

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LICOR  
DESTILADO TIPO APERITIVO EN LA EMPRESA AWARALA S.A.S.**

**Sharon Helena Castellanos Lozano**

**Yorman Yaith Zambrano Silva**

**Pamplona, Colombia**

**Diciembre de 2016**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



Trabajo De Grado Presentado Ante La Ilustre Universidad De Pamplona Como Requisito  
Para Optar Por El Título De Ingeniero Químico

**PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LICOR  
DESTILADO TIPO APERITIVO EN LA EMPRESA AWARALA S.A.S.**

**Por:**

Sharon Helena Castellanos Lozano

Yorman Yaith Zambrano Silva

**Director:**

Edwin Gustavo Fuentes Ordoñez

Ingeniero Químico, M.Sc, Ph.D.

Pamplona, Colombia

Diciembre de 2016



# Acta de Sustentación de Trabajo de Grado-Pregrado

Código

FGA-72 v.06

Página

1 de 1

PROGRAMA:

INGENIERÍA QUÍMICA

## MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO

Investigación Recital de Grado   
  Pasantía de Investigación Diplomado   
  Docencia Práctica Integral   
  Práctica Empresarial Articulación Posgrado

EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR: (Nombres, apellidos y documento de identidad).

JURADO 1: Sandra Milena Zambrano Contreras / C.C: 63531021

JURADO 2: Erik German Yanza Hurtado / C.C: 76316177

JURADO 3: Edwin Gustavo Fuentes Ordoñez / C.C: 91490348

EN SU SESIÓN EFECTUADA EN: AULA TIC DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA A LAS 09:30

HORAS, DEL DÍA 15 DEL MES Diciembre DEL AÑO 2016

Terminadas sus deliberaciones, y en cumplimiento de las normas y acuerdos de los órganos de dirección de la Universidad de Pamplona, se ha llegado a la siguiente conclusión:

Primera Conclusión: Otorgar la Calificación de: 4.2 (en números)

Meritorio (>=4.51)   
  Excelente (>=4, <=4.49)   
  Aprobado (>=3, <=3.99)   
  Incompleto (<=2.99)

AL TRABAJO DE GRADO TITULADO: PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LICOR DESTILADO TIPO APERITIVO EN LA EMPRESA AWARALA S.A.S.

AUTOR(ES): Número de Autores (2)

Nombres:	SHARON HELENA CASTELLANOS LOZANO	COD.	1094270347
Nombres:	YORMAN YAITH ZAMBRANO SILVA	COD.	1065204665
Nombres:		COD.	

DIRECTOR Y/O TUTOR: Edwin Gustavo Fuentes Ordoñez /C.C: 91490348

Segunda Conclusión: Emitir los siguientes criterios

No.	DESCRIPCIÓN	RECOMENDAR	
		SI	NO
1.	Recomendar para presentar en eventos.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	Recomendar para publicación.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Recomendar para ser continuado en otros trabajos.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Otras:

Tercera Conclusión: Avalar el cumplimiento del Trabajo de Grado, para optar por el Título de INGENIEROS QUÍMICOS

Firmas del Jurado Calificador:

[Firma] JURADO 1      [Firma] JURADO 2      [Firma] JURADO 3

[Firma]  
 Director Comité Trabajo de Grado

[Firma]  
 Director Unidad Académica

Note: Diligenciar debidamente todos los espacios requeridos en el formato

*Gracias Dios: por cada cosa que me has dado,  
por cada cosa que has negado, por morir por mí en una Cruz.*

***Sharon Castellanos Lozano***

*Infinitas gracias a Dios: mi Sustento, mi Aliento de Vida, mi Guardador.  
A mi madre Gloria Silva Álvarez: Dueña de mis triunfos, autora de mi vida.*

***Yorman Zambrano Silva***

## **AGRADECIMIENTOS.**

Los autores expresamos profundos agradecimientos:

En primer lugar, agradecemos a Dios, por guiar nuestro camino y darnos sabiduría.

A nuestros padres, por creer en nosotros y apoyarnos en todo momento.

A la Universidad de Pamplona, por permitirnos acceder al conocimiento, por ser la casa de estudios en la cual crecimos de forma profesional y personalmente, por prepararnos para la vida.

Al profesor Edwin Fuentes, por sus grandes aportes en el direccionamiento de este proyecto.

Al personal docente del programa de Ingeniería Química: Edwin Fuentes, Álvaro Villamizar, Erick German Yanza, Ever Palacios y demás profesores asociados que dedicaron muchas horas en transmitirnos su conocimiento.

A Ana Lucía Ballesteros Valdivieso gerente de Awarala S.A.S. por brindarnos la oportunidad de acceder al campo laboral.

De manera especial deseamos agradecer a la ingeniera Lady Jattin Torres por su paciencia y aportes a la realización de este trabajo.

A los trabajadores de la empresa Awarala S.A.S. quienes también apoyaron en todo momento la ejecución del proyecto.

A la profesora Ángela Cajiao adscrita al programa de Microbiología por su atención y ayuda.

A las auxiliares de los laboratorios de química, bioquímica, microbiología y análisis instrumental de la Universidad de Pamplona por brindarnos todos los elementos necesarios para ejecutar los procedimientos de este proyecto.

## **NOTA ACLARATORIA DE FUENTE DE INFORMACIÓN.**

El presente proyecto de desarrolló en la empresa Awarala S.A.S.; por ello, la información experimental recopilada en este documento es de tipo confidencial y pertenece a la empresa mencionada.

La investigación de análisis del sustrato a fermentar (Apartado 5.1.1) y el diseño de la documentación de las Buenas Prácticas de Manufactura (Apartado 5.4) fueron realizados con el acompañamiento y participación de la Ingeniera Lady Jattin Torres directora técnica de la planta de producción. Los pasantes NO somos los autores de la totalidad de estos apartados.

Está prohibida la publicación total o parcial de este documento sin la autorización escrita de los autores y de la empresa Awarala S.A.S.

## **RESUMEN.**

La cultura Wayuu ubicada en La Guajira (Colombia) realiza la obtención de etanol para consumo humano de manera artesanal como parte de su idiosincrasia, ésta bebida es producida a través de la fermentación de azúcares en medio acuoso. La empresa Awarala S.A.S. tomó la idea de realizar la producción a gran escala un aperitivo con el fin de aprovechar la riqueza cultural que posee ésta bebida autóctona; el presente proyecto se basa en la idea de mejorar el proceso artesanal de producción de etanol destilado.

En ese sentido, se realizó la simulación de la producción de etanol tipo aperitivo obtenido de la fermentación alcohólica de una solución de panela, azúcar y agua. Para ello inicialmente se determinaron valores óptimos de temperatura y concentración de panela y azúcar comercial haciendo variaciones en los valores respectivos midiendo variables intervinientes como la concentración final de Alcohol y pH; se analizó microbiología del mosto proponiendo mejoras en la inocuidad del proceso. Asimismo, se estudió la ecuación cinética de producción de etanol sin el uso de microorganismos comerciales sino de cultivos nativos. Para efectos de calidad del proceso, se realizará un análisis para determinar la concentración exacta de etanol, metanol, hierro y cobre para el cumplimiento de estándares nacionales en la producción de aperitivos.

De igual modo, se va a aplicar conocimientos en el diseño de procesos para PFD y P&ID del proceso general haciendo hincapié en la fermentación y destilación según la capacidad instalada. Finalmente se realizó la simulación del proceso de obtención de etanol de principio a fin en el software ASPEN PLUS<sup>®</sup>. Todos los estudios y análisis antes de la simulación determinarán algunas variables del proceso necesarias para la interface de este software. El objetivo de la simulación es determinar las oportunidades de mejoras del proceso productivo de producción de alcohol.

De manera simultánea se trabajó en la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura en las instalaciones de la planta de producción por medio de la documentación de manuales según el decreto 3075 de 1997.

## **ABSTRACT.**

The Wayuu culture located in La Guajira (Colombia) produces the ethanol for human consumption in an artisan way as part of its idiosyncrasy, this drink is produced through the fermentation of sugars in aqueous medium. The company Awarala S.A.S. Took the idea of producing a large scale aperitif in order to take advantage of the cultural richness of this native drink; The present project is based on the idea of improving the artisanal process of production of distilled ethanol.

In this sense, the simulation of the production of ethanol type beverage obtained from the alcoholic fermentation of a solution of panela, sugar and water. For this purpose, optimum values of temperature and concentration of panela and commercial sugar were determined by making variations in the respective values by measuring intervening variables such as the final alcohol concentration and pH; Microbiology of the must was analyzed, proposing improvements in the safety of the process. Also, the kinetic equation of ethanol production was studied without the use of commercial microorganisms, but of native cultures. For process quality purposes, an analysis will be performed to determine the exact concentration of ethanol, methanol, iron and copper to meet national standards in the production of snacks.

Similarly, knowledge will be applied in the design of processes for PFD and P & ID of the general process with emphasis on fermentation and distillation according to installed capacity. Finally the simulation of the process of obtaining ethanol from beginning to end in the software ASPEN PLUS® was realized. All the studies and analyzes before the simulation will determine some process variables necessary for the interface of this software. The objective of the simulation is to determine the opportunities for improvements in the production process of alcohol production.

Simultaneously, the implementation of Good Manufacturing Practices was carried out at the production plant facilities by means of documentation of manuals according to decree 3075 of 1997.

