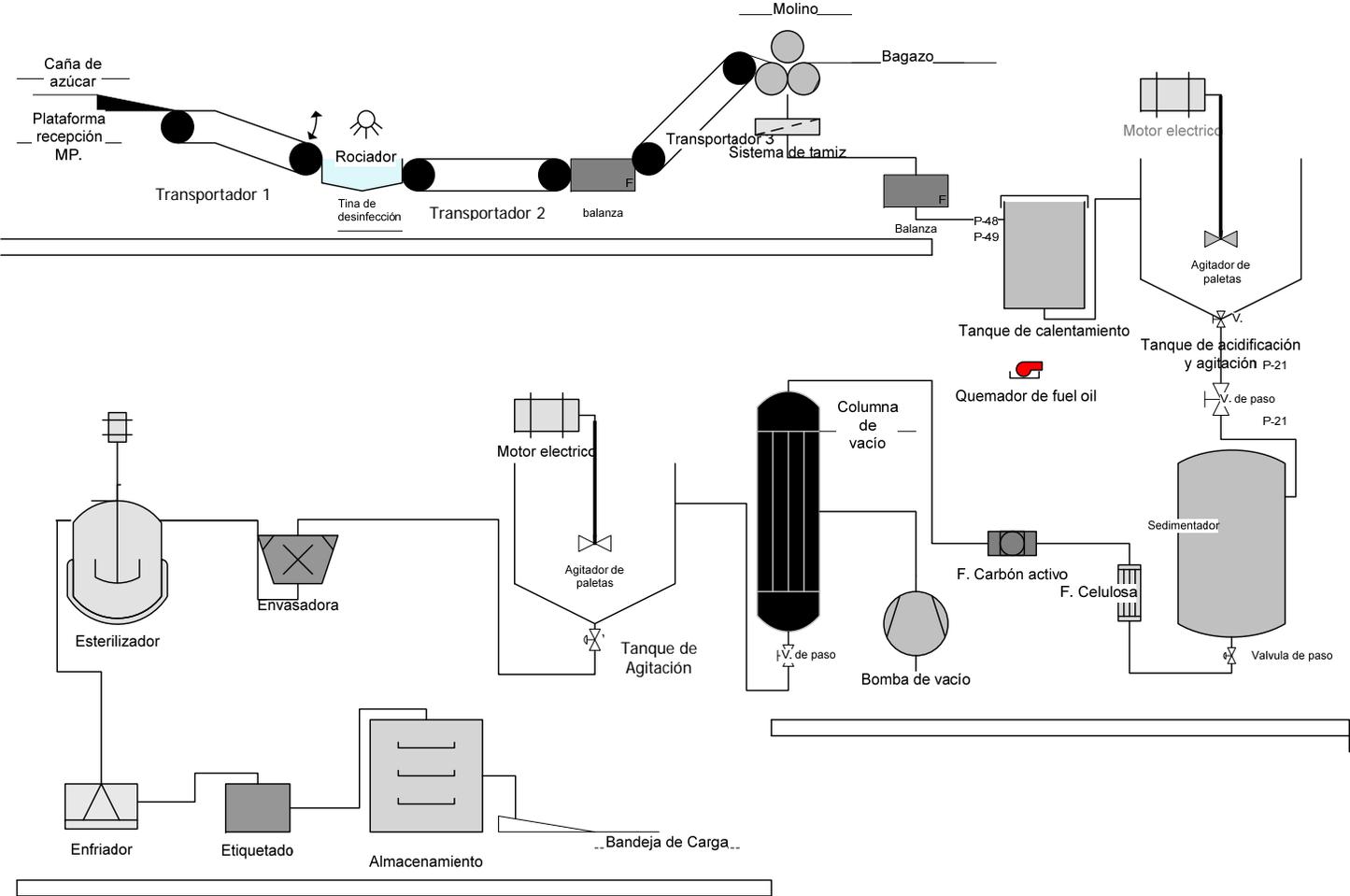
### Anexo 1: Diagrama de flujo para la purificación del jugo de caña de azúcar.



