



**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**  
FACULTAD DE INGENIERIA 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 PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

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

Ibarra - Ecuador

**2008**

# CAPITULO I

## GENERALIDADES



## INTRODUCCIÓN

La agroindustria contribuye en grado significativo al desarrollo económico de los pueblos, es el medio principal para transformar productos agrícolas en productos acabados de consumo

Los volúmenes de producción de caña de azúcar han tenido un comportamiento creciente, se observa un desarrollo sostenido tanto de la superficie de caña sembrada como del aprovechamiento industrial

La investigación se concentró en una agroindustria de tipo alimentario con un grado de procesamiento que no rebasara el tipo III, el cual implica alteración de la composición físico-química y organoléptica de las materias primas







**En nuestro país y el mundo, la demanda de edulcorantes naturales y sintéticos así como energéticos es elevada. Por lo tanto, la producción a gran escala de este tipo de productos, constituyen un desarrollo agroindustrial sostenido.**

**Los edulcorantes generalmente utilizados como materias primas en la industria de alimentos son sintéticos, se encuentra entre estos la sacarina, cicloamato, sacralosa, acesulfamo potásico y edulcorantes semisintéticos como el sorbitol o neosorb, maltitol, dextrosa monohidratada, maltodextrinas, entre otras.**

**Esta investigación, podría promover la industrialización, innovación y diversificación de productos obtenidos a partir de la caña de azúcar**

**Este proyecto podría aportar 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. Generándose fuentes de empleo y contribuyendo al desarrollo económico del País.**





# OBJETIVOS

## General.

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



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

FASE I. PURIFICACIÓN  
Mejor tratamiento



**FASE II. ESTABILIZACIÓN**

Método I. PASTEURIZACIÓN  
Tres mejores tratamientos

Método II. ESTERILIZACIÓN  
Mejor tratamiento



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN**

Mejor T. de pasteurización

Mejor T. de esterilización



*Tratamiento idóneo para purificar y estabilizar el jugo de caña de azúcar*



## Específicos.

Determinar parámetros (pH, velocidad de agitación y tiempo de agitación), en el proceso de purificación y cambios físicos (turbidez, grados 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.



# 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.





# CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

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



La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), 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.



## Composición química de la caña de azúcar

COMPONENTES	CANTIDAD %
Agua	74.50
<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>	
Silice (SiO <sub>2</sub> )	0.25
Potasa (KOH)	0.12
Soda (Na HOH)	0.01
Cal (CaO)	0.02
Magnesio (MgO)	0.01
Acido fosforito (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 (Asparagina)	0.07
Aminoácidos (Aspártico)	0.20
Acido Nítrico	0.01
<b>TOTAL COMPUESTOS NITROGENADOS</b>	<b>0.40</b>
<b>ACIDOS Y GRASAS:</b>	
Grasa y cera	0.20
Pectina y gomas	0.20
Acidos libres	0.08
Acidos combinados	0.12
<b>TOTAL ACIDOS Y GRASAS</b>	<b>0.60</b>





# ANÁLISIS DEL SECTOR CAÑICULTOR EN EL ECUADOR

## 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.



## 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.

**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.

## 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.





## PRINCIPALES INDICADORES DE LA CADENA PRODUCTIVA

### **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.

### **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.





## 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.



## PURIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN DEL JUGO DE CAÑA DE AZÚCAR

### Purificación

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, sabores y olores desagradables, así como varios productos de la fermentación.





## **Estabilización**

Acción de estabilizar, mediante la introducción de mecanismos que se añaden a un sistema que permitan al mismo, mantenerse sin peligro de cambiar, caer o desaparecer y recupere el equilibrio.

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

La estabilización del jugo de caña se define como la eliminación y destrucción total de microorganismos patógenos para la salud, mediante procesos físicos de transferencia de calor, esterilización y pasteurización .



## MÉTODOS DIRECTOS DE CONSERVACIÓN

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

### 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.





## **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.

## **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.



## PROCESOS Y OPERACIONES APLICADAS

### **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.

### **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 .





### **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.

### **Extracción o molienda**

La molienda constituye la primera operación del proceso de producción del jugo de caña de azúcar estabilizado. La extracción se la define como el jugo extraído que tiene la caña.



## **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.

## **Acidificación**

Proceso que permite la aglomeración de partículas desestabilizadas del jugo de caña en microfloculos y después en floculos más grandes, por efecto de la adición de el ácido cítrico proveniente del limón, dando como resultado su posterior sedimentación en el campo de la gravedad.





## **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.

## **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.



## **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.

## **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.





# **CAPITULO III**

**MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1 MATERIALES

#### 3.1.1 Materia Prima e Insumos

##### a. Materia Prima

Caña de azúcar

##### b. Insumos

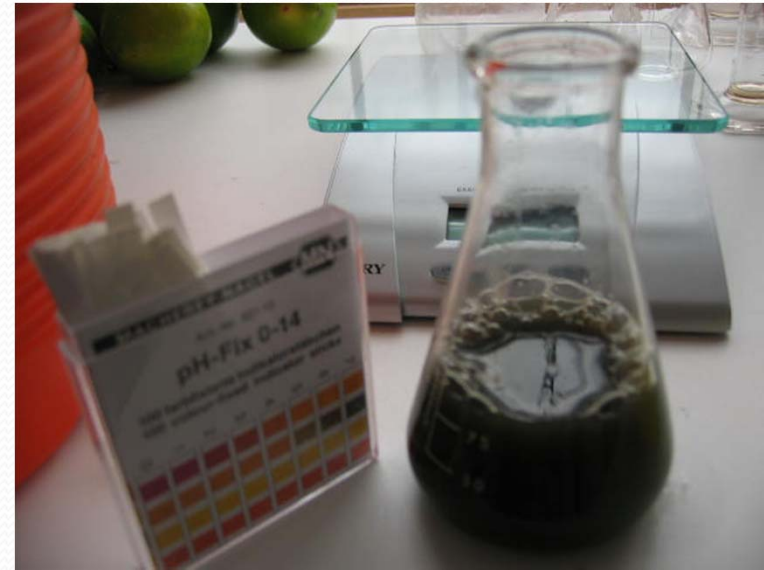
Limón

Carbón Activado

Celulosa

Conservantes

- . Benzoato de Sodio
- . Sorbato de Potasio
- . Hipoclorito de sodio





## Equipos y materiales de laboratorio

### 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

### Materiales

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



## MÉTODOS

### 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 de la hacienda de Getzemani ubicada en la parroquia de Lita.



### Datos Informativos del lugar

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

Departamento de meteorología del Ilustre Municipio de Ibarra.



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



## 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.

### 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>





## Combinación de los niveles de los factores del proceso de purificación



N°	Tratamientos
1	p1v1t1
2	p2v1t1
3	p1v2t1
4	p2v2t1
5	p1v1t2
6	p2v1t2
7	p1v2t2
8	p2v2t2

### Diseño experimental

Para el presente estudio se utilizo 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

F de V	Gl
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:

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

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

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



## Variables evaluadas

- . **Volumen de sedimentación**
- . **Turbidez**
- . **Grados Brix**



# Manejo específico del experimento





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

Recepción de la materia prima



Extracción o molienda.



Tamizado



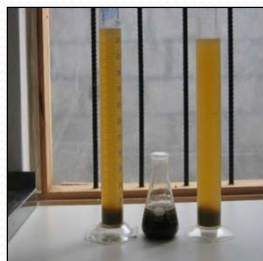
Acidificación



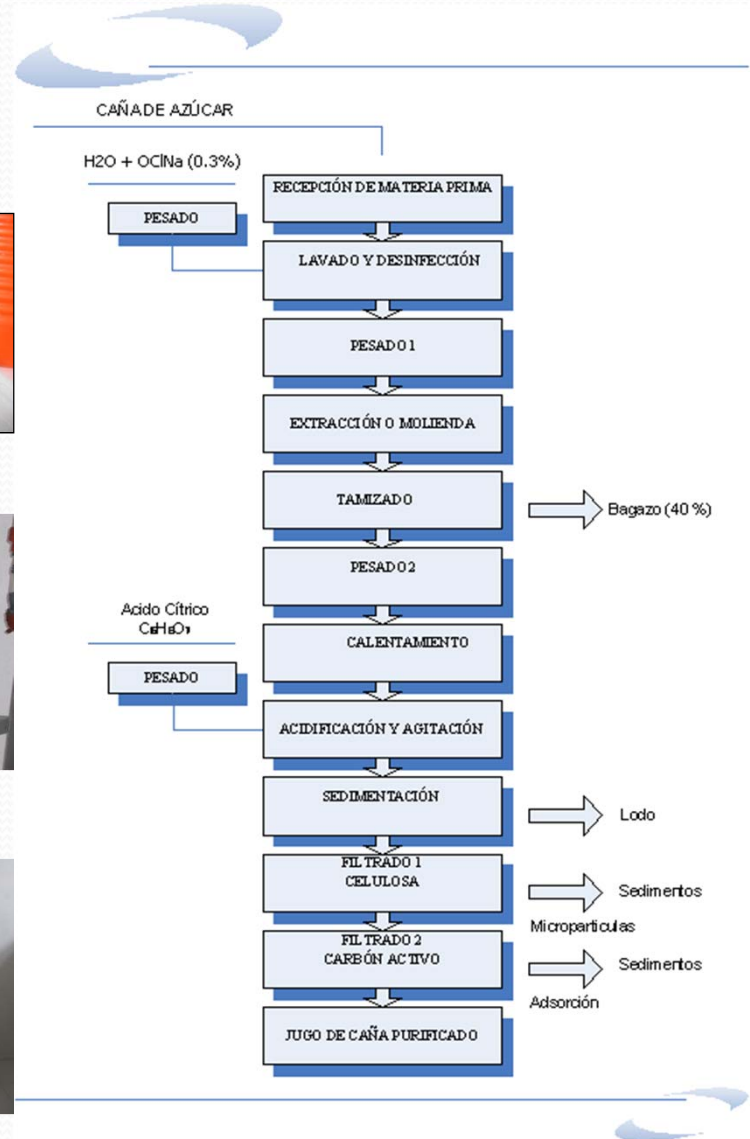
Agitación



Sedimentación



Filtrado



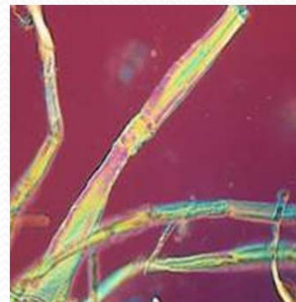
# Sistema de purificación



Filtro de celulosa



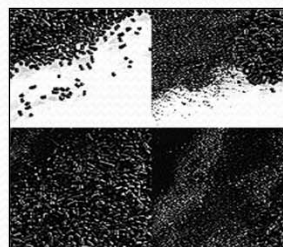
Celulosa (Polisacárido)



Filtro de carbón activo



Carbón activado granular (GAC)



Columna de vacío





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

Con el mejor tratamiento obtenido de la purificación, se desarrollo la Fase II, comprendida por la estabilización por tratamiento térmico.

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

## Método I: esterilización

### Factores en estudio

Esta fase se realizó en autoclave a 15 PSI de presión, 121 °C y se tomo en cuenta los siguientes factores: tiempo de esterilización a temperatura y presión constante.

### Factores en estudio para el proceso térmico de esterilización

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





## Combinación de los niveles de los factores

Nº	Tratamientos
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



## Diseño experimental

En la etapa de esterilización del jugo de caña purificado se utilizo 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

F de V	GI
Total	47
Tratamientos	15
Error experimental	32

### Análisis funcional

Para tratamientos: Tukey al 5 %. Se evaluó cada uno de los tratamientos.