## CONTENIDO.

	Pág
AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	II
ABSTRACT.....	IV
Índice de Tablas.....	IX
Índice de Figuras.....	X
Lista de Símbolos.....	XII
<b>CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3.1. Objetivo General.....	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>7</b>
2.1. FERMENTACIÓN.....	7
2.1.1. Fermentación Alcohólica.....	8
2.1.1.1 Etanol.....	9
2.1.1.2 Las Bebidas alcohólicas.....	10
2.1.1.3. Aperitivo como bebida alcohólica.....	10
2.1.2. Materias Primas del Proceso Fermentativo.....	11
2.1.2.1. Panela.....	11
2.1.2.2. Azúcar.....	11
2.1.2.3. Agua.....	12
2.1.3. Variables del Proceso Fermentativo.....	12
2.1.3.1. Temperatura.....	12
2.1.3.2. Concentración de Azúcares.....	13
2.1.3.3. El pH.....	13

2.1.4. Limitantes de la Fermentación.....	13
2.1.4.1. Concentración de alcohol.....	13
2.1.4.2. Acidez del sustrato.....	14
2.1.4.3. Concentración de Azúcar.....	14
2.1.4.4. Temperatura.....	15
2.1.4. 5. Levaduras.....	15
2.1.5. Cinética De La Fermentación Alcohólica.....	15
2.1.5.1. Modelo Cinético de Monod.....	16
2.2. DESTILACIÓN.....	17
2.2.1. Destilación diferencial o por lotes.....	17
2.3. EL PROCESO PRODUCTIVO A GRAN ESCALA.....	18
2.3.1. Fermentación.....	18
2.3.1.1. Fermentación en Discontinuo.....	18
2.3.2. Destilación.....	19
2.4. IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA.....	20
2.4.1. Marco Legal Colombiano.....	20
2.4.2. Política de Calidad de la Empresa Awarala.....	20
2.4.3. Programas de Buenas Prácticas de Manufactura.....	21
<b>CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	23
3.1.1. Fuente de información primaria.....	23
3.1.2. Fuentes de información secundaria.....	23
3.2. ETAPAS DE DESARROLLO.....	23
3.2.1. Etapa I. Ensayos de Laboratorio.....	23
3.2.1.1. Estudio Del Sustrato De La Fermentación.....	24
3.2.1.2. Estudio de Selección de Condiciones de Fermentación.....	26
3.2.1.3. Métodos de Evaluación Físicoquímica en la Fermentación.....	27
3.2.2. Etapa II. Análisis Microbiológicos.....	28
3.2.2.1. Identificación de Microorganismos.....	28
3.2.2.2. Conteo de Levaduras por Cámara de Neubauer.....	31

3.2.2.3. Cinética Fermentativa.....	33
3.2.3. Etapa III. Diseño de Diagramas de Proceso.....	33
3.2.4. Etapa IV. Simulación y Mejoras.....	33
3.2.6. Etapa VI Buenas Prácticas de Manufactura.....	34
<b>CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....</b>	<b>35</b>
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL PRODUCCIÓN DE ALCOHOL	
DESTILADO EN LA EMPRESA AWARALA S.A.S.....	35
4.1.1. Recepción de Materia Prima.....	35
4.1.2. Preparación de Mosto.....	35
4.1.3. Fermentación.....	35
4.1.4. Destilación.....	36
4.1.5. Ajuste de Concentración.....	37
4.1.6. Embalaje.....	37
4.2. DESCRIPCIÓN EQUIPOS.....	37
4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	40
4.3. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN.....	41
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>42</b>
5.1. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	42
5.1.1. Análisis Estequiométrico.....	42
5.1.2. Análisis del Sustrato a Fermentar.....	42
5.1.2.1. Seguimiento del Contenido de Sólidos Solubles.....	43
5.1.2.2. Seguimiento del pH.....	44
5.1.2.3. Evaluación del Rendimiento y la Productividad de los Ensayos.....	45
5.1.3. Selección de Condiciones de Fermentación.....	46
5.1.3.1. Seguimiento del Contenido de Sólidos Solubles.....	46
5.1.3.2. Seguimiento del pH.....	50
5.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.....	54
5.2.1. Identificación de la Biota presente.....	54
5.2.2. Conteo de Microorganismos.....	57

5.2.3. Cinética Fermentativa. ....	58
5.2.3.1. Análisis Cinético-Matemático. ....	58
5.2.3.1. Determinación de la Cinética. ....	60
5.3. SIMULACIÓN Y MEJORAS AL PROCESO.....	64
5.3.2. Simulación del proceso actual de producción. ....	64
5.4.2.1. Biorreactor. ....	64
5.4.2.2. Destilador (Alambique). ....	66
5.4.3. Mejoras al Proceso. ....	68
5.4.3.1 Diseño optimizado del Fermentador.....	68
5.4.5. Diseño de P&ID del Destilador.....	71
5.4. DOCUMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA.....	72
5.4.1. Programa de Abastecimiento de Agua. ....	73
5.4.2. Programa de Calibración. ....	74
5.4.3. Programa de Capacitación. ....	75
5.4.4. Programa de Control de Plagas. ....	76
5.4.5. Programa de Control de Proveedores. ....	78
5.4.6. Programa de Limpieza y Desinfección.....	80
5.4.7. Programa de Mantenimiento de equipos. ....	82
5.4.8. Programa de Muestreo.....	84
5.4.9. Programa de Plan De Emergencias. ....	86
5.4.10. Programa de Residuos Líquidos.....	90
5.4.11. Programa de Residuos Sólidos. ....	91
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>7. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>99</b>

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Marcas de Panelas para selección de sustrato. ....	24
Tabla 2. Matriz de soluciones a preparar.....	26
Tabla 3. Rendimiento de 5 marcas de panela. ....	45
Tabla 4. Parámetros de la fermentación. ....	64
Tabla 5. Parámetros para la destilación.....	66
Tabla 6. Balance de Materia. ....	67
Tabla 7. Metas establecidas para el personal de la empresa.....	76
Tabla 8. Clasificación de Zonas de control de plagas. ....	78
Tabla 9. Clasificación de zonas en la limpieza y desinfección. ....	81
Tabla 10. Insumos para la limpieza y desinfección.....	81
Tabla 11. Identificación de la Empresa. ....	86
Tabla 12. Salidas de Emergencia de la Planta. ....	90

## Índice de Figuras.

Figura 1. Muestras de solución panela-agua. ....	25
Figura 2. Procedimientos para preparación de la Fermentación. ....	25
Figura 3. Procedimiento para observación de colonias bacterianas. ....	28
Figura 4. Vista superior de la Cámara Neubauer Improved. ....	31
Figura 5. Conteo de Cámara de Neubauer.....	32
Figura 6. Técnica de conteo de Neubauer Improved.....	32
Figura 7. Solidos solubles vs Tiempo de Muestras en Selección de Panela. ....	44
Figura 8. pH vs Tiempo Muestras en Selección de Panela. ....	44
Figura 9. Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 0% azúcar comercial a 30°C. ....	47
Figura 10. Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 25% azúcar comercial a 30°C. .	47
Figura 11. Solidos Solubles vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 30°C ..	48
Figura 12. Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 0% azúcar comercial a 18°C. ...	48
Figura 13. Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 25% azúcar comercial a 18°C. .	49
Figura 14. Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 18°C. .	49
Figura 15. pH vs Tiempo para muestras con 0% de azúcar comercial a 30°C.....	51
Figura 16. pH vs Tiempo para muestras con 25% azúcar comercial a 30°C .....	51
Figura 17. pH vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 30°C .....	52
Figura 18. pH vs Tiempo para muestras con 0% azúcar comercial a 18°C .....	52
Figura 19. pH vs Tiempo para muestras con 0,25% azúcar comercial a 18°C .....	53
Figura 20. pH vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 18°C .....	53
Figura 21. Agar Nutritivo .....	55
Figura 22. Medio Fluorocult® LMX.....	55

Figura 23. Medio EMB.....	56
Figura 24. Medio Manitol-Salado .....	56
Figura 25. Medio XLD (Xilosa, lisina, Desoxicolato).....	56
Figura 26. Medio Mossel y Medio MacConkey.....	56
Figura 27. Medio PDA (Potato Dextrose Agar).....	57
Figura 28. Levaduras Nativas en la Cámara de Neubauer Improved.....	58
Figura 29. Reactor Batch en condiciones iniciales.....	61
Figura 30. Perfil del consumo de sustrato de la fermentación. ....	62
Figura 31. Perfil de acumulación de etanol en la fermentación .....	63
Figura 32. Análisis de Sensibilidad del Fermentador.....	65
Figura 33. Interfase de simulación del software Aspen Plus® .....	66
Figura 34. Perfil de Temperatura vs Destilado.....	67
Figura 35. Perfil de destilado en Real y Simulado .....	68
Figura 36. P&ID de Biorreactor Propuesto .....	71
Figura 37. P&ID del destilador actual.....	72
Figura 38. Sistema de Abastecimiento de Agua.....	73
Figura 39. Sistema de Tratamiento de Agua Potable. ....	74
Figura 40. Procedimiento de Capacitación.....	75
Figura 41. Clasificación de zonas de limpieza y desinfección.....	80
Figura 42. Requisitos Generales de Insumos e Implementos.....	82
Figura 43. Procedimiento de Muestreo.....	85
Figura 44. Tipos de emergencia. ....	86
Figura 45. Manejo de Residuos Sólidos.....	92

## Lista de Símbolos.

$S$	Concentración del sustrato.
$S_o$	Concentración inicial del sustrato.
$Da$	Diámetro de Rodete.
$F$	Flujo.
$h$	Altura.
$k$	Constante de Velocidad.
$N_Q$	Numero de Flujo.
$N_P$	Numero de Potencia.
$P$	Presión.
$q$	Caudal.
$r$	Radio.
Re	Numero de Reynolds.
$T$	Temperatura.
$t$	Tiempo.
$v_s$	Velocidad característica del fluido.
$Y_{ps}$	Rendimiento observado de sustrato en producto.
$Y_{xs}$	Rendimiento observado de sustrato en biomasa.
$\mu$	Viscosidad.
$\rho$	Densidad.
$\pi$	Numero Pi.

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.**

### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

El chirrinchi es un aguardiente artesanal elaborado mediante un proceso de fermentación y destilación. Es destilado clandestina y artesanalmente a partir de mostos de sumo de caña de azúcar o panela sometidos a fermentación alcohólica. Con el nombre de “chirrinche” (o chirrinchi) se conoce la marca provinciana, el etanol que se destila en alambiques en el departamento de La Guajira, para ello se usa la panela como materia prima.

Estas bebidas alcohólicas se consumen ampliamente en los departamentos de Sucre, Guajira, Cesar, sur del Magdalena y zona central de Bolívar, donde particularmente recibe el nombre de ñeque, y se caracterizan por altos contenidos de metanol y metales pesados. Los instrumentos y aparatos utilizados en la elaboración de esta bebida alcohólica de forma artesanal son: la múcura (tinaja), pesajarabe (densímetro), pesalícor (alcoholímetro) y alambique (aparato de destilación provisto con serpentín para la condensación de los vapores) (Cabrera, 2009). Las materias primas utilizadas son: agua, panela y yerbas aromáticas como el anís (utilizado como saborizante). Esta bebida de fabricación artesanal, se obtiene por el proceso de fermentación de los jugos ricos en carbohidratos (principalmente sacarosa) extraídos de la caña de azúcar; en Colombia no existe regulación alguna para su fabricación ya que no posee registro sanitario del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), y por lo tanto no cumple con las normas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) (Olarte et al., 2007).