**Anexo 2: Diagrama de flujo para la estabilización del jugo de caña de azúcar**



**Anexo 3: Diagrama de proceso para la purificación y estabilización del jugo de caña de azúcar**



**Anexo 4:** Caracterización de la materia prima



**INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA**

**DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
INFORME DE ANÁLISIS**

Panamericana Sur Km 17  
Casilla Postal 17 - 01 -346  
Telf.: 2690691 Y 3007134  
Fax 3007134  
QUITO - ECUADOR

Santa Catalina, 8 de octubre del 2007

No. 276

Sr. Fernando Leiton  
Ibarra

**RESULTADOS EN BASE SECA**

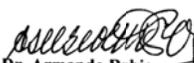
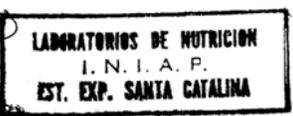
MUESTRA No.	HUMEDAD %	CENIZAS %	E.ETEREO %	PROTEINA %	FIBRA %	ELN %	IDENTIFICACIÓN			
76143	68,09	11,16	0,10	2,82	31,62	54,30	CAÑA DE AZÚCAR TIPO PIOJOTA ROJA (Shaccharum Offinarum)			
MUESTRA No.	Ca %	P ppm	Mg %	K %	Na %	Cu ppm	Fe ppm	Mn ppm	Zn ppm	
76143	0,03	39	0,03	0,14	0,01	3	16	1	5	
MUESTRA No.	AZÚCARES TOTALES %	AZÚCARES REDUCTORES %								
76143	39,19	5,97								

  
DR. ARMANDO RUBIO  
RESPONSABLE SERVICIO DE ANÁLISIS

**LABORATORIOS DE NUTRICION  
I. N. I. A. P.  
EST. EXP. SANTA CATALINA**

**Anexo 5:** Informe de resultados analíticos del producto final  
INIAP. Departamento de Nutrición y Calidad

**5.1 JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y ESTERILIZADO**

MC-LSAIA-2201	INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD</b> LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Telefax-3007134. Casilla Postal 17-01-340	 	
<b>INFORME DE ENSAYO N°: 139</b>			
<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b>	<b>Sr. Fernando Leiton</b>		
<b>INSTITUCIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN:</b>			
<b>ATENCIÓN:</b>	<b>SERVIENTREGA</b>		
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b>	<b>Mayo 21 del 2008</b>		
<b>FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN EL LAB.:</b>	<b>Mayo 8 del 2008 – 15h30</b>		
<b>FECHA DE ANÁLISIS:</b>	<b>Mayo 8 al 20 del 2008</b>		
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	<b>Jugo de caña-ET-11</b>		
<b>CODIGO DE LABORATORIO:</b>	<b>08-0447</b>		
<b>ANÁLISIS SOLICITADOS:</b>	<b>Proteína, Azúcares Totales y Reductores, Minerales</b>		
<b>RESULTADOS ANALÍTICOS:</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>METODO /NORMA</b>
PROTEÍNA	%	0.53	UNIV. FLORIDA-1970
AZÚCARES TOTALES	%	23.39	COLORIMÉTRICO
AZÚCARES REDUCTORES	%	10.28	COLORIMÉTRICO
CALCIO	mg/100ml	9.01	ABSORCIÓN ATÓMICA
FÓSFORO	mg/100ml	1.34	COLORIMETRÍA
MAGNESIO	mg/100ml	8.84	ABSORCIÓN ATÓMICA
POTASIO	mg/100ml	53.51	ABSORCIÓN ATÓMICA
SODIO	mg/100ml	7.62	ABSORCIÓN ATÓMICA
COBRE	ug/100ml	37	ABSORCIÓN ATÓMICA
HIERRO	ug/100ml	2086	ABSORCIÓN ATÓMICA
MANGANESO	ug/100ml	144	ABSORCIÓN ATÓMICA
ZINC	ug/100ml	539	ABSORCIÓN ATÓMICA
Los ensayos marcados con (*) se reportan en base seca.			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Muestra entregada por el cliente</li> </ul>			
<b>RESPONSABLES DEL INFORME</b>			
 Dr. Armando Rubio DIRECTOR DE CALIDAD		 Dr. Iván Samaniego DIRECTOR TÉCNICO	
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo			
Página 2 de 2			

## 5.2 JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y PASTEURIZADO

MC-LSAIA-2201

	INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA <b>DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD</b> LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Telefax-3007134. Casilla Postal 17-01-340	
---	---	---