### Variables a evaluarse

- Grados Brix
- pH
- Turbidez
- Azúcares reductores totales
- Pruebas microbiológicas



## 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 el informe de microbiología efectuado a todos los tratamientos.

Este método se realizó en autoclave, tomando en cuenta los siguientes factores que nos permitieron seleccionar los parámetros más adecuados para la pasteurización, dichos factores son: Temperatura y tiempo de pasteurización.





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

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

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

Nº	Tratamientos
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



## 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 de 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



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

### Análisis funcional

Para tratamientos: Tukey al 5 %. Se evaluó cada uno de los tratamientos.

Para factores: Se evaluó cada uno de los factores en estudio.

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

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

## Variables a evaluar

- . Grados Brix
- . pH
- . Turbidez

### 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.







## **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 el análisis de las variables cuantitativas turbidez, pH y ° Brix.

### **Factores en estudio para optimizar el método de pasteurización**

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

## Niveles de los factores en estudio en el proceso de optimización pasteurización

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

## Combinación de los niveles de los factores en estudio

MUESTRA	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 de 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.

F de V	GI
Total	44
Tratamientos	14
Factor A	2
Factor B	4
Interacción AxB	8
Error experimental	30

### Análisis funcional

Para tratamientos: Tukey al 5 %. Se evaluó cada uno de los tratamientos.

Para factores: Se evaluó cada uno de los factores en estudio.

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

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



## Variables evaluadas

- . Grados Brix:
- . pH
- . Turbidez
- . Azúcares reductores totales
- . Pruebas microbiológicas
  - . mohos y levaduras
  - . aerobios totales





## **Manejo específico del experimento**

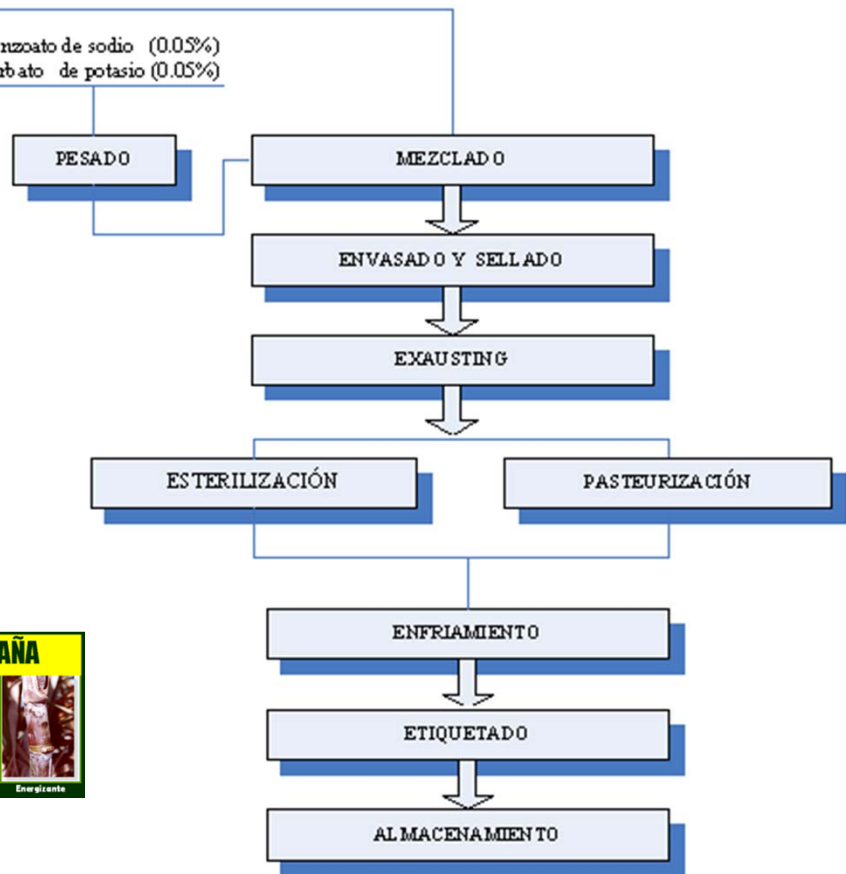


# Diagrama de bloques para la estabilización del jugo de caña de azúcar



JUGO DE CAÑA DE AZUCAR PURIFICADO

Benzoato de sodio (0.05%)  
Sorbato de potasio (0.05%)



# CAPITULO IV

## RESULTADOS Y DISCUSIONES





# **ANÁLISIS ESTADÍSTICO FASE I**

## **Purificación del jugo de caña**

Se realizó el análisis estadístico con la finalidad de establecer parámetros óptimos para el proceso de purificación del jugo de caña de azúcar y comprobar la hipótesis planteada.

# Análisis de la variable turbidez

## 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 pxtxv	1	132908.15	132908.15	10.58**	4.49	8.53
E.Exp.	16	20107.33	1256.71			

C.V = 6.8%

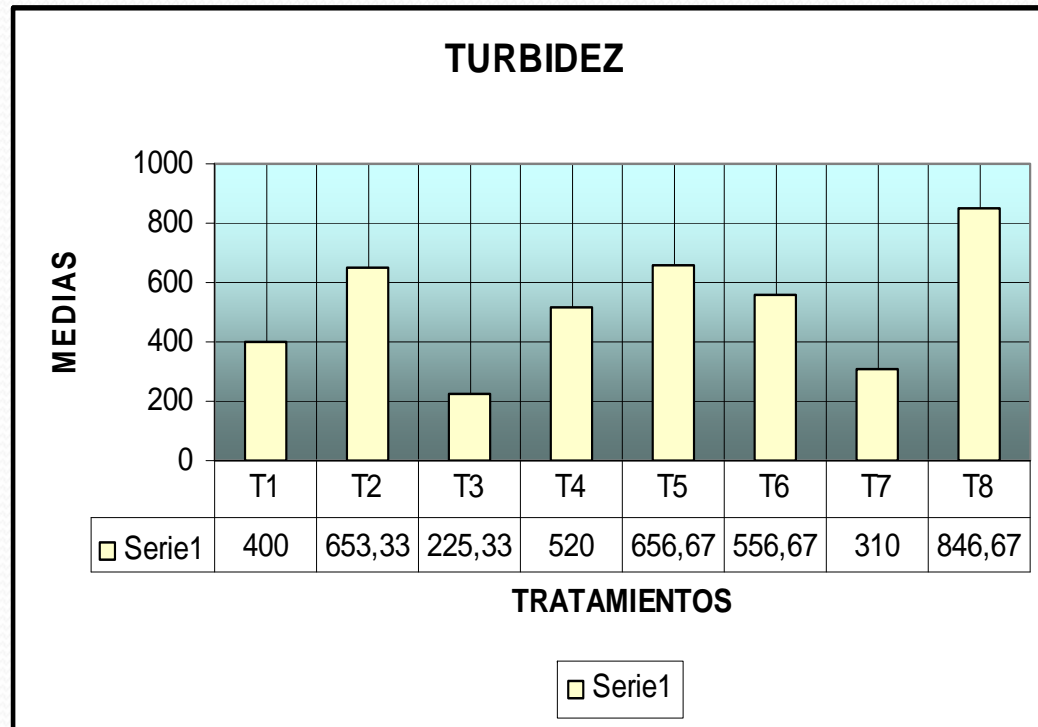


## Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): turbidez al final del proceso de purificación



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

## Comportamiento de las medias para la turbidez al finalizar el proceso de purificación







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

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	398.00	a
p2	644.17	b

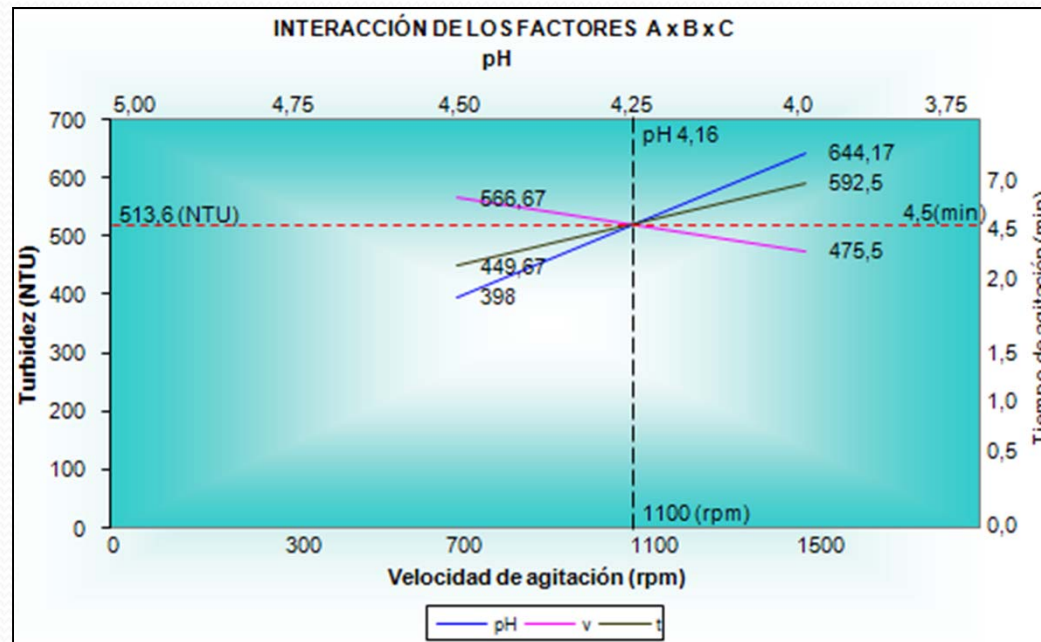
**Pruebas de significación de DMS  
para el factor B (velocidad de agitación)**

FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	475.50	a
v1	566.67	b

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

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	449.67	a
t2	592.50	b

## Efecto de la interacción de la turbidez (NTU) entre el pH, velocidad y tiempo de agitación



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

Al disminuir la velocidad en el intervalo [1100; 1500[ rpm. Se incrementa la turbidez



# Análisis de la variable porcentaje de sedimentación

## ADEVA de la variable porcentaje de sedimentación



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

**CV = 3.63%**

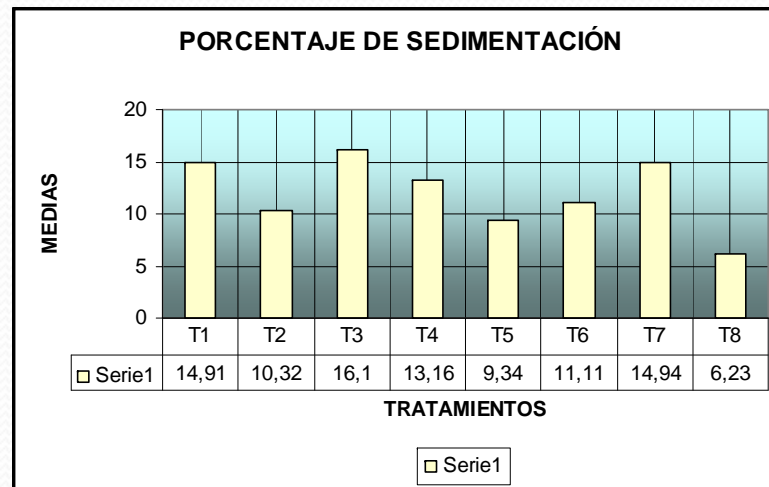
**Pruebas de significación para tratamientos mediante  
TUCKEY (5%): porcentaje de sedimentación**