En Colombia Olarte et al., (2007) determinó la concentración de etanol, acetaldehído y metanol en el guarapo consumido por pacientes con cirrosis hepática alcohólica en el departamento de Cundinamarca, encontrando que esta bebida tradicional presentó niveles significativos de etanol, y que además su consumo en grandes cantidades y por largo tiempo supera ampliamente el umbral tóxico asociado al desarrollo de cirrosis hepática. Sin

embargo, la presente contribución es un paso importante al establecimiento de políticas sanitarias y controles estrictos en la producción del Chirrinchi en La Guajira, teniendo en cuenta que se trata de un producto que reúne toda la cultura e historia de los Wayuu y que la forma como se ha producido hasta hoy no es la correcta.

La producción de aguardiente de caña de azúcar es una manera de ganarse la vida para muchas familias en esta región de Colombia. Se trata de un proceso artesanal en el que utiliza panela, azúcar y agua almacenados en tanques de plástico para ser fermentados durante un tiempo de 10-15 días. El mosto obtenido en el proceso de fermentación, es filtrado y posteriormente alimentado a un alambique donde se destila y se concentra el etanol hasta un 50% (v/v), por medio de la vaporización del etanol.

La empresa Awarala S.A.S. tomó la idea de producir una bebida alcohólica que abordara todo el marco cultural propio de la idiosincrasia guajira adaptándolo al marco técnico propio de un proceso productivo. La bebida a producir es un aperitivo de 15° de alcohol en solución acuosa (15°GL), en un futuro la empresa desea realizar la producción de aguardiente (37°GL) para ampliar el catálogo de sus productos.

El proceso productivo para la producción de etanol tiene como objetivo cumplir con la normativa nacional en la producción de bebidas alcohólicas (Norma Técnica Colombia 1245) con la cual se asegura que el producto no tendrá ningún efecto negativo en el cliente (efectos derivados del consumo de metanol y ácidos orgánicos).

El producto lleva por nombre Asawaa y así lo describe la empresa: “Es un proyecto cultural y social, que utiliza productos didácticos como canales para la difusión del potencial turístico, cultural e histórico de La Guajira. Nuestro primer producto, Asawaa, es un producto que construye sobre la necesidad de socialización de turistas y locales para la promoción de La Guajira. Este aperitivo es una versión legal, con registro sanitario, con producción local e insumos locales, que resalta el valor cultural del chirrinche guajiro (bebida característica del departamento). Es un licor fresco y natural. La botella tiene diseño alusivo a la riqueza cultural guajira. Su empaque cuenta con información histórica del departamento y las tradiciones wayuu”

El objetivo de este trabajo es dar inicio a la determinación de las condiciones básicas para la fermentación con el fin de garantizar que sea un producto que cumpla con todos los estándares de calidad. Se realizaron ensayos de laboratorio en planta para obtener la información necesaria en el diseño de la simulación y la puesta en marcha del proceso. Los ensayos instrumentales se realizaron en laboratorios externos y en los laboratorios de microbiología y control de calidad de la Universidad de Pamplona.

En el desarrollo de este documento usted encontrará temáticas transversales al análisis químico y microbiológico, buenas prácticas de manufactura y diseño básico de procesos. En el capítulo de resultados visualizará los análisis de laboratorio realizados: estudios del sustrato y estudios microbiológicos del mosto. Posteriormente, se describen algunas generalidades de la documentación de las buenas prácticas de manufactura implementadas en la planta de producción. Finalmente, podrá observar la simulación básica del proceso actual de producción de etanol para la bebida alcohólica y las mejoras propuestas según todos los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.

En Colombia existe gran variedad de riqueza étnica representada en las culturas propias de cada una de las regiones del país. La comunidad Wayuu se ubica en el departamento de La Guajira (costa norte colombiana) como un símbolo representativo de idiosincrasia y riqueza cultural generando un gran impacto en la sociedad guajira por sus productos autóctonos; dentro de su riqueza ancestral está la elaboración artesanal del licor destilado a base de panela llamado popularmente “*Chirrinchi*”; su elaboración ha sido transmitida de forma oral de generación en generación hasta la actualidad.

La producción de ésta bebida alcohólica se hace de forma empírica y por ello no se han determinado las variables críticas del proceso y demás parámetros que se requieren para su elaboración; por consiguiente, se presume que no cumple con las normas exigidas por los entes gubernamentales que regulan la producción y comercialización de bebidas.

En la NTC 1245 (Norma Técnica Colombiana) de bebidas alcohólicas (aperitivo no vínico) se establecen algunos parámetros de cumplimiento para su consumo los cuales garantizan que el producto no provocará daños en la salud, éstos son: metanol (Máx. 1000 mg/dm<sup>3</sup>), ácido sórbico o sus sales de sodio y potasio expresado como ácido sórbico (Máx.150 mg/dm<sup>3</sup>), ácido benzoico o sus sales de sodio y potasio expresado como ácido benzoico (Máx. 150 mg/dm<sup>3</sup>), mezclas de ácido benzoico y ácido sórbico o sus sales de sodio y potasio expresadas como ácido sórbico (Máx. 200 mg/dm<sup>3</sup>), hierro expresado como Fe (Máx. 8,0 mg/dm<sup>3</sup>), cobre expresado como Cu (Máx. 1,0 mg/dm<sup>3</sup>) y finalmente, colorantes artificiales (A los aperitivos no vínicos se les autoriza el uso de colorantes, esencias y otros aditivos permitidos).

Teniendo en cuenta lo anterior, producir bebidas alcohólicas sin una supervisión de las entidades encargadas del estado, sin políticas de calidad y sin personal capacitado para dicho trabajo muestra una amenaza a la salud pública de las personas que lo consumen.

La empresa Awarala S.A.S. ha desarrollado la puesta en marcha de la producción a gran escala con los equipos propios para dicha tarea y personal calificado.

La producción de manera formal de ésta bebida alcohólica garantiza la seguridad alimentaria que este tipo de productos requieren; en ese sentido, se implementará la documentación concerniente a las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), esto permitirá tener una producción con mejoras en los aspectos técnicos y de calidad cumpliendo con los estándares que exigen las normas del marco legal colombiano.

Adicionalmente se trabajará en el arranque de la producción mejorando los parámetros de operación en base al análisis fermentativo a escala laboratorio y piloto, modelo cinético de la fermentación, la simulación actual del proceso y mejoras a este con el software Aspen Plus® V8.4.

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

Poner en marcha el proceso de producción de licor destilado tipo aperitivo en la empresa Awarala S.A.S.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Estudiar las variables operativas del proceso de fermentación; tales como concentración de azúcares, temperatura de fermentación y pH que impliquen el mayor rendimiento para la producción de etanol.
- Estudiar y determinar la cinética de la fermentación alcohólica con microorganismos nativos y caracterizar la biota interviniente en el proceso fermentativo para la producción de licor destilado tipo aperitivo en empresa Awarala S.A.S.
- Simular el proceso actual de producción de etanol de la empresa Awarala S.A.S. por medio del software Aspen Plus® V 8.4. analizando oportunidades de mejoras en el proceso productivo.
- Proponer desde el punto de vista del diseño, mejoras al proceso actual que permita incrementar la productividad de la planta.
- Implementar el proceso de Buenas prácticas de Manufactura (BPM) según del decreto 3075 de 1997 diseñando la documentación en cuestión durante el diseño y arranque de la producción licor destilado tipo aperitivo en la empresa Awarala S.A.S. con el fin de obtener el registro sanitario de la autoridad competente (INVIMA).

## **CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.**

### **2.1. FERMENTACIÓN.**

La palabra fermentación proviene del latín *fermentare* que significa ebullición ya que antiguamente en la fabricación del vino las formaciones de burbujas generaban una aparente ebullición, debido al CO<sub>2</sub> producido en la fermentación. Éste es el principal proceso por medio del cual se obtiene un variado número de productos muy útiles para el hombre (Ríos, 2013)

Desde el punto de vista bioquímico es un conjunto de reacciones de oxidación-reducción que realizan unos microorganismos sobre compuestos de naturaleza orgánica, en ausencia de oxígeno y que libera energía y materia orgánica que según sus propiedades y características determinan el tipo de fermentación. Desde el punto de vista microbiológico es un proceso, en presencia o ausencia de oxígeno, donde microorganismos generan enzimas que descomponen sustancias orgánicas y en consecuencia se producen metabolitos o biomasa de los mismos microorganismos (Atkinson *et al.*, 1998)

Los procesos biológicos pueden clasificarse, según el orden creciente de complejidad en: fermentaciones, procesos fisiológicos elementales, y acción de seres vivos. A su vez las fermentaciones pueden dividirse en dos amplios grupos: las promovidas y catalizadas por microorganismos o microbios (levaduras, bacterias, algas, mohos, protozoos) y las catalizadas por enzimas (productos químicos producidos por microorganismos). En general, las fermentaciones son reacciones en las que una sustancia orgánica se convierte en producto por la acción de microorganismos o de enzimas.

Ahora bien, la gran variedad de productos que se obtienen con la fermentación se debe sus variados tipos. De del punto de vista de producto final obtenido se puede realizar la siguiente clasificación:

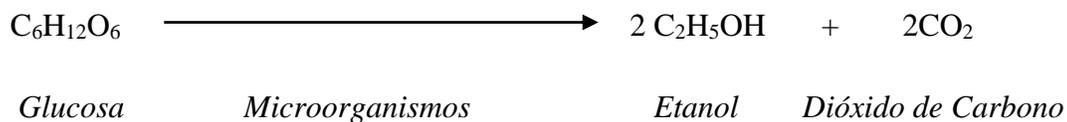
- Fermentación Acética.
- Fermentación Butírica.
- Fermentación de la Glicerina.
- Fermentación Láctica.
- Fermentación Alcohólica.

Para el fin del presente proyecto se estudiará y analizará la fermentación alcohólica:

### 2.1.1. Fermentación Alcohólica.

La fermentación alcohólica es un proceso bioquímico provocado por la acción de microorganismos sobre los azúcares de un medio, convirtiéndolas principalmente en etanol, y acompañado de la generación de gas carbónico (Jurado *et al.*, 2009).

Esta fermentación puede representarse por la ecuación estequiométrica de Gay –Lussac (Pinney, 2012).



A nivel estequiométrico, esta reacción parece ser sencilla, pero la secuencia de transformaciones para degradar la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos de dióxido de carbono es un proceso muy complejo, puesto que al mismo tiempo la levadura debe

utilizar la glucosa y otros nutrientes adicionales para poder reproducirse (Vázquez y Dacosta, 2007).

En la fermentación alcohólica el 90-95% de los azúcares se convierten en etanol y dióxido de carbono y solamente un 1-2% en material celular y un 4-9% en metabolitos secundarios como glicerol, ácido acético, alcoholes superiores y ésteres (Boulton, 1996).