**INFORME DE ENSAYO N°: 139**

**NOMBRE PETICIONARIO:** Sr. Fernando Leiton

**INSTITUCIÓN:**

**DIRECCIÓN:**

**ATENCIÓN:** SERVIENTREGA

**FECHA DE EMISION:** Mayo 21 del 2008

**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN EL LAB.:** Mayo 8 del 2008 – 15h30

**FECHA DE ANÁLISIS:** Mayo 8 al 20 del 2008

**TIPO DE MUESTRA:** Jugo de caña-PT-4

**CODIGO DE LABORATORIO:** 08-0446

**ANÁLISIS SOLICITADOS:** Proteína, Azúcares Totales y Reductores, Minerales

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

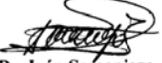
PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	METODO /NORMA
PROTEÍNA	%	0.42	UNIV. FLORIDA-1970
AZÚCARES TOTALES	%	27.04	COLORIMÉTRICO
AZÚCARES REDUCTORES	%	14.10	COLORIMÉTRICO
CALCIO	mg/100ml	8.04	ABSORCIÓN ATÓMICA
FÓSFORO	mg/100ml	1.85	COLORIMETRÍA
MAGNESIO	mg/100ml	8.40	ABSORCIÓN ATÓMICA
POTASIO	mg/100ml	51.21	ABSORCIÓN ATÓMICA
SODIO	mg/100ml	8.91	ABSORCIÓN ATÓMICA
COBRE	ug/100ml	38	ABSORCIÓN ATÓMICA
HIERRO	ug/100ml	2783	ABSORCIÓN ATÓMICA
MANGANESO	ug/100ml	131	ABSORCIÓN ATÓMICA
ZINC	ug/100ml	464	ABSORCIÓN ATÓMICA

Los ensayos marcados con (\*) se reportan en base seca.

**OBSERVACIONES:**

- Muestra entregada por el cliente

**RESPONSABLES DEL INFORME**

 Dr. Armando Rubio DIRECTOR DE CALIDAD	<div style="border: 2px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <b>LABORATORIOS DE NUTRICION</b>                      I. N. I. A. P.  <b>EST. EXP. SANTA CATALINA</b> </div>	 Dr. Iván Samaniego DIRECTOR TÉCNICO
---	---	---

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

Página 1 de 2

**Anexo 6:** Informes de Microbiología del producto final. CEBA

**6.1 JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y ESTERILIZADO**

**CEBA** \_\_\_\_\_

*Centro Ecuatoriano de Biotecnología Ambiental*

Informe de análisis microbiológico

Fecha emisión: 22-02-08

Identificación: JUGO DE CAÑA DE AZUCAR ESTERILIZADO Y ENVASADO

Análisis practicado: AEROBIOS TOTALES      Método: HOAC: 989.10

RESULTADOS:

MUESTRA	Tratamientos	RESULTADOS
1	T1t1	*
2	T1t2	*
3	T1t3	*
4	T1t4	*
5	T1t5	*
6	T1t6	*
7	T1t7	*
8	T1t8	*
9	T1t9	*
10	T1t10	*
11	T1t11	-
12	T1t12	-
13	T1t13	-
14	T1t14	-
15	T1t15	-
16	T1t16	-

Los ensayos marcados con (\*) reportan contaminación



Firma responsable



San Agustin, C.E. 094707813 pmsustal@yahoo.com www.cebaec.blogspot.com

Ibarra Ecuador

**6.2 JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y PASTEURIZADO  
(PRESELECCION DE TRATAMIENTOS)**

**CEBA** \_\_\_\_\_

*Centro Ecuatoriano de Biotecnología Ambiental*

**Informe de análisis microbiológico**

*Fecha emisión: 22 - 02 - 08*

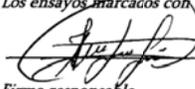
*Identificación: JUGO DE CAÑA DE AZUCAR PASTEURIZADO Y ENVASADO*

*Análisis practicado: MOHOS Y LEVADURAS      Método: NTE INEN 1529*

**RESULTADOS:**

MUESTRA	Tratamientos	RESULTADOS
1	T1t1	*
2	T1t2	*
3	T1t3	*
4	T1t4	*
5	T1t5	*
6	T1t6	-
7	T1t7	-
8	T2t1	*
9	T2t2	*
10	T2t3	*
11	T2 t4	*
12	T2t5	*
13	T2t6	-
14	T2t7	-
15	T3t1	*
16	T3t2	*
17	T3t3	*
18	T3t4	*
19	T3t5	*
20	T3t6	-
21	T3t7	-