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



## Comportamiento de las medias para el porcentaje de sedimentación al finalizar el proceso de purificación





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

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	13.82	a
p2	10.21	b

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

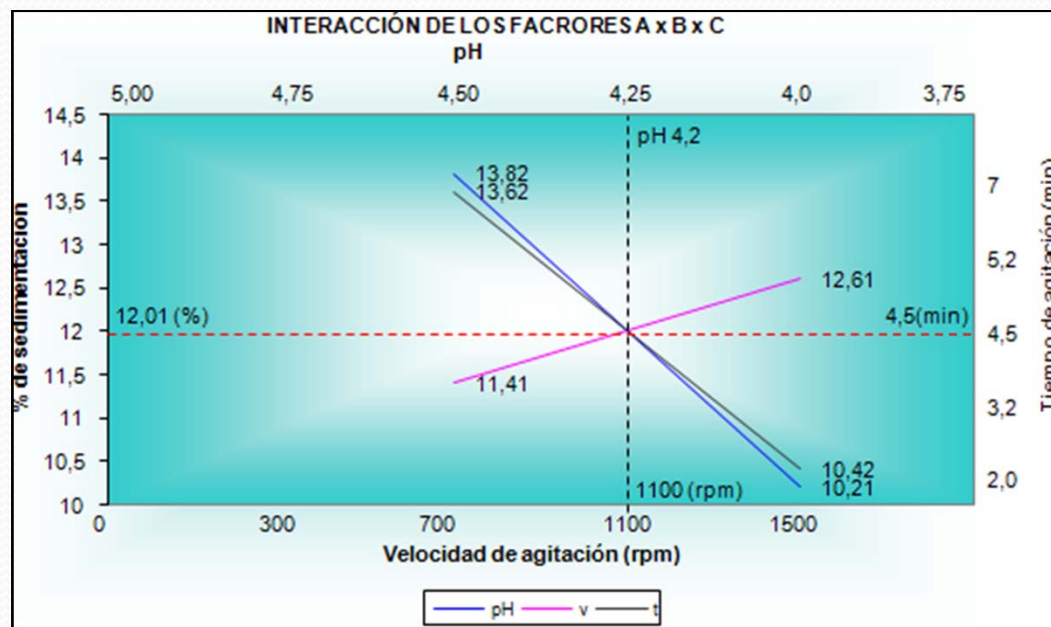
FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	12.61	a
v1	11.41	b

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

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	13.62	a
t2	10.42	b



## Efecto de la interacción del porcentaje de sedimentación entre el pH, velocidad y tiempo de agitación



En el intervalo de tiempo de agitación [2; 4,5] minutos, y el intervalo de pH [4,2; 4,5[, el porcentaje de sedimentación tiende a subir,

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

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

### 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 pxv	1	3.004	3.004	5.902*	4.49	8.53
Interacción txv	1	0.150	0.150	0.295 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
Interacción ptxv	1	0.923	0.923	1.813 <sup>NS</sup>	4.49	8.53
E.Exp.	16	8.147	0.509			

CV = 3.40%



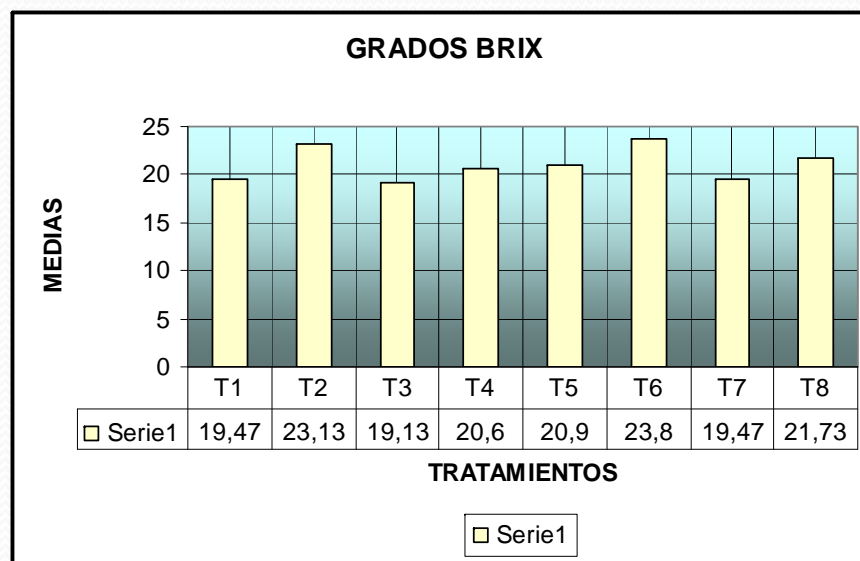




## Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de purificación

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

## Comportamiento de las medias para los °Brix al finalizar el proceso de purificación





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

FACTOR A	MEDIA	RANGO
p1	19.74	a
p2	22.32	b

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

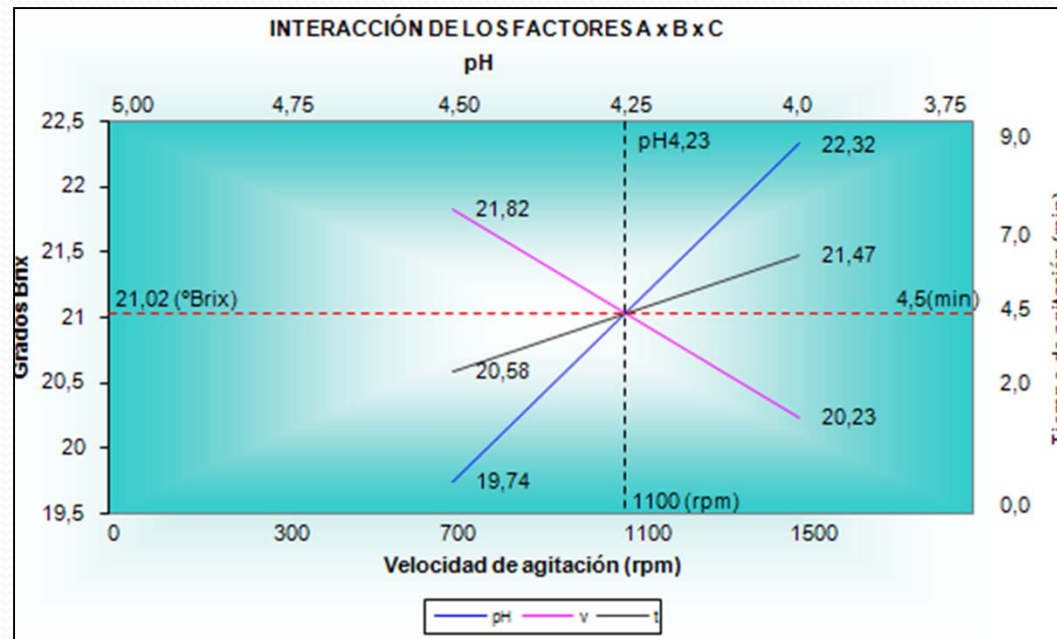
FACTOR B	MEDIA	RANGO
v2	20.23	a
v1	21.82	b

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

FACTOR C	MEDIA	RANGO
t1	20.58	a
t2	21.47	b



## Efecto de la interacción del °Brix entre el pH y la velocidad de agitación



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.

La velocidad de agitación, indica disminución de los °Brix al aumentar la velocidad en el intervalo [1100; 1500[ rpm.



# 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.





## Método I: Esterilización

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

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

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

CV = 3.24 %



# Método I: Esterilización



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

ADEVA de la variable ° Brix al final del proceso de esterilización

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

CV = 3.24 %

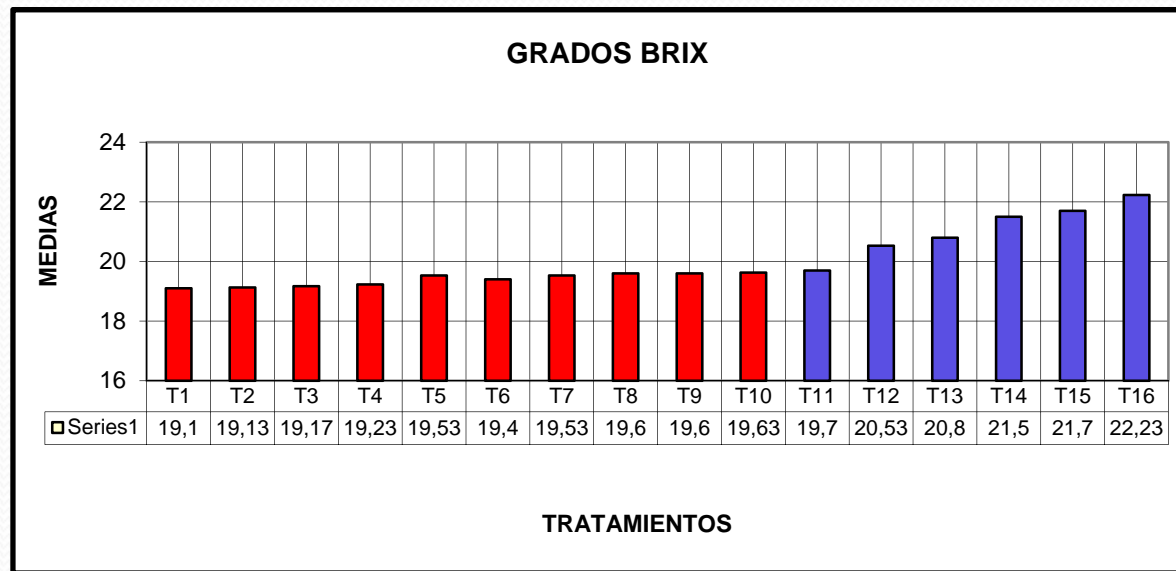
**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de esterilización**



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
T6 T1t6	19.40	a
T5 T1t5	19.33	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

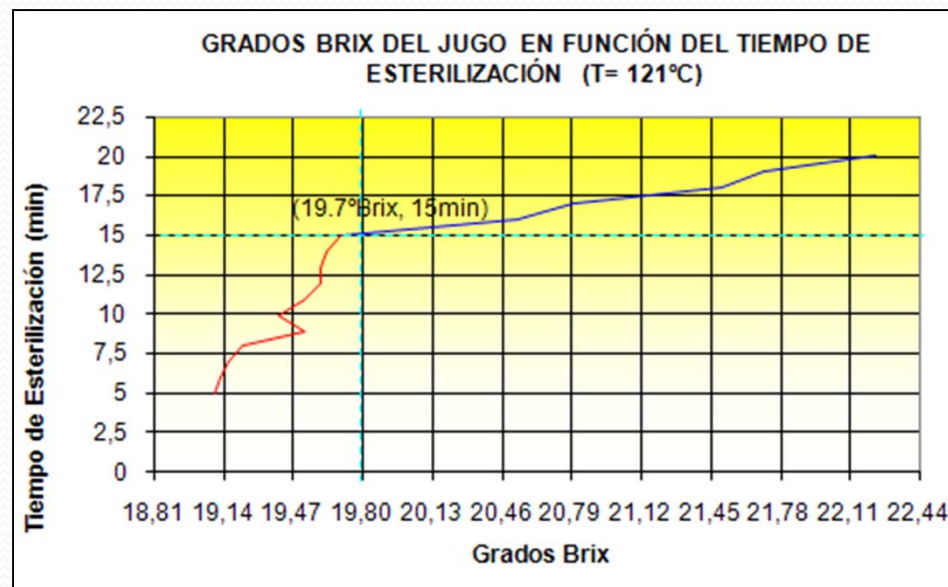




## Comportamiento de las medias del °Brix al finalizar proceso de esterilización



 Contaminación Microbiológica  
 Libre de Contaminación Microbiológica

## 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



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

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

CV = 3.00 %



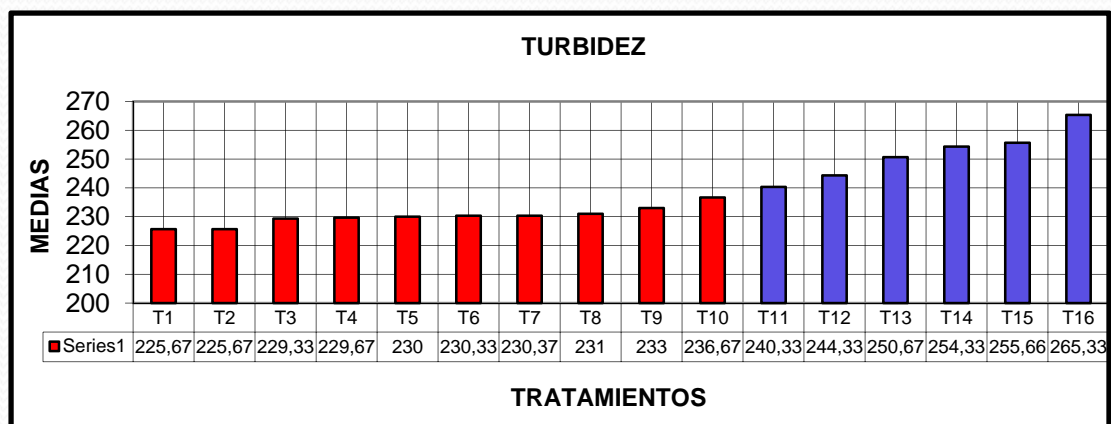
Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%):  
turbidez al final del proceso de esterilización