El rendimiento estequiométrico teórico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de dióxido de carbono por 1 gramo de glucosa. En realidad, es difícil obtener este rendimiento por que como se mencionó anteriormente la levadura utiliza glucosa para la producción de otros metabolitos indispensables para su crecimiento y desarrollo. El rendimiento experimental varía entre el 90 y el 95 % del teórico, y en la industria varía del 87 al 93 % del teórico (Vázquez y Dacosta, 2007).

En el proceso de fermentación los monosacáridos obtenidos en los procesos de hidrólisis son transformados hasta etanol con microorganismos. Los microorganismos comúnmente empleados para la transformación de los azúcares presentes en los hidrolizados son en general los que incluyen la familia de *Saccharomices* y *Zymomona mobilis* (Aguilar, 2011). Ahora bien, existe también el proceso de obtención de etanol por medio de microorganismos nativos de la solución a fermentar; en el presente estudio NO se realizará uso alguno de levaduras comerciales, sino que la fermentación se realizará de forma espontánea.

La fermentación de tipo industrial está enfocada, en aumentar la eficiencia de los fermentadores con el fin de obtener mejores resultados en cuanto a productos, empleando teorías de control, en las variables que determinan la eficiencia del proceso como lo es la temperatura, contaminaciones, pH, niveles de alcohol, concentraciones del sustrato, entre otras (Biocombustibles, 2007).

#### **2.1.1.1 Etanol.**

El etanol, también conocido como alcohol etílico, es un líquido incoloro de fórmula química  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  (o también expresado como  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), inflamable, de olor y sabor agradable, miscible en agua en todas sus proporciones y con la mayoría de los disolventes orgánicos (Camarillo, 2011).

El etanol se produce por medio de la destilación para diferentes fines; en la fermentación alcohólica se produce para su consumo como bebida alcohólica y como combustible. En el presente proyecto se producirá etanol como bebida alcohólica.

#### **2.1.1.2 Las Bebidas alcohólicas.**

Las bebidas alcohólicas evidentemente son producto del proceso de la fermentación alcohólica. En este proyecto se estudiará la producción de un aperitivo proveniente de la fermentación de la panela, esta bebida en cuestión posee las características fisicoquímicas propias de las bebidas alcohólicas destiladas. A continuación, se muestra una clasificación:

- **Bebidas alcohólicas fermentadas:** Las bebidas alcohólicas fermentadas son aquellas bebidas que se obtienen tras transformar en alcohol etílico los azúcares que contienen determinadas frutas, raíces o granos de plantas. Éstas poseen una concentración de alcohol que no superan los 15 °GL, mediante este proceso tienen un grado alcohólico que oscila entre los 5 y 15 grados. Las bebidas alcohólicas fermentadas más conocidas (y más antiguas) son por ejemplo el vino, la cerveza o la sidra.
- **Bebidas alcohólicas destiladas:** Éstas bebidas alcohólicas son aquellas que se obtienen a través del proceso de destilación, por el cual se le aumenta a una bebida fermentada la concentración de alcohol etílico. Estas bebidas suelen tener un grado alcohólico de entre 15 y 45 °GL.
- **Bebidas alcohólicas fermentadas mezcladas con destilados:** Las bebidas alcohólicas fermentadas mezcladas con destilado alcohólico. Para que estas mezclas puedan llamarse vinos si grado alcohólico no debe ser mayor de 20 °GL.

#### **2.1.1.3. Aperitivo como bebida alcohólica.**

Un aperitivo es una bebida alcohólica de no más de 15° de alcohol. Ésta se caracteriza por tener menos alcohol que las demás bebidas destiladas Se le atribuye ser la bebida que estimula el apetito; en este caso, por una bebida alcohólica.

Se producirá un aperitivo destilado de la fermentación de proporciones específicas de panela, azúcar y agua de manera espontánea para imitar las costumbres de la idiosincrasia Wayuu que produce etanol a mayores concentraciones de manera artesanal.

### **2.1.2. Materias Primas del Proceso Fermentativo.**

Las materias primas para producir etanol con fin de bebida alcohólica de 15° GL serán panela, azúcar y agua. Éstas relacionan la cultura de producir la bebida autóctona de La Guajira (costa norte colombiana) nombrada como “Chirrinche o Chirrinchi”. Su importancia para el proceso fermentativo se relaciona en los siguientes apartados,

#### **2.1.2.1. Panela.**

La panela es un producto sólido, obtenido del jugo de caña, nutritivo por sus azúcares y minerales, de color café y sabor dulce. Este producto es otro tipo de azúcar o azúcar integral, conocida también como atado, raspadura y chancaca (Quezada, 2007).

La panela se obtiene por medio de la evaporación del jugo de la caña y la cristalización de la sacarosa. A diferencia del azúcar comercial, esta no se somete a ningún tratamiento de refinado, centrifugación o depuración; por ende, posee todas las vitaminas y minerales propias de la caña de azúcar. Su importancia para el proceso fermentativo en la producción del aperitivo aún no es totalmente clara ya que posee, así como el azúcar comercial altas cantidades de glucosa, sacarosa y fructosa; sin embargo, no puede quitarse del proceso productivo si lo que se desea es replicar a gran escala producir la bebida autóctona de La Guajira.

#### **2.1.2.2. Azúcar.**

Al igual que la panela, el azúcar se produce a partir de la caña de azúcar y en menores proporciones a partir de la remolacha. Del total de azúcar producido en el mundo dos terceras partes provienen del procesamiento de caña de azúcar y un tercio del procesamiento de la remolacha y de otras fuentes. (Peraza, 2006).

El azúcar refinado es usado en gran medida dentro del proceso de fabricación de bebidas alcohólicas destiladas. En la producción industrial se selecciona un producto totalmente exento de cualquier impureza, clarificado, descolorido, sin olores ni sabores extraños.

(López, 2004). Cabe destacar que éste se usa en menores proporciones que la panela en la producción de etanol como bebida alcohólica comercial.

### **2.1.2.3. Agua.**

El agua es un compuesto químico formado por dos gases: hidrogeno y oxígeno. Su molécula se compone de dos átomos de hidrogeno y uno de oxigeno ( $H_2O$ ). En estado puro es incolora, inodora e insípida. En estado natural nunca es totalmente pura, pues contiene gases y sustancias minerales disueltas, y en algunos casos, microorganismos en suspensión.

El agua que se emplea en la elaboración de licores no debe ser dura; es decir, no debe contener cal y otros minerales disueltos ya que al mezclarla con etanol existe el riesgo de formar precipitados que enturbiarían al líquido. Lo mejor es utilizar agua potable tratada. (Limón, 2010).

## **2.1.3. Variables del Proceso Fermentativo.**

### **2.1.3.1. Temperatura.**

La fermentación puede tener lugar entre el rango de temperaturas 13-35 °C (Gonzales, 1978). La temperatura influye en la cantidad de etanol que se obtiene en la fermentación, así, si se quiere obtener mayor grado alcohólico en la bebida se emplean temperaturas bajas, por el contrario, si se requiere baja graduación alcohólica se utilizan temperaturas altas (Recalde, 2010). Sin embargo, la subjetividad de los términos “temperaturas altas y bajas” pueden generar hincapié a ambigüedades técnicas; para ello, lo mejor es cerciorarse de la temperatura de fermentación de las levaduras a usar cuando se usan de tipo comercial; en casos en los que se usan microorganismos nativos de la solución a fermentar (fermentación espontánea) se deben determinar por medio de ensayos de laboratorio una temperatura en donde ocurra una mayor conversión de azúcares a etanol. En el presente estudio se realizará con pruebas de 15°C y 30°C. El utilizar una temperatura por fuera del rango establecido puede ocasionar la inhibición del crecimiento de los microorganismos o la muerte de los mismos.

### **2.1.3.2. Concentración de Azúcares.**

La concentración de azúcar debe mantenerse en niveles bajos, del 10 al 22 % de concentración es satisfactoria, ya que al utilizarse concentraciones muy altas inhiben el crecimiento de las levaduras (Campúes *et al.*, 2011).

### **2.1.3.3. El pH.**

La fermentación alcohólica se da satisfactoriamente cuando el pH del mosto ha sido ajustado entre 4 y 4.5. Este pH favorece a las levaduras y es lo suficientemente bajo para inhibir el desarrollo de muchos tipos de bacterias (Gonzales, 1978).

Durante las fermentaciones se utiliza generalmente ácido sulfúrico para ajustar el pH del medio, aunque el ácido láctico o el acético son también satisfactorios para el desarrollo de las levaduras (Jurado *et al.*, 2009).

## **2.1.4. Limitantes de la Fermentación.**

Aunque generalmente el proceso de obtención y producción de etanol suele tener altos rendimientos (en comparación de otros bioprocesos), la fermentación alcohólica posee también algunas variables que representan unas limitantes para el rendimiento final, son casi las mismas variables mencionadas en el anterior apartado.

### **2.1.4.1. Concentración de alcohol.**

Las levaduras ya sean nativas o comerciales presentan cierta resistencia a las concentraciones de alcohol que se producen durante la fermentación, debido a que el etanol, inhibe el transporte de D-xilosa, amonio, glicina y algunos aminoácidos, así como afecta la función y estabilidad de algunas enzimas citoplasmáticas como la hexoquinasa, debido a que a concentraciones críticas de etanol, se presenta la formación de un complejo hexoquinasa-etanol el cual puede detener la reacción glucosa a glucosa-6 fosfato. En conclusión, la tolerancia al alcohol depende de la habilidad de la célula para exportar el etanol del interior

al medio externo, un proceso que depende de la composición de la membrana y de la fluidez de la misma.

La célula modifica la composición en ácidos grasos de la membrana para minimizar los efectos de la fluidez que produce el etanol, de la misma manera la adaptación de las levaduras al etanol también obedece a una modificación de la composición lipídica de las membranas debido básicamente a un enriquecimiento de las mismas en esteroides y ácido grasos de cadena larga, de esta manera para las levaduras poder adaptarse a altas concentraciones de alcohol debe existir un aumento del contenido de ácidos grasos insaturados con respecto a los saturados y un aumento en la longitud de las cadenas carbonadas de los ácidos grasos (Tomasso, 2004), (Garzón , Hernández, 2009).

#### **2.1.4.2. Acidez del sustrato.**

El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación debido a que las levaduras se ven afectadas por el ambiente en el cual se desarrollan es decir alcalino o ácido. Las levaduras tienen rango óptimo de pH que va desde 3.5 hasta 5.5. En el proceso de fermentación, el pH tiende a disminuir debido a la producción de ácidos, formados al tomar los nitrógenos de los aminoácidos perdiendo su carácter anfótero. En los procesos industriales, se hace uso de soluciones tampón para mantener niveles óptimos de acidez (Ríos *et al.*, 2005), (Garzón, Hernández, 2009).