*Los ensayos marcados con (\*) reportan contaminación*

  
Firma responsable



San Agustín. Cel: 095797813. pinsuasti@yahoo.com \* www.cebec.blogspot.com

Ibarrá - Ecuador

### 6.3 JUGO DE CAÑA PURIFICADO Y PASTEURIZADO (OPTIMIZACION)

CEBA \_\_\_\_\_

*Centro Ecuatoriano de Biotecnología Ambiental*

Informe de análisis microbiológico

Fecha emisión: 22 - 02 - 08

Identificación: JUGO DE CAÑA DE AZUCAR PASTEURIZADO Y ENVASADO

Análisis practicado: MOHOS Y LEVADURAS

Método: NTE INEN 1529

RESULTADOS:

MUESTRA	Tratamientos	RESULTADOS
1	T1 T1t1	*
2	T2 T1t2	*
3	T3 T1t3	*
4	T4 T1t4	-
5	T5 T1t5	-
6	T6 T2t1	*
7	T7 T2t2	*
8	T8 T2t3	-
9	T9 T2t4	-
10	T10 T2t5	-
11	T11 T3t1	*
12	T12 T3t2	-
13	T13 T3t3	-
14	T14 T3t4	-
15	T15 T3t5	-

Los ensayos marcados con (\*) reportan contaminación

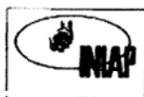
  
Firma responsable



San Agustín. Cel: 095797813. pinsuasti@yahoo.com / www.cebaec.blogspot.com

Ibarra - Ecuador

**Anexo 7:** Informe Microbiológico del Producto Final. INIAP



INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD  
INFORME DE ANÁLISIS

Panamericana Sur Km 17  
Calle Postal 17 - 01 340  
Tfn.: 2998891 Y 3807134  
Fax 3807134  
QUITO - ECUADOR

INFORME DE ENSAYO N°: 109

NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Fernando Leitón  
INSTITUCIÓN:  
DIRECCIÓN:  
ATENCIÓN: SERVIENTREGA  
  
FECHA DE EMISIÓN: Mayo 21 del 2008  
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN EL LAB: Mayo 8 del 2008 - 15h30  
FECHA DE ANÁLISIS: Mayo 8 al 20 del 2008  
TIPO DE MUESTRA: Jugo de caña pasteurizado codificación: PT-4  
Jugo de caña esterilizado codificación: ET-11  
CÓDIGO DE LABORATORIO: 08-0540  
ANÁLISIS SOLICITADOS: PT-4 Recuento mohos y levaduras  
ET-11 Recuento estandar en placa

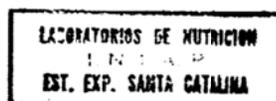
RESULTADOS. ET-11

PARAMETRO ANALIZADO	UNIDAD	RESULTADO	METODO/NORMA
RECUENTO TOTAL	UFC ml	0	NTE INEN 1529

RESULTADOS. PT-4

PARAMETRO ANALIZADO	UNIDAD	RESULTADO	METODO/NORMA
RECUENTO DE MOHOS	UPM ml	0	NTE INEN 1529
RECUENTO DE LEVADURAS	UPL ml	0	NTE INEN 1529

  
DR. ARMANDO RUBIO  
RESPONSABLE SERVICIO DE ANÁLISIS



## **Anexo 8: Procedimiento para determinar mohos y levaduras y aerobios totales**

### **Análisis Microbiológicos**

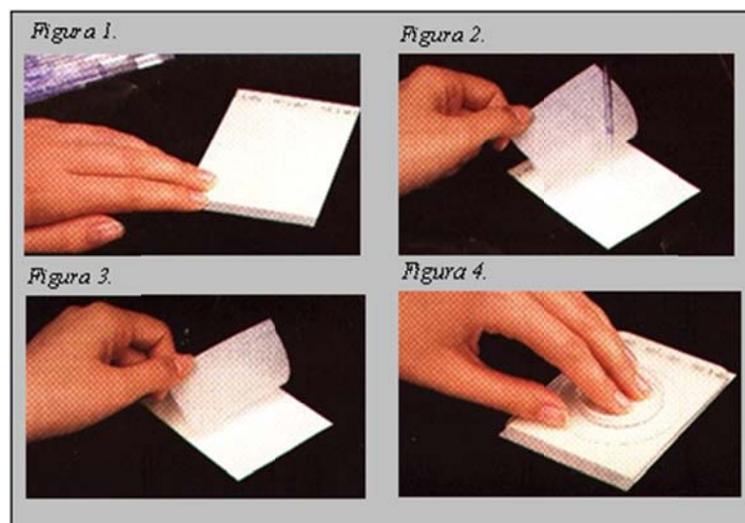
Se determinó según el método señalado en la norma NTE INEN 1529, con la finalidad de establecer la presencia de mohos, levaduras y aerobios totales a través del sistema petrifilm. Las placas son un medio listo para usar, contienen nutrientes suplementados con antibióticos, un agente gelificante soluble en agua fría, y un indicador para realzar la visualización del cultivo en la placa.