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



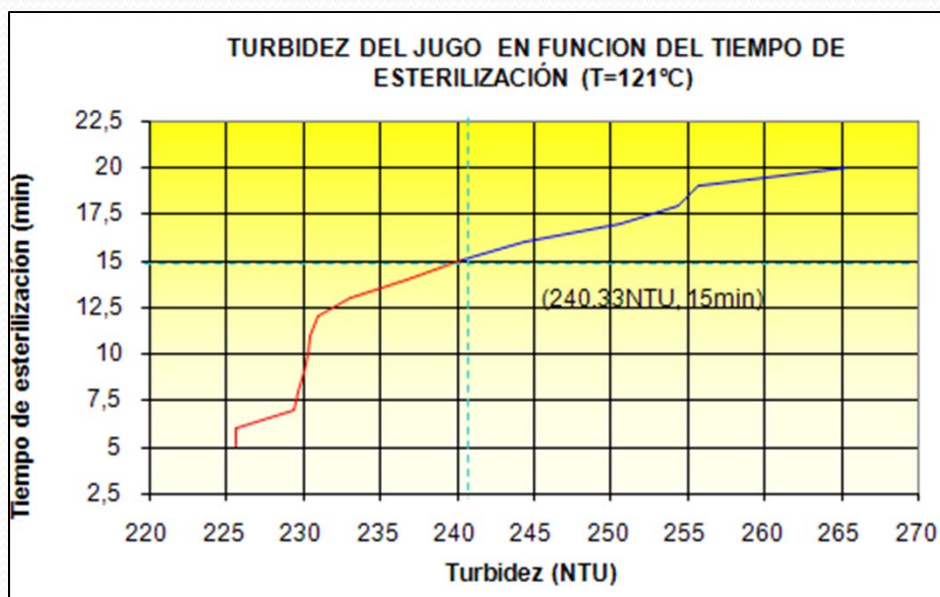
## Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de esterilización



- Contaminación Microbiológica
- Libre de Contaminación Microbiológica



### Comportamiento de la turbidez 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



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

ADEVA del pH al final del proceso de esterilización

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

CV = 4.29%



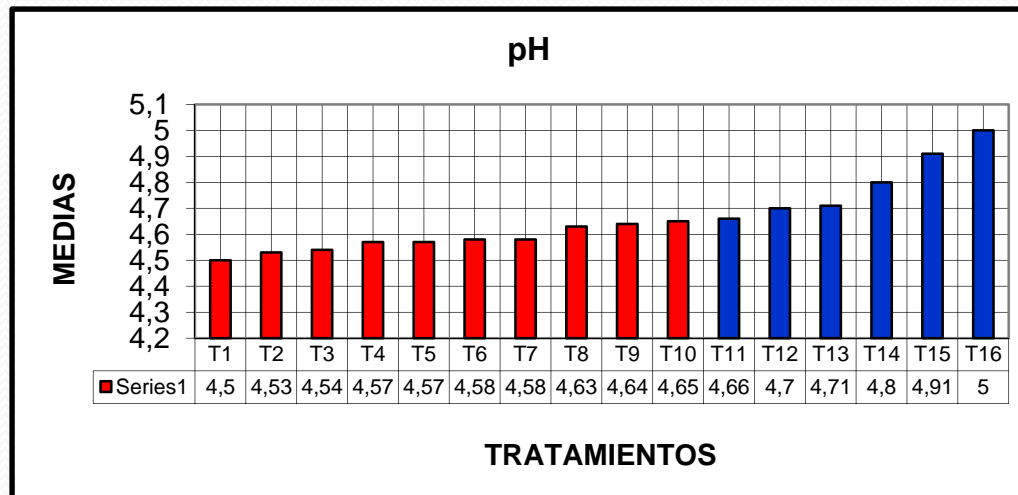
**Pruebas de significación para tratamientos mediante  
TUCKEY (5%): pH al final del proceso de esterilización**



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

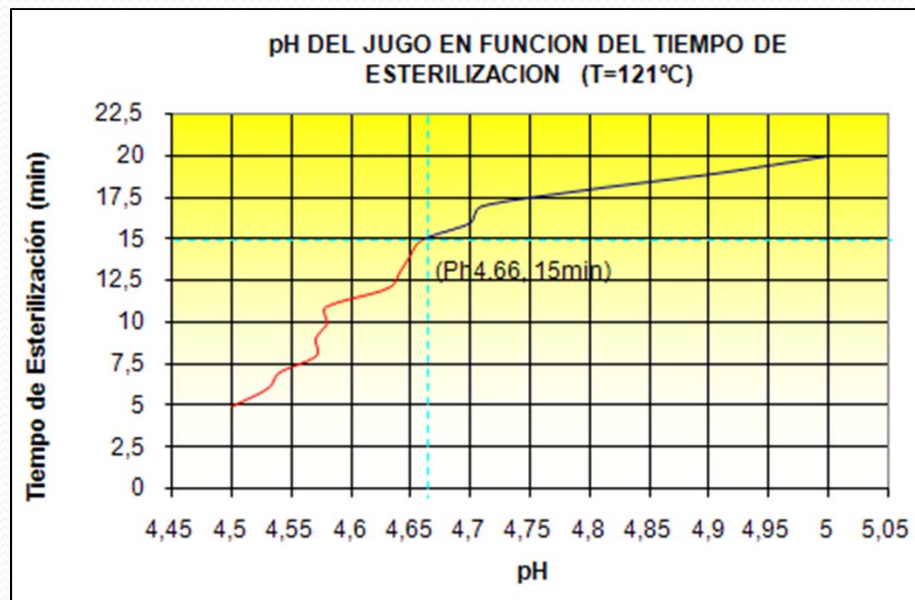


## Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de esterilización



■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica

### Comportamiento del pH del jugo de caña de azúcar en función del tiempo de esterilización (T= 121°C)



- Contaminación Microbiológica
- Libre de Contaminación Microbiológica



## Método II: Pasteurización



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.

# Preselección de los tratamientos de pasteurización

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

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

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

CV = 3.0%



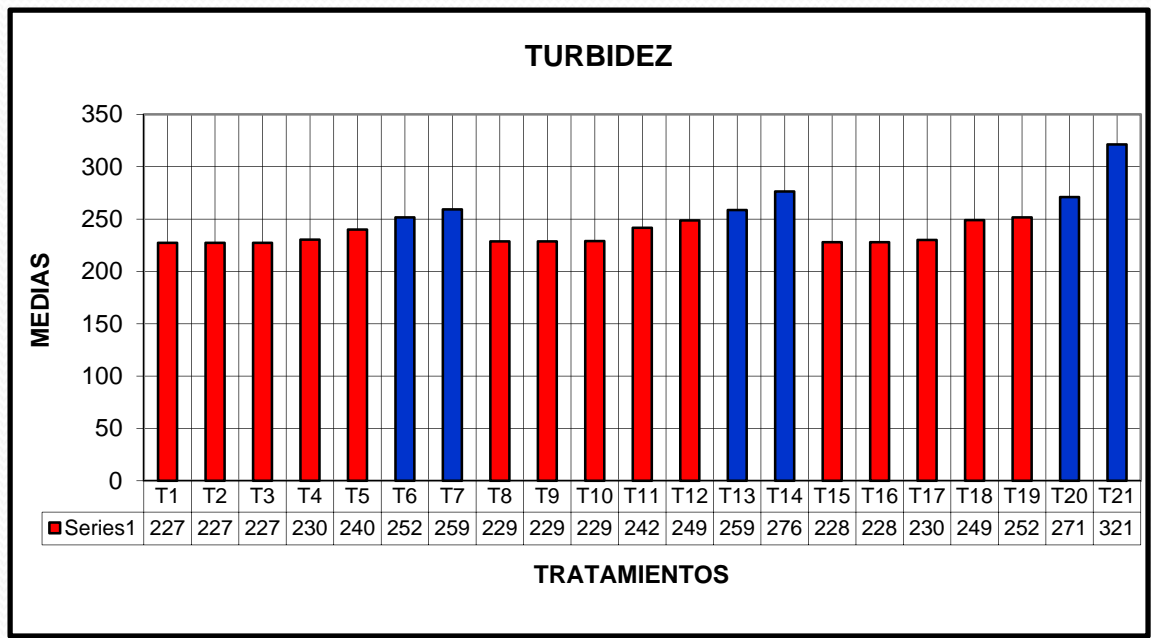


**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): Turbidez al final del proceso de pasteurización**



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

## Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de pasteurización



■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica



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

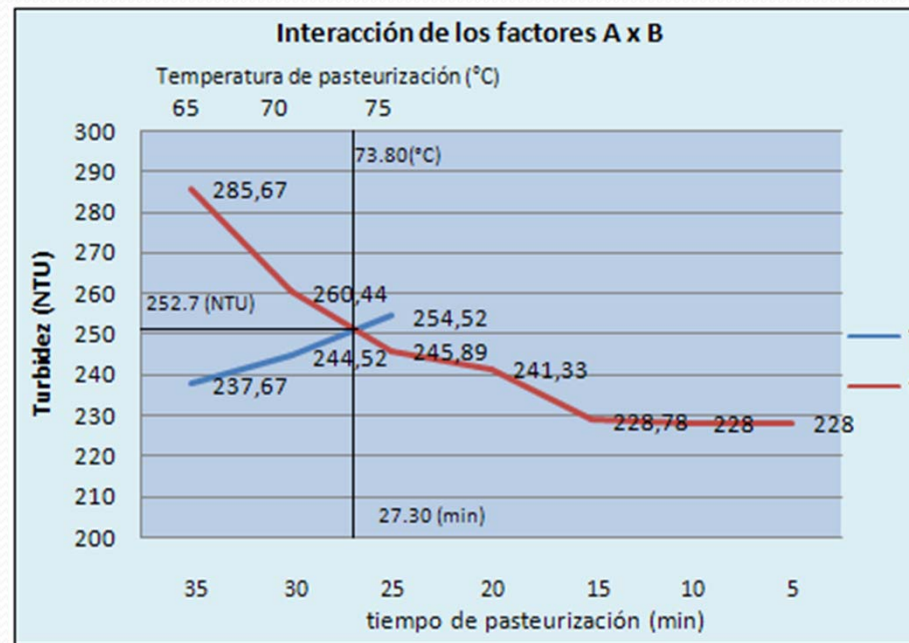
FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	237.67	a
T2	244.52	a
T3	254.52	b