#### **2.1.4.3. Concentración de Azúcar.**

Las concentraciones altas de azúcares afectan los procesos de osmosis dentro de la membrana celular, el rango óptimo de concentración de azúcar es de 1 a 18%, puesto que a concentraciones de 22% las levaduras empiezan a tener problemas en su proceso de respiración celular (Ríos *et al.*, 2005).

Es decir, si la concentración de °brix es muy bajo el grado alcohólico obtenido será pobre; por el contrario, si la concentración de °brix es muy alto la fermentación no se efectúa, pues la presión osmótica que se ejerce sobre las levaduras es grande y no permite que actúen sobre los azúcares. (Mora, 2014)

#### **2.1.4.4. Temperatura.**

Las levaduras son microorganismo mesófilos, por lo tanto, su temperatura no puede sobrepasar los 50 °C, puesto que a esta temperatura o temperaturas superiores se produce su muerte. Debido a que la fermentación es un proceso exotérmico, se debe mantener en el mismo un control de temperatura para mantener la temperatura en su valor óptimo que es de 30 °C.

#### **2.1.4. 5. Levaduras.**

Las levaduras son un grupo de hongos unicelulares cuya actividad ha sido siempre de gran importancia, estos organismos son abundantes especialmente en donde existe la presencia de azúcares y son capaces de transformar los hidratos de carbono en alcohol y CO<sub>2</sub>. Estos microorganismos también necesitan los elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio, hierro, cinc, manganeso, cobre y molibdeno. (Mora, 2014).

Las levaduras nativas poseen un cuidado similar a las comerciales; es necesario no someterlas a variaciones amplias de temperatura y pH para garantizar que realicen el trabajo de transformación química.

#### **2.1.5. Cinética De La Fermentación Alcohólica.**

El cultivo inicia al inocular la levadura o en su defecto al preparar la solución a fermentar cuando se va a realizar una fermentación espontánea. Sin importar esto, inicialmente predomina el metabolismo aerobio a expensas del O<sub>2</sub> disuelto en el mosto; cuando éste se termina, se establece el metabolismo anaerobio, que se ve favorecido por la saturación del medio con el CO<sub>2</sub> desprendido. En esta etapa, la cinética de producción de etanol se presenta relacionada directamente con las cinéticas de crecimiento microbiano y de consumo de sustrato (Quintero, 1993).

El crecimiento poblacional en las levaduras es el resultado de la división celular y la progresión del ciclo celular. Bajo condiciones de crecimiento adecuadas, la cinética de crecimiento en las levaduras responde a una curva de crecimiento microbiana típica, que

comprende cuatro fases principales: fase de latencia, fase exponencial, fase diáuxica y fase estacionaria (Navarro, 2016).

### 2.1.5.1. Modelo Cinético de Monod.

Este modelo se usa ampliamente en el modelamiento cinético de la fermentación alcohólica. El modelo cinético de Monod que describe la interacción entre el crecimiento de microorganismos en un cultivo por lotes y la utilización del sustrato limitativo del crecimiento en aquellos sistemas donde prácticamente todo el sustrato es transformado en biomasa. Este modelo expresa:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\mu_{m\acute{a}x} S}{k_s + S} \quad (2)$$

$$X - X_0 = Y(S_0 - S) \quad (3)$$

Donde  $X_0$  y  $S_0$  son los valores iniciales de la concentración de la biomasa y del sustrato limitante que en este caso es la glucosa. Ahora bien,  $k_s$  se obtiene cuando  $\mu = \mu_{m\acute{a}x}$  sustituyendo  $\mu$  y  $S$  en la ecuación (1) se obtiene:

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu_{m\acute{a}x}(YS_0 + X_0 + X)X}{k_s Y + S_0 Y + X_0 + X} \quad (4)$$

Donde,

$Y$ =Rendimiento Celular.

$K_s$ = Constante de Michaelis-Menten (g/L).

$\mu_{m\acute{a}x}$ =Velocidad Específica Máxima de Crecimiento.

Para lo cual (según el modelo de la ecuación modificada de Michaelis-Menten), la velocidad de reacción se plantea de la siguiente manera:

$$-r_A = k_1 C_C \left( \frac{C_A}{k_2 + C_A} \right); \text{ o de forma análoga, } -r_A = \frac{r_C}{C} = \frac{r_R}{R}$$

## 2.2. DESTILACIÓN.

Una mezcla de dos líquidos miscibles destila a una temperatura que no coincide con las temperaturas de ebullición de los dos líquidos componentes de la mezcla. Esta temperatura puede ser intermedia entre las dos: superior o inferior. El vapor que se desprende no tiene la composición del líquido original, sino que es más rico en el volátil (Angurell, I. et al., S.F).

En el caso de la mezcla etanol-agua nos encontramos con una destilación azeotrópica, ya que usando técnicas normales de destilación, el etanol solo puede ser purificado a aproximadamente el 95 %. Una vez que se encuentra en una concentración de 95/5 % etanol-agua, los coeficientes de actividad del agua y del etanol son iguales, entonces la concentración del vapor de la mezcla también es de 95/5 % etanol-agua, por lo tanto destilaciones posteriores son inefectivas (Guerra *et al.*, 2008)

La destilación se utiliza ampliamente en la obtención de bebidas alcohólicas, en el refinado del petróleo, en procesos de obtención de productos petroquímicos de todo tipo y en muchos otros campos de la industria (Angurell, *et al.*, S.F).

### 2.2.1. Destilación diferencial o por lotes.

En la destilación diferencial o por lotes, se da de manera discontinua en una sola etapa, en la cual, la concentración del componente más volátil dentro de equipo disminuye y la temperatura aumenta.

Las consideraciones teóricas para esta destilación, son que se debe llevar a cabo con un calentamiento muy lento, sin reflujos, que el líquido remanente y el vapor que se generó se encuentran en el equilibrio, además no debe existir enfriamiento o condensación del vapor, antes de llegar al condensador. La descarga del condensado para esta destilación, debe retirarse tan pronto como se haya formado (Treybal, 1988).

## **2.3. EL PROCESO PRODUCTIVO A GRAN ESCALA.**

### **2.3.1. Fermentación.**

En el proceso productivo a gran escala se presentan algunas formas típicas de fermentación, las dos más empleadas son la fermentación discontinua y la fermentación continua. Para efectos del presente estudio se realizará la fermentación a escala industrial con la fermentación discontinua.

#### **2.3.1.1. Fermentación en Discontinuo.**

La fermentación discontinua o llamados también procesos (tipo Batch o lote) son de gran importancia dentro de la biotecnología y son de gran uso industrial. Las técnicas que se llevan a cabo dependerán si el proceso es aerobio o anaerobio. Un proceso discontinuo o (Batch) puede considerarse como un sistema cerrado. A tiempo cero, la solución esterilizada de nutrientes se inocula con microorganismos y se permite que se lleve a cabo la fermentación en condiciones óptimas. A lo largo de la fermentación no se adiciona nada, excepto ácidos o bases para controlar el pH. La composición del medio, la concentración de sustrato, la concentración de biomasa y la concentración de metabolitos cambia continuamente como resultado del metabolismo de la célula. (Pauline, 1998)

Dentro de las principales ventajas de un proceso por lote se tienen: bajo riesgo de contaminación, flexibilidad operacional cuando el fermentador se utiliza para distintos productos, manejo eficiente entre lote y lote y costos de operación bajos (Gummadi, 2007).

Las principales desventajas de este modo de operación son tiempos muertos largos que se presentan al momento de vaciar, limpiar y esterilizar el biorreactor para la siguiente fermentación; adicionalmente, este proceso requiere de mucha mano de obra (Atkinson, 2008).

### **2.3.2. Destilación.**

La destilación es un proceso de separación física de una mezcla en dos o más productos que tienen diferentes puntos de ebullición. A pesar de su baja eficiencia termodinámica, la destilación, es un proceso unitario que ha sido utilizado durante años y continúa siendo el primer método de separación en plantas de procesamiento. Aunque la destilación tiene una baja eficiencia termodinámica, muchos otros procesos no son más eficientes, por lo tanto, se dice que la destilación es la mejor y más económica técnica para lograr la separación de los componentes líquidos (Asuaje, 2008).

La destilación es un método para separar los componentes de una solución; depende de la distribución de las sustancias entre una fase gaseosa y una líquida, y se aplica a los casos en que todos los componentes están presentes en las dos fases. En vez de introducir una nueva sustancia en la mezcla, con el fin de obtener la segunda fase (como se hace en la absorción o desorción de gases) la nueva fase se crea por evaporación o condensación a partir de la solución original (Treybal, 1988).

La importancia de las columnas de destilación dentro de la industria se debe a que es la que le provee mayor pureza a los productos y con ello mayor valor agregado a los mismos (Luyben, 1996). Así, la destilación es probablemente una de las operaciones más ampliamente empleada en la industria ya que su aplicación va desde la destilación de alcohol hasta el fraccionamiento del petróleo (Cristea y Rueda, 2003).

## **2.4. IMPLEMENTACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA.**

Las Buenas Prácticas de Manufactura son un conjunto de criterios, guías y normas que conducen a una práctica o maneras de actuar, que permiten la elaboración de alimentos de inocuidad comprobada y de calidad y desempeño que cumplan con las expectativas de los clientes. La aplicación de BPM necesita del desarrollo de los Programas estándares de saneamiento; los cuales consisten en una descripción detallada de los procedimientos y técnicas de higiene y sanitización de toda la planta. Estos Programas involucran los siguientes aspectos: procedimientos de limpieza y sanitización, higiene del personal, control de plagas, suministro de agua, disposición de desechos (Castillo *et al.*, 2008).

### **2.4.1. Marco Legal Colombiano.**

En Colombia el Ministerio de Protección Social y del Trabajo es el organismo normativo en Colombia de políticas en materia de calidad e inocuidad de los alimentos y elaborador de los reglamentos técnicos para ser aplicados, por las autoridades sanitarias territoriales, ya sean departamentales, municipales o industriales y por el Instituto Nacional de Medicamentos y Alimentos (INVIMA).

El decreto 3075 del 23 de diciembre de 1997, emanado por el ministerio de protección social, establece el marco legal que reglamenta el título V “alimentos” de la ley novena de 1979 o código sanitario nacional.

Según el decreto 3075/1997 las BPM se implementan para:

- Producir alimentos seguros e inocuos y proteger la salud del consumidor.
- Para sensibilizar, capacitar y enseñar a los técnicos y manipuladores en todo lo relacionado con las practicas higiénicas.