### **Procedimiento:**

1. Se esterilizó agua de peptona en el autoclave a 250°C y 15 PSI por un tiempo de 15min, la misma que se utilizó para la dilución de la muestra.
2. Se Colocó las placas Petrifilm sobre una superficie de trabajo totalmente plana, (Figura 1.)
3. Se levantó el film superior y depositó con cuidado 1ml de la muestra de cada tratamiento a controlar, en el centro del film inferior (Figura 2.)
4. Se recubrió delicadamente con el film superior, teniendo cuidado de no introducir burbujas de aire (Figura 3.)
5. Se levantó el difusor plástico por la manija circular. Se Colocó el centro del difusor en línea con el centro del film superior. Se distribuyó la muestra en forma pareja, ejerciendo una ligera presión sobre el difusor, (Figura 4.)
6. Evitando que se desborde la muestra fuera del límite circular, se quitó el difusor y se dejó reposar el film durante un minuto, para permitir la solidificación del gel.
7. Una parte de las muestras se incubó, a una temperatura de 39°C por un tiempo de 24h, con el fin de determinar la presencia de aerobios totales.

Mientras que la otra parte se colocó en un lugar oscuro a temperatura ambiente durante 3 días con la finalidad de determinar mohos y levaduras.

### **Gráfico: Análisis microbiológico**



**Anexo 9:** Cuadros originales del análisis estadístico

**FASE I PURIFICACIÓN DEL JUGO DE CAÑA**

- **Análisis de la variable turbidez**

**CUADRO 24: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): turbidez al final del proceso de purificación**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T3 p1v2t1	225.33	a
T7 p1v2 t2	310.00	a
T1 p1v1 t1	400.00	a
T4 p2v2 t1	520.00	b
T6 p2v1 t2	556.67	b
T2 p2v1 t1	653.33	b
T5 p1v1 t2	656.67	b
T8 p2v2 t2	846.67	c

**CUADRO 25: Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	398.00	a
p2	644.17	b

**CUADRO 26: Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	475.50	a
v1	566.67	b

**CUADRO 27: Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)**

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	449.67	a
t2	592.50	b

- Análisis de la variable °Brix

**CUADRO 36: Análisis de la variable °Brix al final del proceso de purificación**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T3 p1v2 t1	19.13	a
T1 p1v1 t1	19.47	a
T7 p1v2 t2	19.47	a
T4 p2v2 t1	20.60	a
T5 p1v1 t2	20.90	a
T8 p2v2 t2	21.73	b
T2 p2v1 t1	23.13	b
T6 p2v1 t2	23.80	b

**CUADRO 37: Pruebas de significación de DMS para el factor A (pH)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	19.74	a
p2	22.32	b

**CUADRO 38: Pruebas de significación de DMS para el factor B (velocidad de agitación)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	20.23	a
v1	21.82	b

**CUADRO 39: Pruebas de significación de DMS para el factor C (tiempo de agitación)**

<b>FACTOR C</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RANGO</b>
t1	20.58	a
t2	21.47	b

**FASE II ESTABILIZACIÓN POR TRATAMIENTO TERMICO**

**MÉTODO I: ESTERILIZACIÓN**

- **Análisis de la variable °Brix al final del proceso de esterilización.**

**CUADRO 42: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de esterilización**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RANGO</b>
T16 T1t16	22.23	a
T15 T1t15	21.70	a
T14 T1t14	21.50	a
T13 T1t13	20.80	a
T12 T1t12	20.53	a
T11 T1t11	19.70	b
T10 T1t10	19.63	b
T9 T1t9	19.60	b
T8 T1t8	19.60	b
T7 T1t7	19.53	b
T6 T1t6	19.40	b
T5 T1t5	19.33	b
T4 T1t4	19.23	b
T3 T1t3	19.17	b
T2 T1t2	19.13	b
T1 T1t1	19.10	b

- **Análisis de la variable turbidez al final del proceso de esterilización**

**CUADRO 45: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): turbidez al final del proceso de esterilización**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RANGO</b>
T16 T1t16	265.33	a
T15 T1t15	255.66	a
T14 T1t14	254.33	a
T13 T1t13	250.67	a
T12 T1t12	244.33	b
T11 T1t11	240.33	b
T10 T1t10	236.67	b
T9 T1t9	233.00	b
T8 T1t8	231.00	b
T7 T1t7	230.37	b
T6 T1t6	230.33	b
T5 T1t5	230.00	b
T4 T1t4	229.67	b
T3 T1t3	229.33	b
T2 T1t2	225.67	b
T1 T1t1	225.67	b