**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



## Efecto de la interacción de turbidez del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización

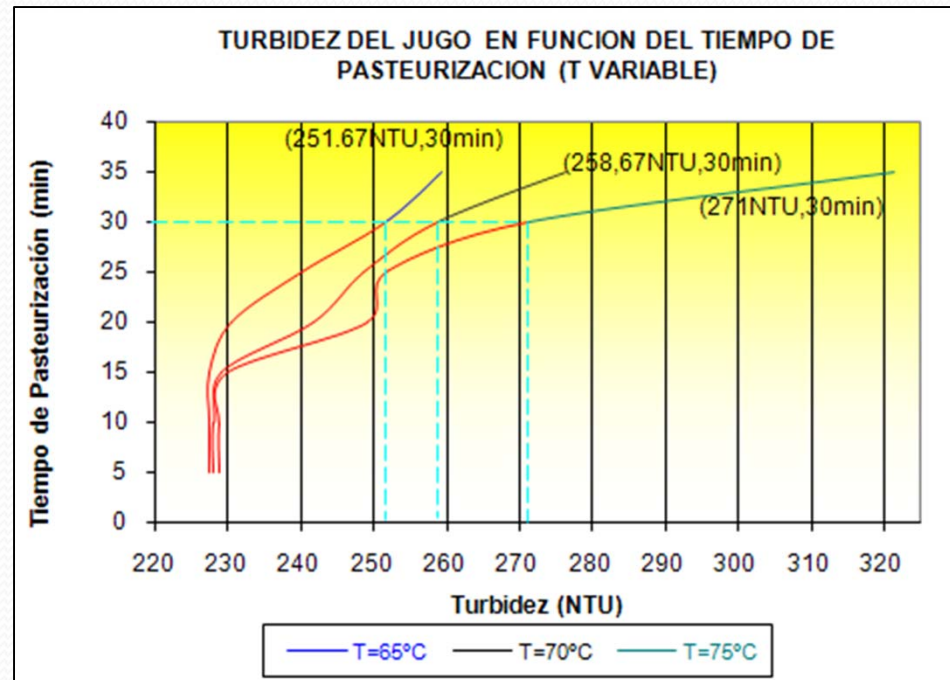


En el intervalo de temperatura de pasteurización ]65; 73.8] °C, y el intervalo de tiempo [27.3; 5] min, la turbidez tiende a disminuir

Intersección de los factores en los puntos 73.80 °C y 27.3 (min.).



## Comportamiento de la turbidez 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

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

### ADEVA de los °Brix al final del proceso de pasteurización

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

CV = 3.38%



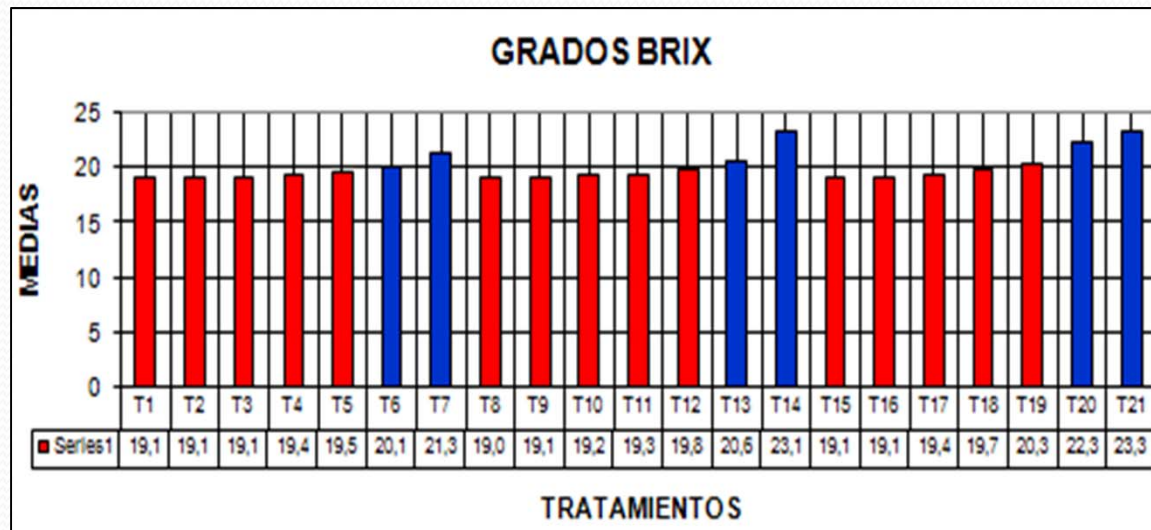


**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de pasteurización**



TRATAMIENTO S	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

## Comportamiento de las medias de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización



■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica



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

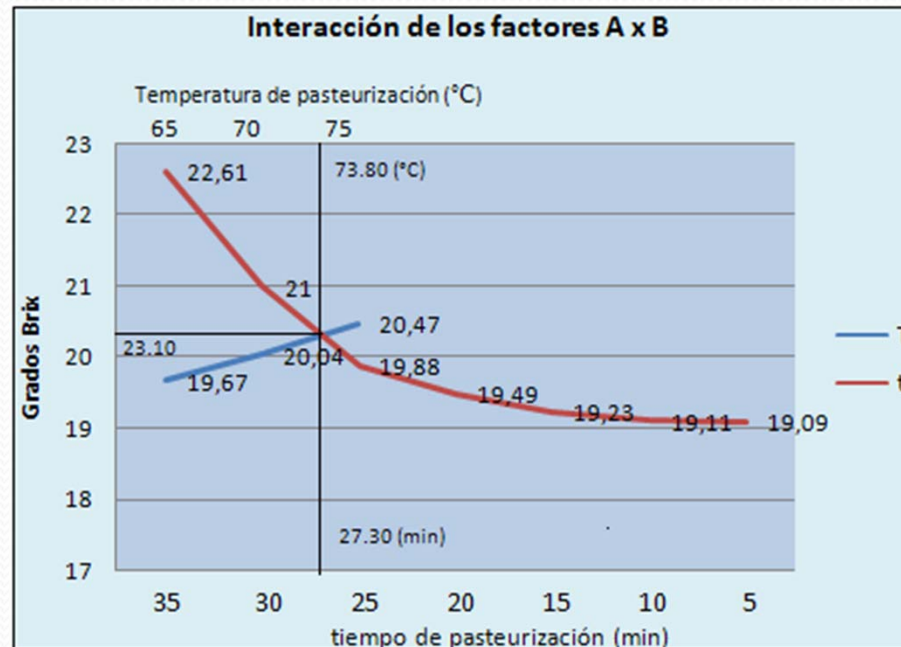
FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	19.67	a
T2	20.04	a
T3	20.47	a

**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



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

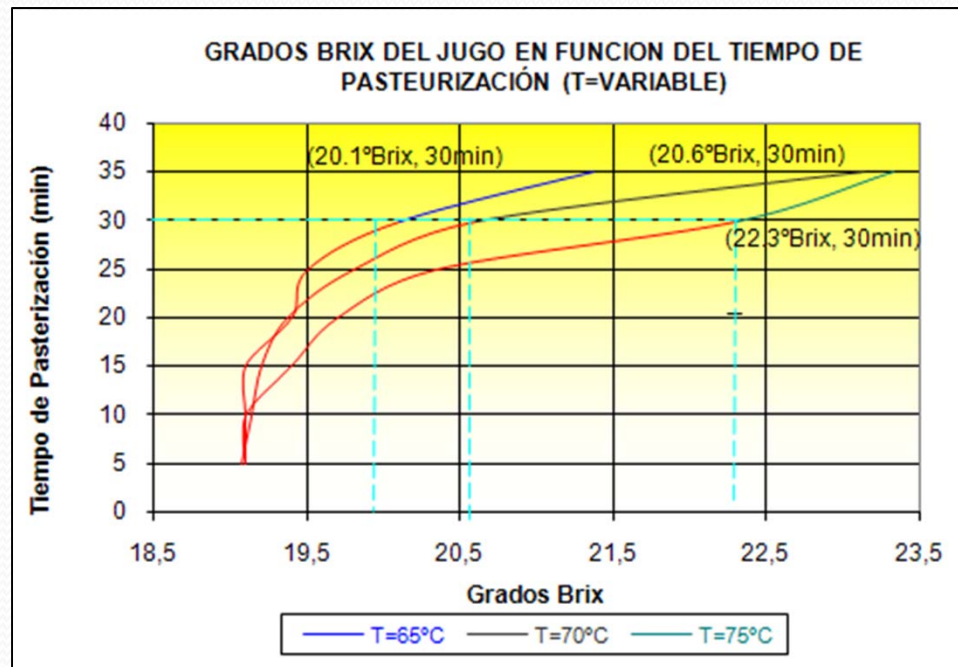


En el intervalo de temperatura de pasteurización ]65; 73.8] °C, y el intervalo de tiempo [27.3; 5[ min, los °Brix tienden a disminuir

Intersección de los factores en los puntos 73.80 °C y 27.3 (min). se obtiene un valor de 23.10 grados Brix.