### **2.4.2. Política de Calidad de la Empresa Awarala.**

Actualmente, los procesos de fabricación y venta de bebidas alcohólicas requieren nuevos y mejores desarrollos técnicos que permitan proveer al cliente final la tranquilidad de consumir productos que no afectarán su salud o calidad de vida.

Los cambios de los últimos años en la reglamentación nacional acerca de la seguridad en Bebidas Alcohólicas se orientan a garantizar que las instalaciones y el proceso en general sea higiénico, lo anterior implica el cumplimiento de protocolos estándares en la medición de variables antes, durante y después del proceso de producción de alcohol en cualquiera de sus presentaciones y forma.

Awarala S.A.S se compromete a producir, comercializar y brindar un aperitivo de la mejor calidad que satisfaga las necesidades y expectativas de los clientes mediante sistemas de gestión eficaces y en continuo mejoramiento. Se deben mantener procesos administrativos y productivos eficientes y eficaces con el compromiso de funcionarios competentes, procurando alta rentabilidad y competitividad, y evaluados mediante índices de gestión para el logro de nuestros objetivos.

La política de calidad se convierte entonces en uno de los principales objetivos y compromisos adquiridos por la empresa con el fin de brindar al consumidor final la seguridad de un producto hecho con los más altos estándares supervisados por las entidades competentes. Para lo anterior, se pretende en un primer plano obtener el Registro Sanitario para poder comercializar la bebida alcohólica que en cuestión se produce.

### **2.4.3. Programas de Buenas Prácticas de Manufactura.**

Los Programas consisten en un documento que contiene todo lo referente al proceso de implementación de las BPM, es el soporte que demuestra la inocuidad y calidad de los productos que se procesan en una empresa (Albarracín *et al.*, 2005).

En general, los programas contienen lo siguiente:

1. Políticas y objetivos de la calidad sanitaria.
  - Misión y visión.
  - Organigrama equipo BPM.
  - Flujograma descriptivo y procedimientos operativos estándar del proceso.
  - Plano de distribución de la Planta.
2. Descripción técnico sanitaria según decreto 3075/97.

3. Programas prerrequisitos.
4. Formatos de procedimientos.
5. Formatos de recomendaciones.
6. Formatos de inspección.
7. Información complementaria para cada programa.
8. Glosario (Castillo *et al.*, 2008).

## **CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **3.1. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

#### **3.1.1. Fuente de información primaria.**

La fuente de información primaria fueron los datos obtenidos por las pruebas experimentales de fermentación a dos temperaturas realizadas en las instalaciones de la empresa Awarala S.A.S (Riohacha) y la Universidad de Pamplona (Pamplona). El etanol y el agua fueron los dos compuestos a los que se le realizó análisis instrumentales con el fin de asegurar la calidad del proceso productivo.

#### **3.1.2. Fuentes de información secundaria.**

Para el proceso de producción de alcohol destilado se realizaron algunas entrevistas a la población Guajira que producen el “Chirrinche” de manera artesanal con el fin de determinar algunas condiciones del proceso y detalles de la preparación del mosto.

### **3.2. ETAPAS DE DESARROLLO.**

Para el logro de los objetivos propuestos se plantearon las siguientes etapas:

#### **3.2.1. Etapa I. Ensayos de Laboratorio.**

Se realizaron tres estudios de fermentación a escala laboratorio los cuales se relacionan a continuación,

### 3.2.1.1. Estudio Del Sustrato De La Fermentación.

Se recolectaron 9 marcas de panela de proveedores de distintos lugares de Colombia. En la tabla 1 se encuentran descritos.

Numero	Marca	Característica
1	Marca # 1	Granuladas
2	Marca # 2	
3	Marca # 3	
4	Marca # 4	En bloque
5	Marca # 5	
6	Marca # 6	
7	Marca # 7	
8	Marca # 8	
9	Marca # 9	

**Tabla 1.** Marcas de Panelas para selección de sustrato.

Con el fin de establecer la panela con la cual se obtiene la mayor cantidad de etanol se calculó el rendimiento producto-sustrato (Yps) de cada ensayo, como la relación entre el contenido final de etanol y el sustrato consumido, producto de la relación entre el contenido de azúcares finales e iniciales. Para esto, se tuvo en cuenta la cantidad de etanol obtenido con el volumen de mosto empleado inicialmente, puesto que el contenido de etanol final está dado por unidad de volumen de etanol, mientras que la concentración de azúcares iniciales está dada por unidad de volumen de mosto.

Se obtuvo adicionalmente el rendimiento porcentual del proceso como una relación entre el rendimiento real y el teórico. La productividad, por su parte se expresó como la relación del alcohol total producido, por litro de mosto en relación a los días de proceso, expresado finalmente como: ml/L-h.

Para la obtención artesanal de etanol se realizaron las siguientes etapas: Se preparó del mosto y se aseguró el medio para represente ningún tipo de contaminación para el proceso. Se definió al sustrato inicial como una dilución de panela en agua (0,30g/mL) con contenidos

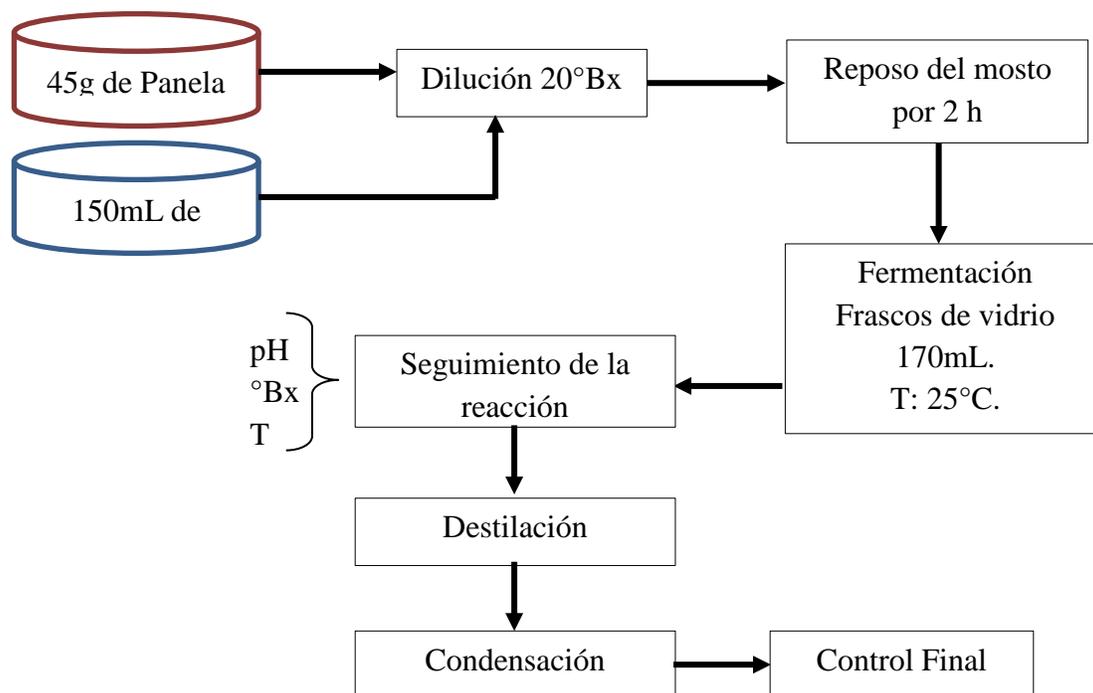
de sólidos de 20 °Bx para los 17 tipos de panela que se tienen. Las primeras 10 muestras de dispusieron en frascos de vidrio con capacidad de 200 mL y las 7 muestras restantes se almacenaron en botellas de plástico transparente.

La fermentación se desarrolló en de 15 días en condiciones de temperatura ambiente con poca iluminación solar.



**Figura 1.** Muestras de solución panela-agua. Fuente: Autores

El procedimiento para la selección de panela fue el siguiente,



**Figura 2.** Procedimientos para preparación de la Fermentación. Fuente: Autores

### 3.2.1.2. Estudio de Selección de Condiciones de Fermentación

En este ítem, los ensayos se desarrollaron con una concentración fija de panela y a una temperatura de  $30\pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $18\pm 1^{\circ}\text{C}$  (temperatura ambiente Riohacha y Pamplona).

Se procedió a realizar ensayos de fermentación variando concentración de panela y azúcar en solución acuosa teniendo asimismo como variable independiente la temperatura de fermentación y como variables intervinientes la variación de pH y grados de alcohol final. Las soluciones se prepararon con 10, 20, 30, 40 y 50 %p/p de panela en agua y 0, 25 y 50 %p/p de azúcar con respecto a la panela a adicionada. En ese sentido éstas se realizaron a 18 y  $30^{\circ}\text{C}$ .

Para ello se planteó el siguiente diseño de soluciones,

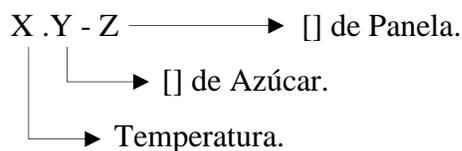
- Panela: 5 Concentraciones de Panela.
- Azúcar: 3 Concentraciones de Azúcar.
- Temperatura: 2 Temperaturas.

Lo anterior se resumen en la tabla 2:

Kg Azúcar/Kg Panela	Temperatura de Fermentación [ $^{\circ}\text{C}$ ]	
	18	30
0,0	<i>kg Panela / Litros Agua</i>	<i>kg Panela / Litros Agua</i>
	0,10   0,20	0,10   0,20
	0,30   0,40	0,30   0,40
	0,50	0,50
0,25	<i>kg Panela / Litros Agua</i>	<i>kg Panela / Litros Agua</i>
	0,10   0,20	0,10   0,20
	0,30   0,40	0,30   0,40
	0,50	0,50
0,50	<i>kg Panela / Litros Agua</i>	<i>kg Panela / Litros Agua</i>
	0,10   0,20	0,10   0,20
	0,30   0,40	0,30   0,40
	0,50	0,50

**Tabla 2.** Matriz de soluciones a preparar.

En ese sentido, se diseñó una nomenclatura para diferencias cada una de las soluciones en la concentración de azúcar y panela que consistió en 3 dígitos de la siguiente manera:



La temperatura varió de 1 y 2 (1=30°C y 2=18°C). La concentración de Azúcar varió 1 a 3 y la de Panela varió de 1 a 5. Así,

Para la panela fue,

- 1 = 0,1 Kg<sub>Panela</sub>/Litros<sub>Agua</sub>
- 2 = 0,2 Kg<sub>Panela</sub>/Litros<sub>Agua</sub>
- 3 = 0,3 Kg<sub>Panela</sub>/Litros<sub>Agua</sub>
- 4 = 0,4 Kg<sub>Panela</sub>/Litros<sub>Agua</sub>
- 5 = 0,5 Kg<sub>Panela</sub>/Litros<sub>Agua</sub>

Para el azúcar,

- 1 = 0 Kg<sub>Azúcar</sub>/Kg<sub>Panela</sub>
- 2 = 0,25 Kg<sub>Azúcar</sub>/Kg<sub>Panela</sub>
- 3 = 0,50 Kg<sub>Azúcar</sub>/Kg<sub>Panela</sub>

### 3.2.1.3. Métodos de Evaluación Físicoquímica en la Fermentación.

#### ◦ Seguimiento del pH.

Se empleó un pHmetro marca Brixco modelo 8681 para determinar el pH sumergiendo el electrodo en 10 mL de solución por día y de esta forma llevar un control de este parámetro a medida que pasaba el tiempo de fermentación obteniendo así una medida a 25°C.