## MÉTODO II: PASTEURIZACIÓN

### PRESELECCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE PASTEURIZACIÓN

- Análisis de la variable turbidez al final del proceso de pasteurización

**CUADRO 51: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): turbidez al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T21 T3t7	321.33	a
T14 T2t7	276.33	b
T20 T3t6	271.00	b
T7 T1t7	259.33	b
T13 T2t6	258.67	b
T18 T3t4	251.67	c
T6 T1t6	251.67	c
T19 T3t5	249.00	c
T12 T2t5	248.67	c
T11 T2t4	241.66	c
T5 T1t5	240.00	c
T4 T1t4	230.66	c
T17 T3t3	230.00	c
T10 T2t3	229.00	d
T16 T3t2	228.00	d
T9 T2t2	228.66	d
T8 T2t1	228.66	d
T15 T3t1	228.00	d
T3 T1t3	227.33	d
T2 T1t2	227.33	d
T1 T1t1	227.33	d

**CUADRO 52: Pruebas de significación de DMS para el factor A(temperatura de pasteurización)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	237.67	a
T2	244.52	b
T3	254.52	b

**CUADRO 53: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
t7	285.67	a
t6	260.44	b
t5	245.89	c
t4	241.33	c
t3	228.78	d
t2	228.00	d
t1	228.00	d

- Análisis de la variable °Brix al final del proceso de pasteurización

**CUADRO 56: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °BRIX al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T21 T3t7	23.33	a
T14 T2t7	23.13	a
T20 T3t6	22.30	a
T7 T1t7	21.37	a
T13 T2t6	20.60	b
T19 T3t5	20.33	b
T6 T1t6	20.10	b
T12 T2t5	19.60	b
T18 T3t4	19.70	b
T5 T1t5	19.50	b
T17 T3t3	19.40	b
T4 T1t4	19.40	b
T11 T2t4	19.37	b
T10 T2t3	19.20	b
T9 T2t2	19.13	b
T16 T3t2	19.10	b
T15 T3t1	19.10	b
T3 T1t3	19.10	b
T2 T1t2	19.10	b
T1 T1t1	19.10	b
T8 T2t1	19.10	b

**CUADRO 57: Pruebas de significación de DMS para el factor A(temperatura de pasteurización)**

<b>FACTOR A</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RANGO</b>
T1	19.67	a
T2	20.04	a
T3	20.47	a

**CUADRO 58: Pruebas de significación de DMS para el factor B (tiempo de pasteurización)**

<b>FACTOR B</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RANGO</b>
t1	22.61	a
t2	21.00	a
t3	19.88	a
t4	19.49	a
t5	19.23	b
t6	19.11	c
t7	19.09	d

## OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

- Análisis de la variable turbidez al final del proceso de pasteurización

**CUADRO 66: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): Turbidez al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T15 T3t5	275.00	a
T14 T3t4	269.33	a
T13 T3t3	260.33	a
T10 T2t5	259.00	a
T9 T2t4	258.66	a
T12 T3t2	257.33	a
T8 T2t3	256.00	a
T7 T2t2	251.33	a
T11 T3t1	251.00	a
T6 T2t1	249.00	a
T5 T1t5	247.66	b
T4 T1t4	247.33	b
T3 T1t3	244.33	b
T2 T1t2	242.33	b
T1 T1t1	239.33	b

**CUADRO 67: Significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	244.20	a
T2	254.20	b
T3	262.60	b

- Análisis de la variable pH al final del proceso de pasteurización

**CUADRO 76: Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): pH al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGO
T15 T3t5	5.27	a
T14 T3t4	5.17	a
T13 T3t3	5.07	a
T12 T3t2	4.97	a
T10 T2t5	4.96	b
T9 T2t4	4.83	b
T11 T3t1	4.80	b
T8 T2t3	4.80	b
T7 T2t2	4.80	b
T5 T1t5	4.80	b
T6 T2t1	4.67	b
T4 T1t4	4.67	b
T3 T1t3	4.63	b
T2 T1t2	4.53	b
T1 T1t1	4.50	b

**CUADRO 77: Significación de DMS para el factor A (temperatura de pasteurización)**

FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	4.63	a
T2	4.81	b
T3	5.05	c