## Comportamiento del los °Brix del jugo 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

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

### ADEVA del pH al final del proceso de pasteurización

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

CV = 3.0%



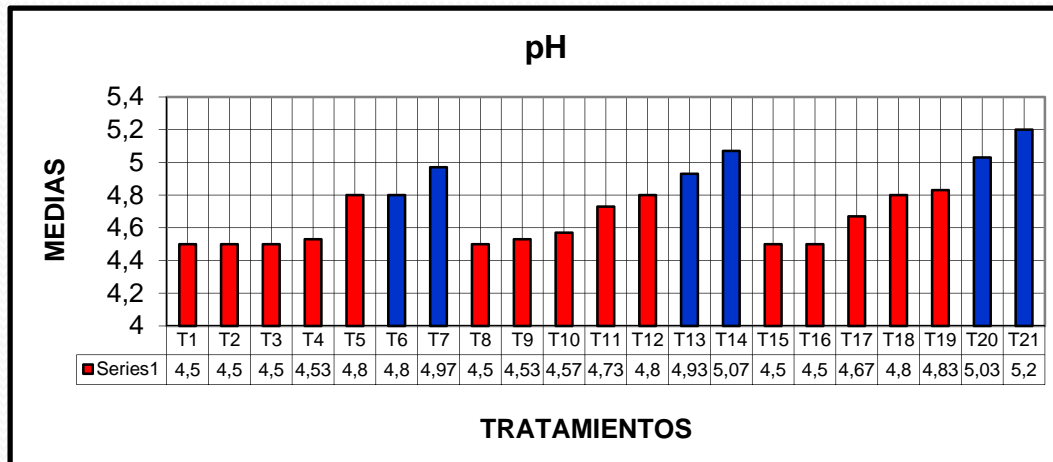


**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): pH al final del proceso de pasteurización.**



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

## Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de pasteurización



■ Contaminación Microbiológica  
■ Libre de Contaminación Microbiológica



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

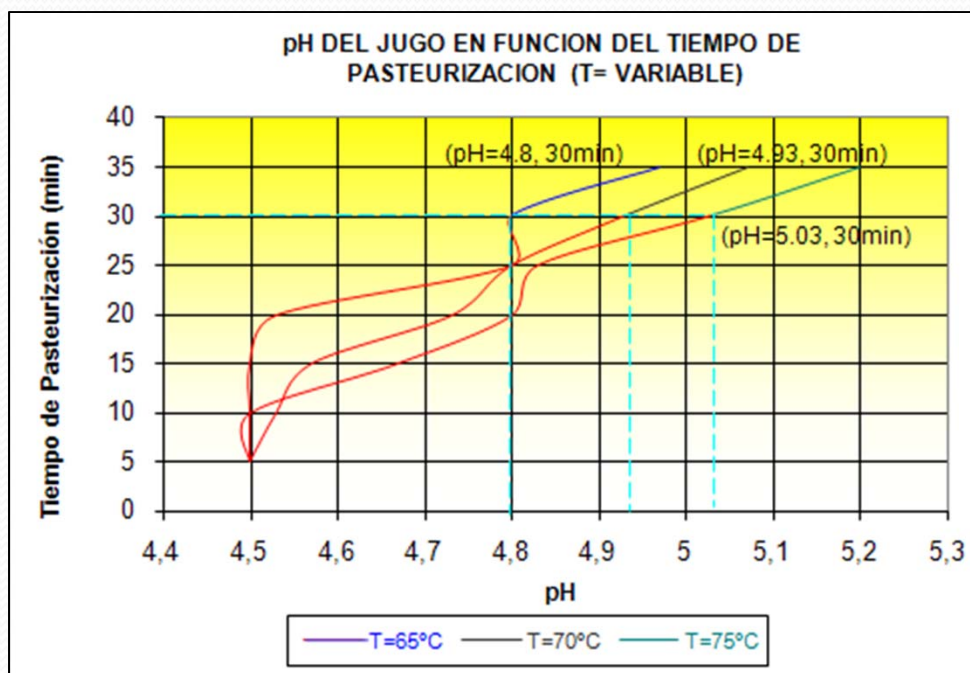
FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	4.64	a
T2	4.73	a
T3	4.79	a

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

FACTOR A	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



## 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



# Optimización del proceso de pasteurización



La optimización del proceso de pasteurización se realizó con los tres mejores tratamientos obtenidos en la preselección

Esta preselección identificó como mejores tratamientos a T6 (T=65°C), T13 (70°C) y T20 (75°C) con un nivel de tiempo de 30 min de pasteurización para los tres tratamientos.

El trabajo consistió en mantener constante la temperatura de pasteurización (65, 70 y 75) °C y variar únicamente el tiempo de 26 a 30 minutos en intervalos de 1 minuto. Las variables evaluadas fueron: turbidez, pH y ° Brix, en el producto final.

**T (65, 70 y 75) °C**

**t (26, 27, 28, 29 y 30)min.**

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

### ADEVA de la Turbidez al final 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 %



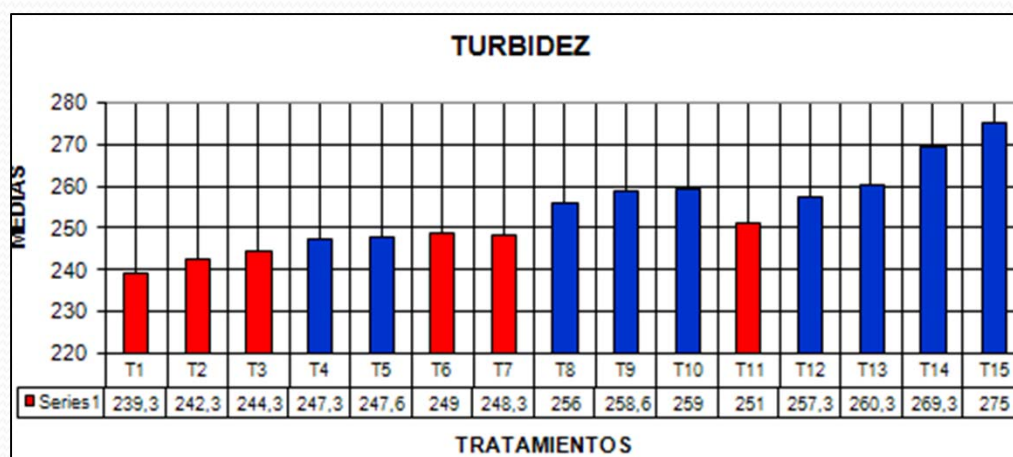


**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY al (5%):  
Turbidez al final del proceso de pasteurización**

TRATAMIENTO S	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



## Comportamiento de las medias de la turbidez al finalizar el proceso de pasteurización



 Contaminación Microbiológica  
 Libre de Contaminación Microbiológica



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

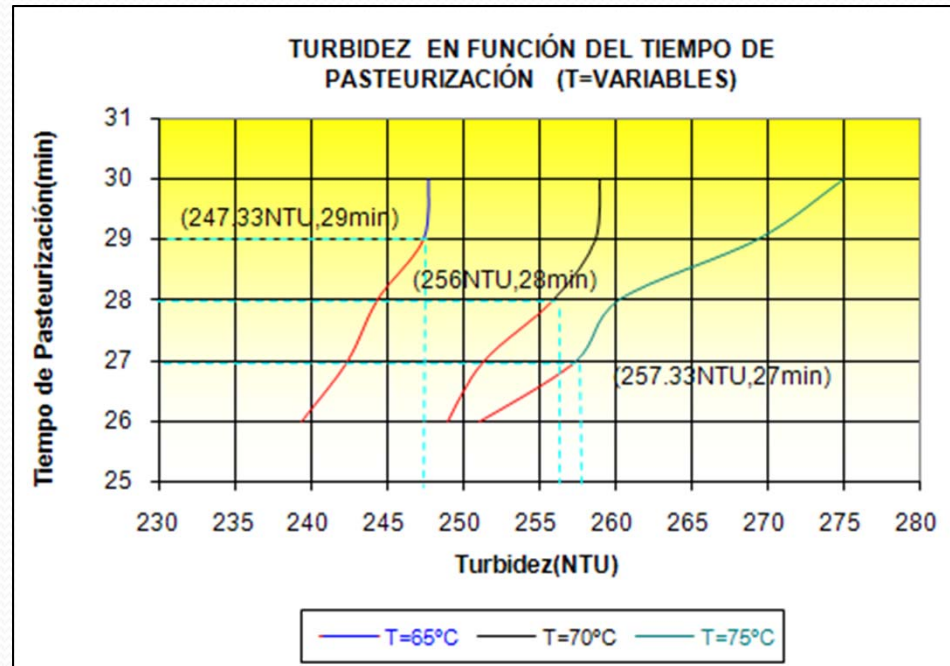
FACTOR A	MEDIA	RANGO
T1	244.20	a
T2	254.20	a
T3	262.60	b

**Pruebas de significación de DMS  
para el factor B tiempo 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



## 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



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



### ADEVA del ° Brix al final del proceso de pasteurización

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

CV = 3.20 %

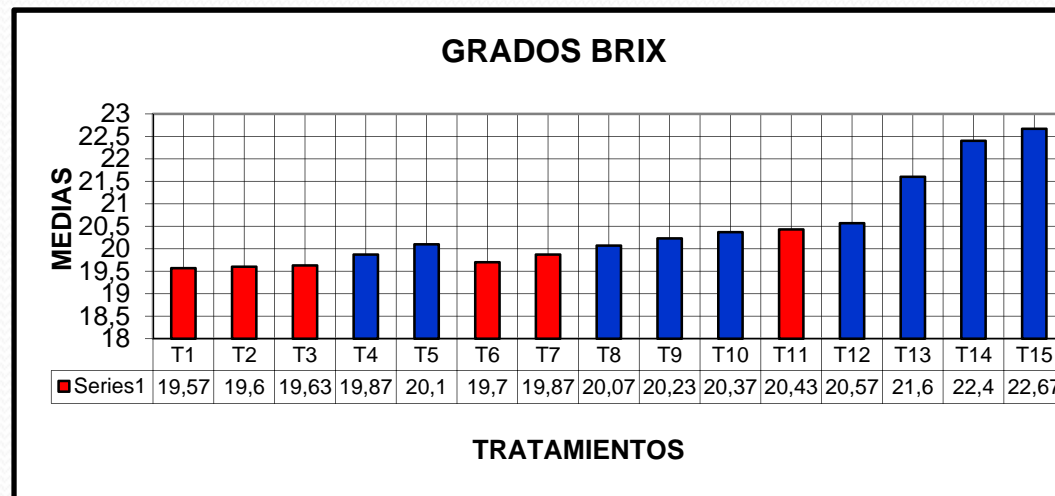
**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY (5%): °Brix al final del proceso de pasteurización**



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



## Comportamiento de las medias de los °Brix al finalizar el proceso de pasteurización



 Contaminación Microbiológica  
 Libre de Contaminación Microbiológica

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

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

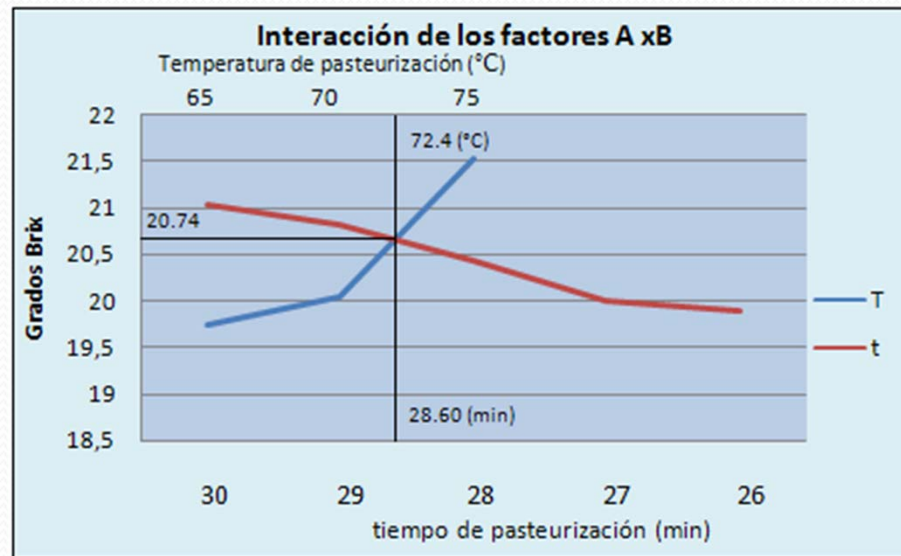
**Pruebas de significación de DMS  
para el factor B (tiempo de pasteurización)**

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





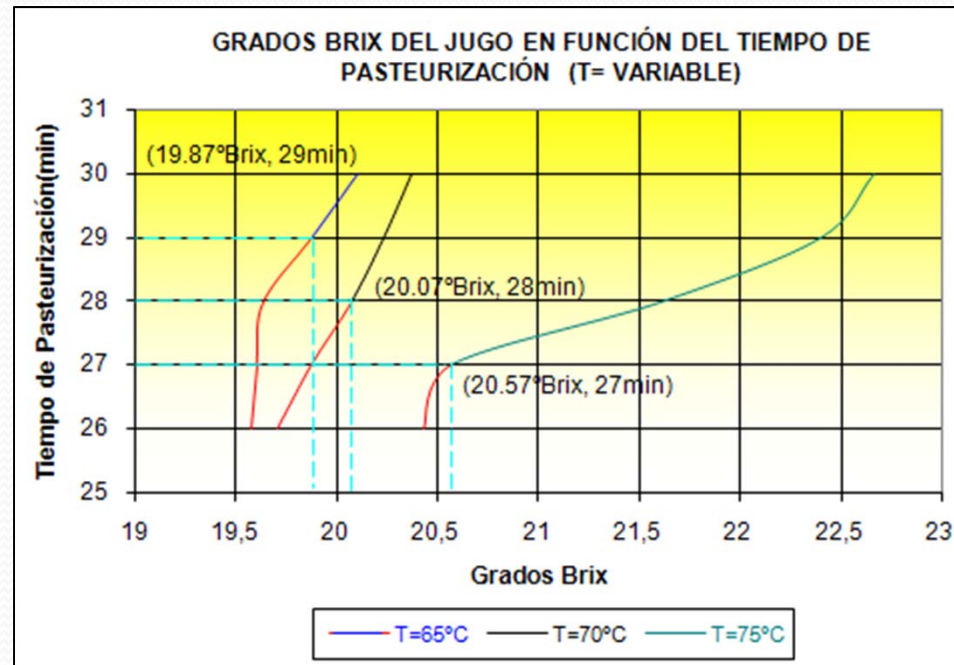
## Efecto de la interacción del °Brix del jugo de caña entre la temperatura y tiempo de pasteurización



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

Intersección de los factores en los puntos 72.4 °C y 28.60 (min.).