#### ◦ Seguimiento de la concentración de sustrato.

A lo largo del proceso se monitoreó el contenido de los sólidos solubles de la solución, medidos como grados Brix a ±20°C, empleando un refractómetro portátil BRIXCO (Brix 0-90%) . Ya que la concentración de azúcares en la panela es un gran porcentaje de materia soluble, el contenido de sólidos solubles se empleó para expresar en términos de concentración la cantidad aproximada de azúcares en la solución evaluada,

$$X^{\circ}Brix = \frac{x \text{ g azúcar}}{100\text{g sln}}$$

$$\frac{x \text{ g azúcar}}{100 \text{ g sln}} * \rho_{mosto} \left(\frac{\text{g}}{\text{mL mosto}}\right) = \frac{x \text{ g azúcar}}{L \text{ sin mosto}}$$

◦ **Determinación grado de alcohol.**

Se determinó el grado de alcohol utilizando un Alcoholímetro Gay Lussac calibrado a 15°C con una escala 0-100% Vol, teniendo en cuenta la densidad relativa del destilado.

Este procedimiento se realizó con una alícuota de 30 mL del producto destilado en una probeta graduada e introduciendo el alcoholímetro. Inmediatamente se pudo observar el grado de alcohol en términos de °GL arrojados por el instrumento.

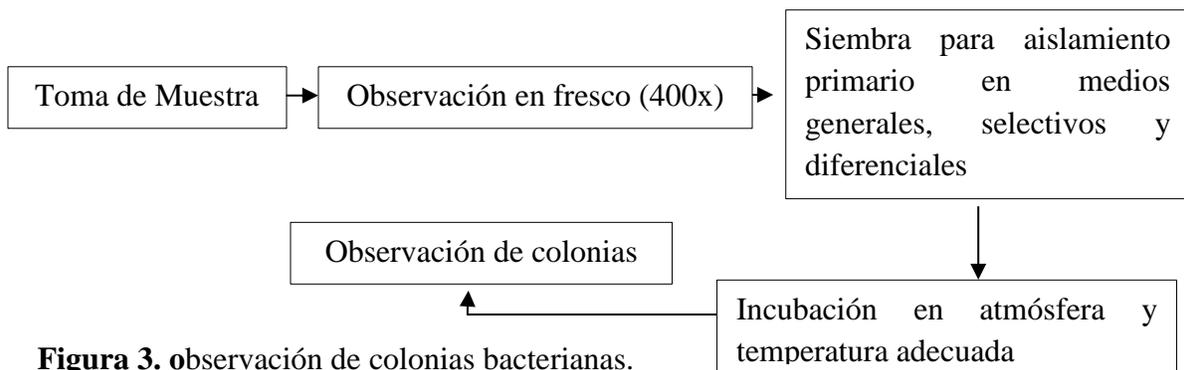
**3.2.2. Etapa II. Análisis Microbiológicos.**

**3.2.2.1. Identificación de Microorganismos.**

Con el fin de brindar mejoras a la inocuidad del proceso se realizaron ensayos de identificación de la biota microorgánica presente en la fermentación alcohólica.

El anterior procedimiento se realizó para la muestra seleccionada como óptima la cual posee una concentración inicial de 22°Brix.

Para el diagnóstico microbiano se realizó el siguiente esquema,



**Figura 3.** observación de colonias bacterianas.

Para identificación se tomaron agares de medios selectivos del laboratorio de microbiología de la universidad de Pamplona. El proceso se llevó a 18°C.

Los medios de cultivos se usaron para la identificación de bacterias y levaduras. Para las bacterias se usaron los siguientes medios,

- **Agar Nutritivo.**

El agar nutritivo es un medio de cultivo usado normalmente como rutina para todo tipo de bacteria. Es muy útil porque permanece sólido incluso a relativamente altas temperaturas. Además, el crecimiento bacteriano en este agar lo hace en la superficie, por lo que se distinguen mejor las colonias pequeñas.

En un caldo de nutrientes, la bacteria crece en el líquido, y aparece como una sustancia espesa, con colonias difícilmente observables. El agar nutritivo contiene normalmente (p/v) 0,5% de peptona; 0,3% de extracto de carne/extracto de levadura; 1,5% de agar; 0,5% de cloruro de sodio; agua destilada.

- **Medio Fluorocult® LMX.**

Este medio contiene buffer fosfatos para garantizar un alto rango de crecimiento para coliformes totales. Laurilsulfato inhibe el crecimiento de flora Gram-positiva. El sustrato cromogénico 5-bromo-4-cloro-3-indol- $\beta$ -D-galactopiranoxido que está dirigido para coliformes y sustrato fluorogénico 4-methylumbelliferyl- $\beta$ -D-glucuronide, que es altamente específico para *E. coli*, permite una simultánea detección de coliformes totales y *E. coli*. Un cambio de color del caldo Fluorocult® de amarillo a azul verdoso indica la presencia de coliformes.

En adición un azul fluorescente bajo exposición a la luz ultravioleta permite la rápida detección de *E. coli*. Como el medio posee el aminoácido triptófano, la reacción indol es fácilmente dada por adición del reactivo de Kovacs.

La formación de un anillo rojo confirma la presencia de *E. coli*. En este medio de cultivo, se obtuvieron resultados después de 24 hora de siembra.

- **Medio EMB (Eosina-azul de metileno).**  
Es un medio selectivo que permitió el crecimiento de bacilos gramnegativos, principalmente de la Familia *Enterobacteriaceae*, inhibiendo el crecimiento de las bacterias grampositivas.
- **Medio Manitol-Salado.**  
Es un medio selectivo para estafilococos. Posee manitol y ClNa en altas concentraciones. Permite detectar el uso del manitol como fuente de carbono ya que este metabolismo se manifiesta como un cambio de color del medio de naranja a amarillo, mientras que las bacterias que crecen en ClNa pero no fermentan el manitol no producen cambios en el medio de cultivo.
- **Medio XLD (Xilosa, Lisina, Desoxicolato).**  
Es un medio selectivo diferencial, utilizado para el aislamiento y diferenciación de patógenos entéricos Gram negativos, especialmente del género *Shigella*.
- **Medio MacConkey.**  
Es un medio de diferenciación selectivo para el aislamiento y la diferenciación de *Enterobacteriaceae* y diversos otros bacilos gram negativos.
- **Medio Mossel.**  
El medio de cultivo contiene dextrosa para facilitar el crecimiento de la mayoría de las Enterobacterias, de esta forma se asegura la detección del género *Salmonella Sp* y de otros microorganismos lactosa negativo. En este medio el verde brillante y la bilis son los que actúan como agentes selectivos.

Para la identificación de levaduras se usó el siguiente medio:

- **Medio PDA (Potato Dextrose Agar).**  
Es un medio de propósito general para levaduras y mohos que puede ser suplementado con ácidos o antibióticos para inhibir el crecimiento bacteriano. son

medios comunes de cultivo microbiológico que se preparan a partir de infusión de patata y dextrosa. Es el medio más utilizado para el crecimiento de hongos y levaduras que ataca el material orgánico, en este caso se usó para hacer crecer levaduras extraídas en la fermentación alcohólica.

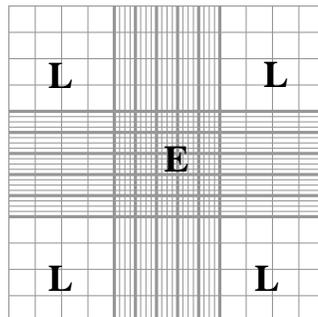
### 3.2.2.2. Conteo de Levaduras por Cámara de Neubauer.

El conteo de levaduras se realizó en el día # 13 del mejor ensayo de fermentación (21°Brix) a una temperatura de 18°C. La fermentación en el ambiente de Pamplona (Norte de Santander) es evidentemente más demorada que a 30°C del ambiente de Riohacha y por ello se tomó en este día, ya que, a la temperatura mencionada correspondía a uno de los días en los cuales las levaduras se encuentran en su fase exponencial (fermentación avivada)

Preparación de la muestra,

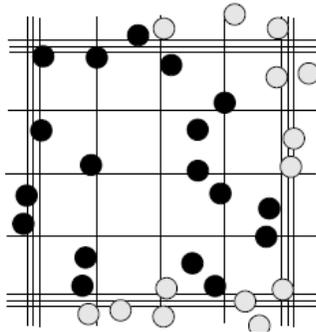
- Se lavó la cámara y el cubre con agua destilada y alcohol 96%.
- Se secó bien con papel suave.
- Se dispuso el cubreobjetos encima de la cámara.
- Se homogeneizó el cultivo en donde residen las levaduras.
- Se tomó una alícuota de muestra con una micropipeta de 100  $\mu$ l
- Se puso la punta de la micropipeta en una de las dos ranuras de la cámara.
- Se observó la aparición de las levaduras para realizar el conteo.

Para el conteo, se tomaron como referencia los cuadros señalados a continuación y se procedió a contar las levaduras,



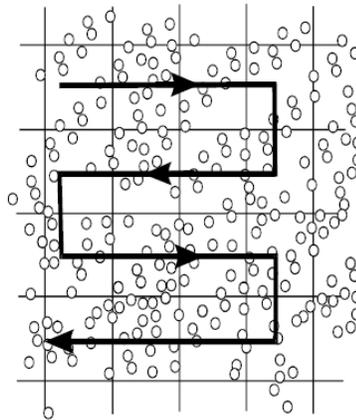
**Figura 4.** Vista superior de la Cámara Neubauer Improved. Fuente: Autores

El recuento requiere un exacto conocimiento de las líneas del retículo de la respectiva cámara de recuento. En la ilustración se ve las líneas triples del sistema Neubauer mejorado. Para las células, que están encima o cerca de las líneas de limitación, no se cuenten dos veces o se olvidan en el recuento, hay que cumplir determinadas reglas (según la figura 6).