## 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



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

### ADEVA del pH al final del proceso de pasteurización

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

CV = 3.00 %



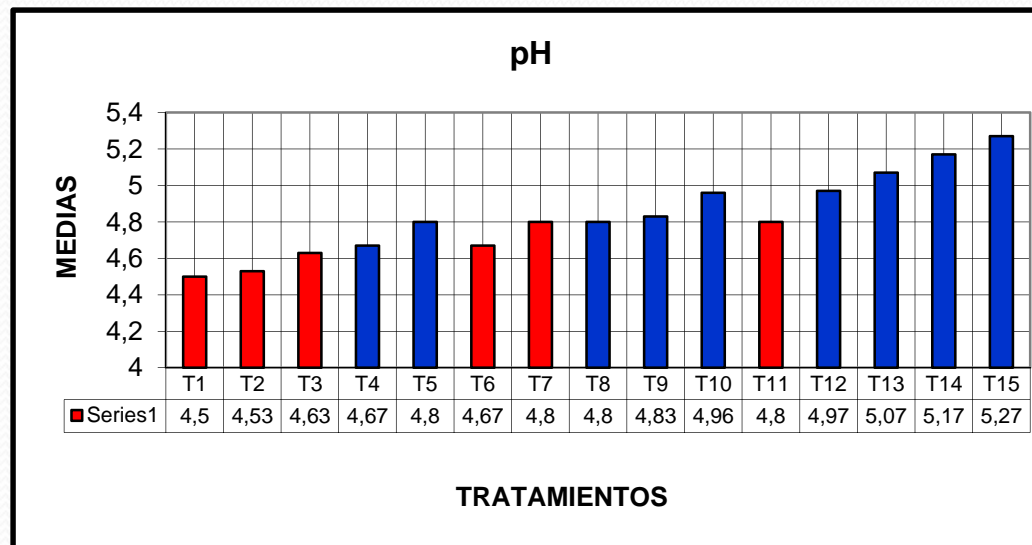
**Pruebas de significación para tratamientos mediante TUCKEY al (5%): pH al final del proceso de pasteurización**



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



## Comportamiento de las medias del pH al finalizar el proceso de pasteurización



 Contaminación Microbiológica  
 Libre de Contaminación Microbiológica

**Pruebas de 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

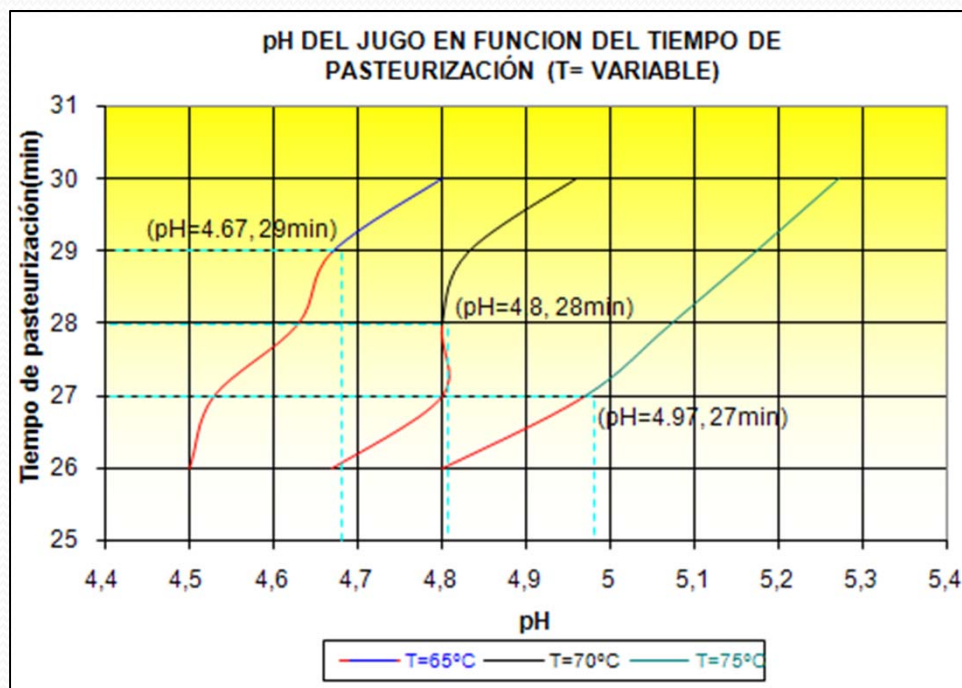
**Pruebas de significación de DMS  
para el factor B (tiempo de pasteurización)**

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



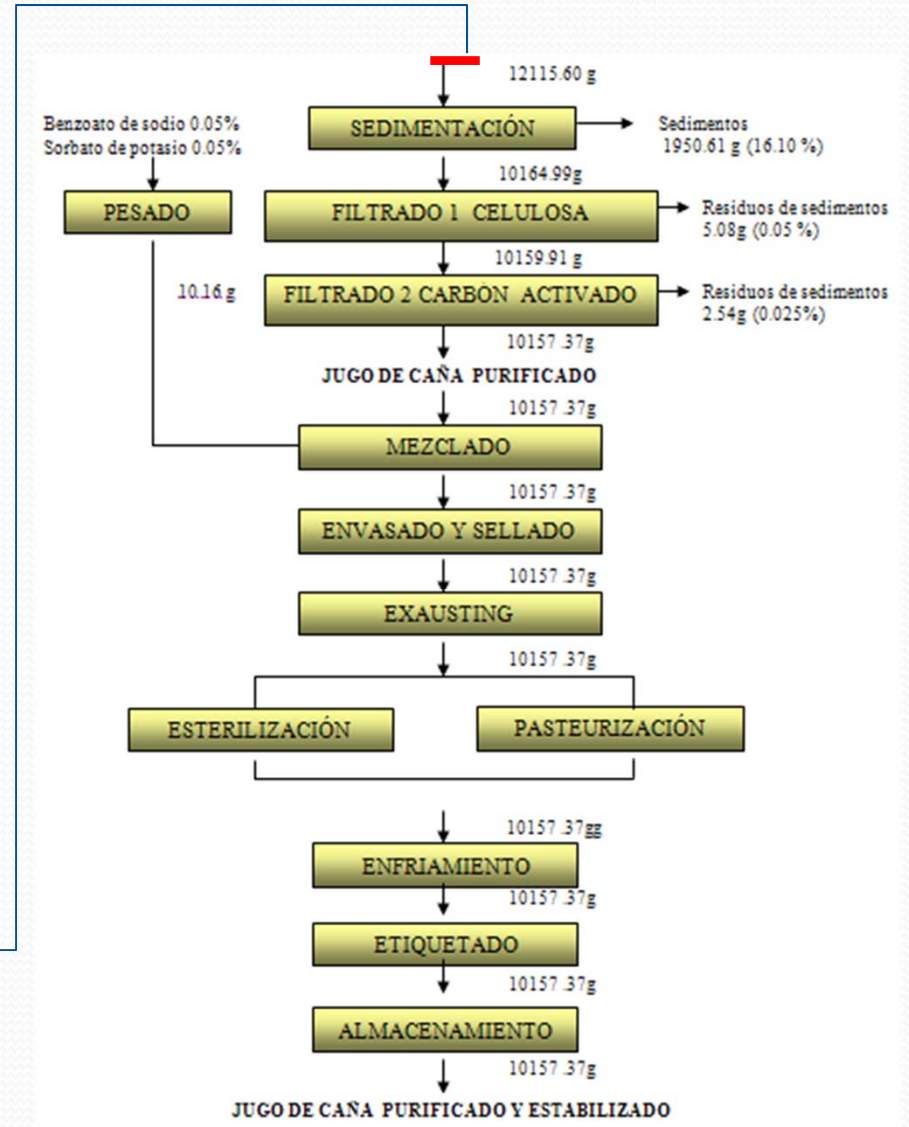
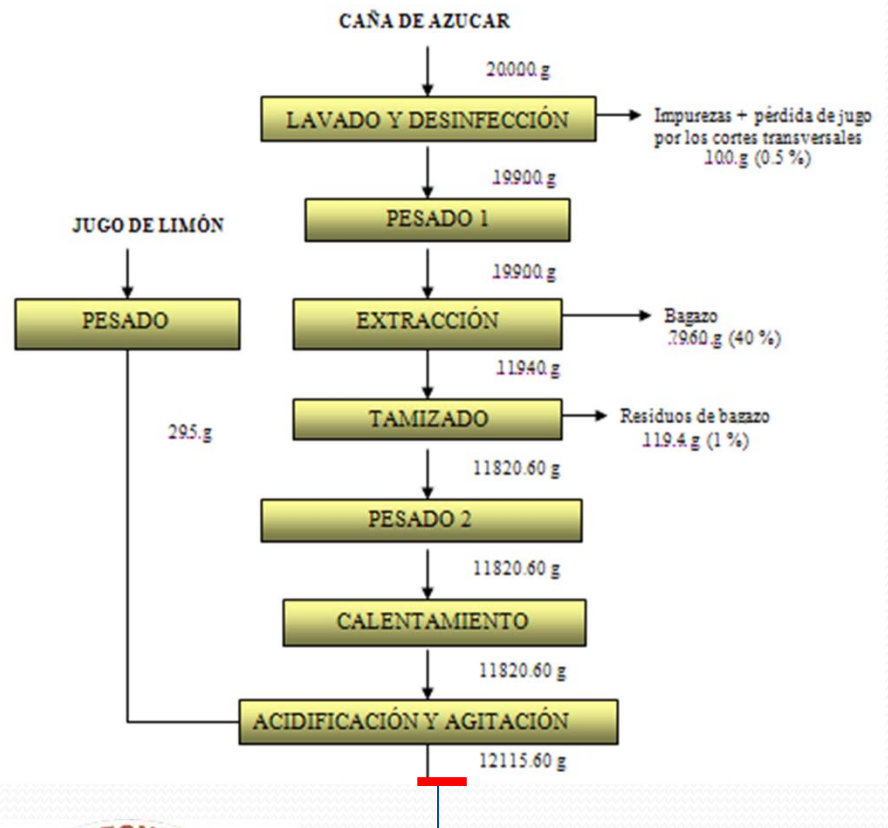


## Comportamiento del pH del jugo de caña en función del tiempo de pasteurización a temperatura variable



- 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, T14 y T15

# BALANCE DE MATERIALES





## RENDIMIENTO:

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

$$R = \frac{10157.37 \text{ g}}{20000.00 \text{ g}} \times 100$$

$$R = 50.79\%$$

Del balance de materiales se deduce que, por cada 20000 g de jugo virgen de caña de azúcar se obtiene alrededor de 10157.37g de jugo purificado y estabilizado, equivalente a un porcentaje del 50.79 % de rendimiento.



# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# 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, ceras, tierra entre otros, 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 TII 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 TII, 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.



# 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.

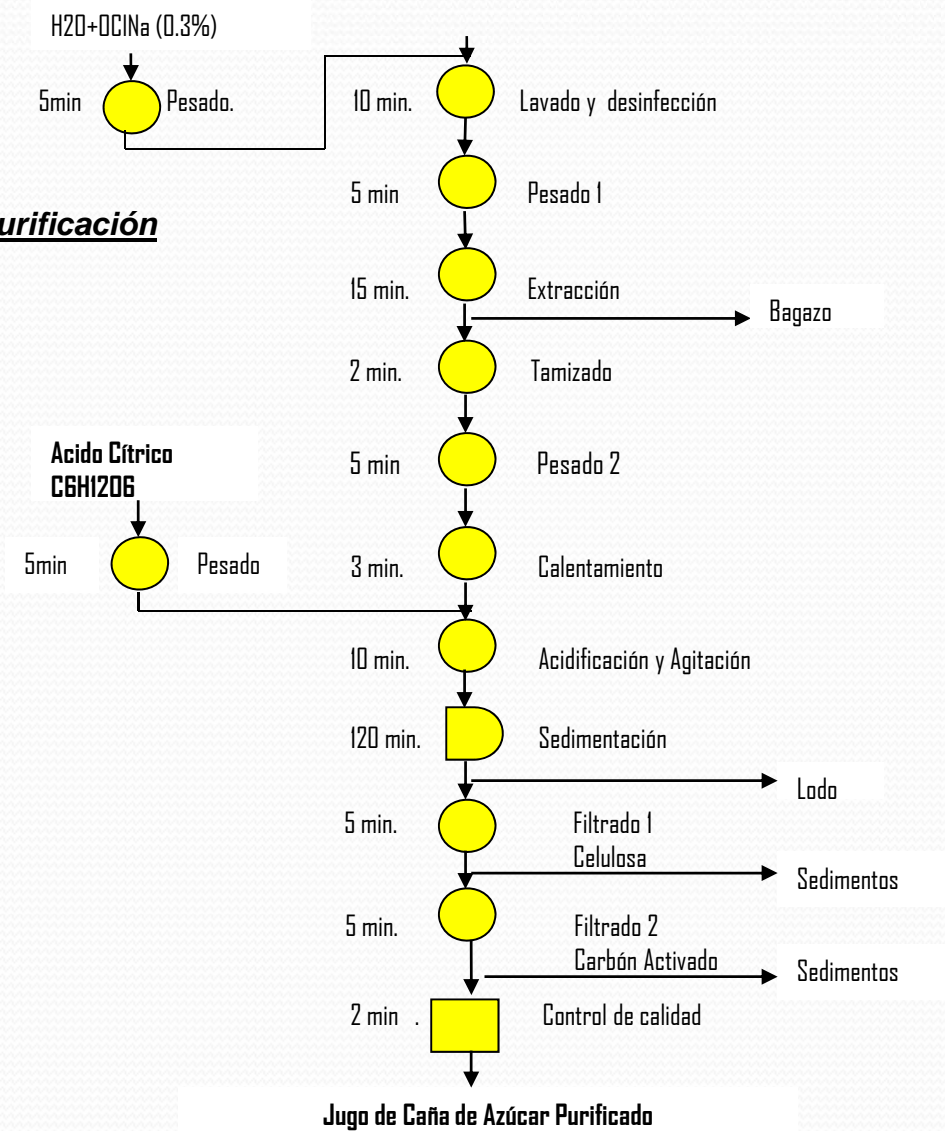


**ANEXOS**

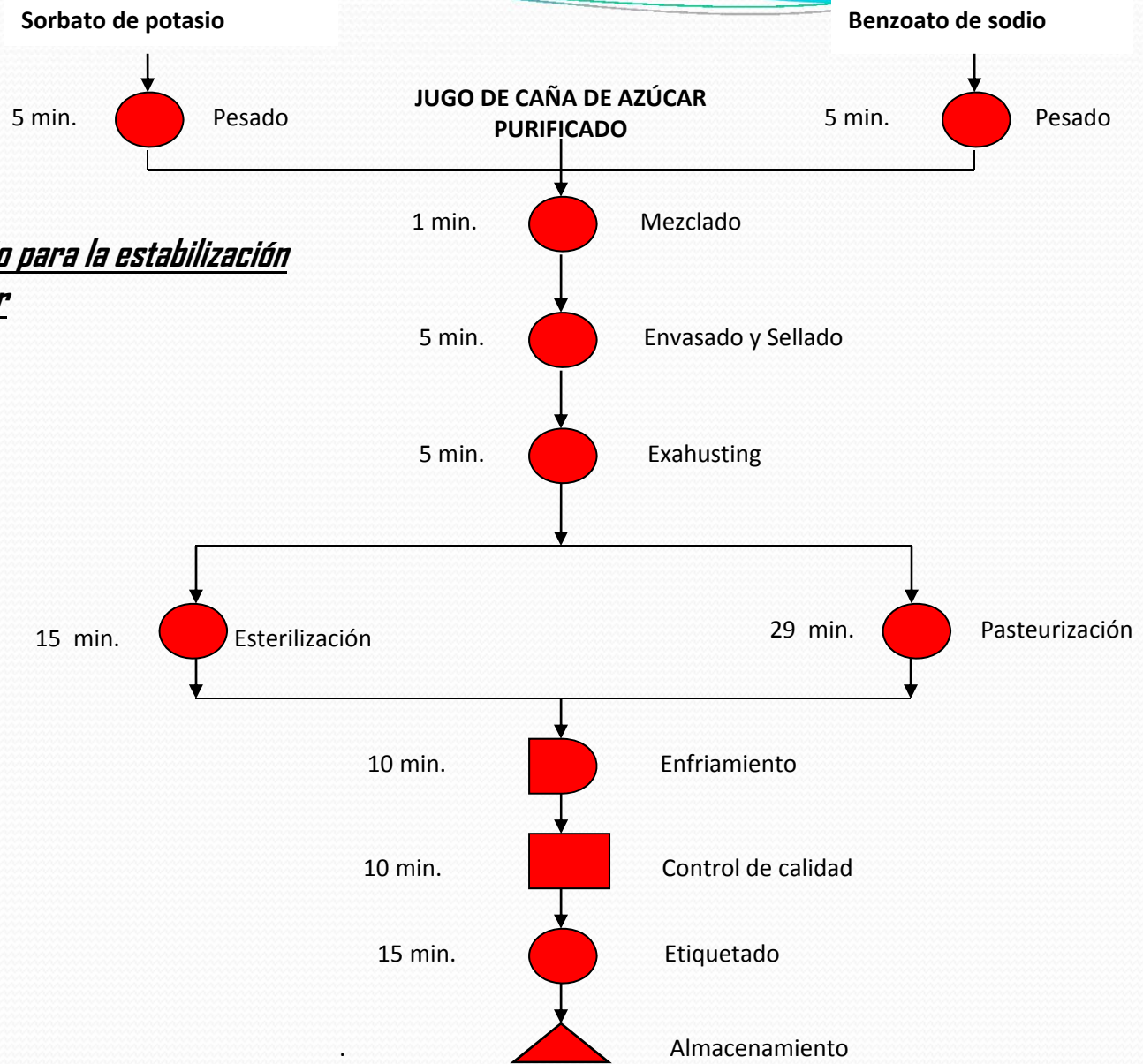


## CAÑA DE AZÚCAR

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

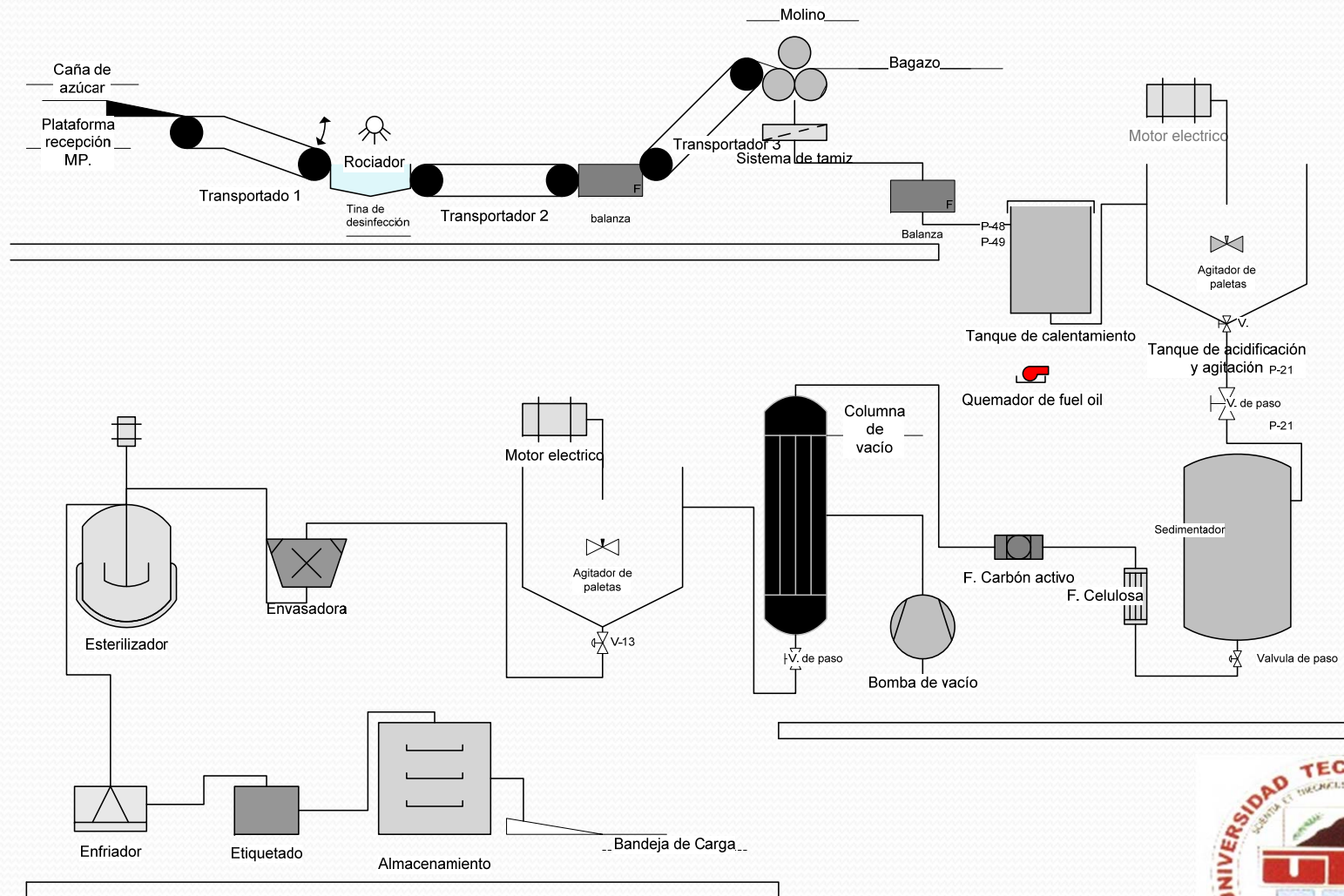


**Anexo 2. Diagrama de flujo para la estabilización del jugo de caña de azúcar**





### Anexo 3. Diagrama de flujo 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 -340  
Tifs.: 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

*Armando Rubio*  
DR. ARMANDO RUBIO

RESPONSABLE SERVICIO DE ANÁLISIS

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



***GRACIAS***

---