**Figura 5.** Conteo de Cámara de Neubauer. Fuente: Autores

Se contaron todas las células que se encontraron dentro de una definida zona de medición. También las células (marcadas en negro) que tocaban o están encima de 2 líneas en un lado. El recuento empezó en el ángulo superior izquierdo en dirección de la flecha como se muestra en la figura 7.



**Figura 6.** Técnica de conteo de Neubauer Improved. Fuente: Autores

Para la determinación de la cantidad de levaduras presente en la solución se empleó la siguiente ecuación,

$$\frac{X_{\text{levaduras}}}{Y_{\text{cuadros}}} \times \frac{\# \text{cuadros cámara}}{\text{Volumen cámara}} \times \frac{1000 \text{mm}^3}{1 \text{cm}^3} = \frac{X_{\text{millones de Levaduras}}}{\text{cm}^3}$$

### **3.2.2.3. Cinética Fermentativa.**

La cinética fermentativa fue planteada según los resultados experimentales. En procedimientos de laboratorio anteriormente realizados se obtuvieron datos de la concentración de azúcar en función del tiempo de residencia de la fermentación; a partir de éstos se realizó una curva de tiempo Vs °Brix con la cual se estableció una ecuación que describía el consumo de sustrato en un tiempo  $t$ . Los análisis cinéticos generalmente se plantean en función de la concentración de la biomasa, pero teniendo en cuenta que la empresa aún no posee equipos de mediciones microbiológicas se realizó con concentraciones de azúcar y etanol en función del tiempo.

En este caso, no se usó de algún microorganismo comercial, sino que, la fermentación se realizó con los microorganismos nativos del cultivo y éstos fueron evaluados a partir de datos de variables intervinientes.

### **3.2.3. Etapa III. Diseño de Diagramas de Proceso.**

Se determino las condiciones de proceso actual, con las cuales se procedió a diseñar el Diagrama de Flujo de Proceso o PFD (Process Flow Diagram) de toda la planta, con todas las operaciones incluidas y su respectivo balance de materia. Esta etapa se realizó con la ayuda del programa Visio Profesional 2016.

### **3.2.4. Etapa IV. Simulación y Mejoras.**

Se simulo el proceso de producción de etanol implementado por la empresa teniendo presente las cantidades de entrada y salida de materia que se determinaron en la etapa I y de igual manera su temperatura de fermentación. Esta simulación se realizó en el Software Aspen Plus® V8.4.

Simular el proceso de producción de etanol con el balance de materia anteriormente definido, proporciono información para las mejoras que se realizaron a las diferentes operaciones unitarias presentes en el proceso. En este ítem se abordaron los problemas que se hayan presentado el proceso inicial de producción y se propuso un nuevo diseño para mayores rendimientos de etanol.

Igualmente se diseñó el Diagrama de Procesos e Instrumentación (Process and Instrument Diagram) para el reactor de fermentación y la columna de destilación que se propuso en las mejoras de los equipos.

### **3.2.6. Etapa VI Buenas Prácticas de Manufactura.**

Finalmente, en esta última etapa se relacionarán todos los procesos y políticas de calidad incluidos en la implementación de las Buenas Prácticas de Manufactura para las instalaciones de fábrica de producción de bebidas alcohólica. Se diseñaron todos los Programas respectivos como lo dispone el decreto 3075 de 1997 junto con las disposiciones finales y complementarias del decreto 1686 de 2012, Resolución 2674 de 2013 y Norma Técnica Colombiana n° 4976 de las buenas prácticas manufactureras en las industrias de bebidas alcohólicas.

## **CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOL DESTILADO EN LA EMPRESA AWARALA S.A.S.**

#### **4.1.1. Recepción de Materia Prima.**

En esta etapa se reciben las materias primas del proceso: Azúcar y Panela. Por otra parte, dentro del área de fermentación se encuentra el sistema de tratamiento para el agua potable. La recepción de la panela y el azúcar se hace en la bodega para materia prima, aquí se toman muestras y se analizan en el laboratorio de control de calidad y preparación de materia prima. Una vez aprobada la compra se almacena en la bodega sobre estivas. Es muy importante el realizar el control de calidad de las materias primas para garantizar el rendimiento de las mismas para la producción de la bebida alcohólica, no afectar la calidad del producto y evitar que se eleven los costos de producción.

#### **4.1.2. Preparación de Mosto.**

Una vez se tengan las materias primas en bodega se hace la preparación de la mezcla fermentar. En el tanque de fermentación (R-01) se adicionan las cantidades de panela (60Kg), azúcar (30Kg) y agua potable (300 L). La panela y el azúcar se transportan desde bodega hasta el área de fermentación. El agua se adiciona directamente desde el sistema de tratamiento.

#### **4.1.3. Fermentación.**

La fermentación es una de las etapas más importantes del proceso, en esta se transforman los azúcares en etanol. El mosto preparado contiene una gran variedad de microorganismos como mohos, bacterias, levaduras e incluso protozoos. Sin embargo, son las levaduras y las bacterias las que empiezan a sobrevivir y multiplicarse en este medio.

Al adicionar las materias primas en el fermentador se procede a mezclar muy bien y se toman las variables de control de la fermentación. Se debe verificar que en el día 1 se disuelva por completo la panela y el azúcar en el agua.

Las siguientes son las variables de la fermentación alcohólica que se realiza en la empresa,

- Temperatura:  $30 \pm 3$  °C.
- Tiempo: 10-11 días.
- pH: 6,5 hasta 3,2.
- Concentración de Azúcares Inicial: 22 °Brix.

#### **4.1.4. Destilación.**

Una vez terminada la fermentación se pasa por el filtro y se trasvasa al destilador. El resultado de la destilación se divide en tres fracciones en el siguiente orden Cabezas-Flemas-Colas. La mejor parte de la destilación son las flemas las cuales se obtienen a partir de los 78 a 82°C a una concentración de  $\pm 40$ °GL.

Las sustancias más volátiles son las primeras en salir (Cabezas) por tener bajos puntos de ebullición (acetona, metanol y varios ésteres). Se deben separar los primeros 50ml por cada 25L de destilado cuando se utiliza un alambique de columna o 100 ml por cada 20L cuando se utiliza un alambique tradicional. Las cabezas se deben recoger desde 55°C a 65°C, éstas tienen un sabor amargo y un tono oscuro. Las colas tienen alcoholes con un punto de ebullición más elevado como son los furfurales que producen en el destilado un mal sabor. En la elaboración del aperitivo Asawaa® se lleva a cabo un proceso de destilación simple o diferencial de tipo discontinuo, es decir, de carga y descarga.

El mosto fermentado se filtra y se carga al alambique. Se enciende el sistema de calentamiento y una vez el mosto fermentado alcance la temperatura de ebullición del etanol, éste se obtendrá por el tope del alambique.

El etanol fluye por el serpentín, el cual al entra, en contacto térmico con el agua almacenada en los dos condensadores (E-01 y E-02) a temperatura ambiente, gracias al intercambio de

calor permite que el etanol cambie de fase vapor a líquido. Éste llega al tanque de producto final.

#### **4.1.5. Ajuste de Concentración**

Al obtener el etanol condensado se monitorea periódicamente durante la destilación la graduación alcohólica parcial y global del líquido, hasta obtener la graduación alcohólica global deseada en la bebida, es decir de 35-40° GL.

Una vez transcurrido el tiempo de destilación, se van tomando alícuotas del etanol que se va obteniendo al final del condensador #2, en el momento en el que se obtenga en concentraciones menores a 15°GL se detendrá la recolección. Se deben medir los °GL finales del tanque de producto final y ajustar en solución acuosa a 15°GL.

En este mismo tanque se adicionan las cantidades de aditivos calculadas que dependen del volumen total recolectado.

#### **4.1.6. Embalaje.**

Una vez se tenga listo el producto en el tanque final de almacenamiento, se procede trasvasar la solución a la llenadora de botellas

Al pasar el producto a la embotelladora comienza el proceso de embalaje global. Primero se llenan las botellas según el procedimiento de uso de la embotelladora (EM-01); luego se pasan las botellas a la sección de preparación de envases y se procede a taparlo, etiquetarlo, introducirlo en su caja primaria y secundaria.

Se realizará control de calidad de empaques y etiquetas durante todo el embalaje identificando alguna falla y corrigiendo el error. Se tomarán registros del lote de producción.

## **4.2. DESCRIPCIÓN EQUIPOS.**

Teniendo en cuenta los resultados de balance de materia, rendimiento, productividad y pruebas sensoriales del Chirrinchi obtenido en el presente ensayo, se realizó el diseño de los

equipos necesarios para la producción en planta de dicha bebida. El diseño incluye las dimensiones, material y ubicación en el área de producción.

A continuación, se describe cada uno.

- **Tanque de fermentación.**

Para el proceso de fermentación se hacía uso tanques cilindro-cónicos termoaislados de acero inoxidable (AISI 304) con una altura de 100 cm, diámetro de 60 cm y un volumen de 300L. Los tanques deben tener características de fácil lavado y mantenimiento, con un sistema de venteo por donde se expulsará el CO<sub>2</sub> producido en la fermentación y un filtro especialmente diseñado para que el mosto que se descargue hacia el alambique se encuentre libre de partículas sólidas. Por tratarse de una circulación por gravedad es necesario asegurar la altura de los tanques, los cuales tendrán bases del mismo material de 1,30 m de alto, garantizando que la descarga del mosto esté a 1 m sobre el suelo. Esto debido a que la alimentación del alambique se encuentra a 80 cm de altura.

- **Alambique (Destilador).**

Se cuenta con un alambique de acero inoxidable AISI 304 en forma cilíndrica que tiene una capacidad de 192,5L de almacenamiento. En este equipo se alimentará el mosto fermentado para ser destilado a una temperatura aproximada de 78°C. Para garantizar esta variable, el equipo contará con un controlador de temperatura, además, tendrá un sistema de fácil limpieza, mantenimiento y drenaje para descargar el mosto que resulte de la destilación, el cual, se puede usar como activador de una nueva fermentación.

- **Tanques con Serpentes.**

El vapor producido en la destilación debe proceder a la etapa de condensación para obtener el aguardiente de caña o como mejor se llama, Chirrinchi Wayuu. Este sistema consta de dos tanques fabricados en acero inoxidable que en su interior tienen un serpentín de 4 m de longitud lineal distribuido en los dos tanques. El diámetro de tubería es de 1" por el cual se obtiene finalmente un producto destilado de 40°G.L.

- **Lavadora de Botellas.**

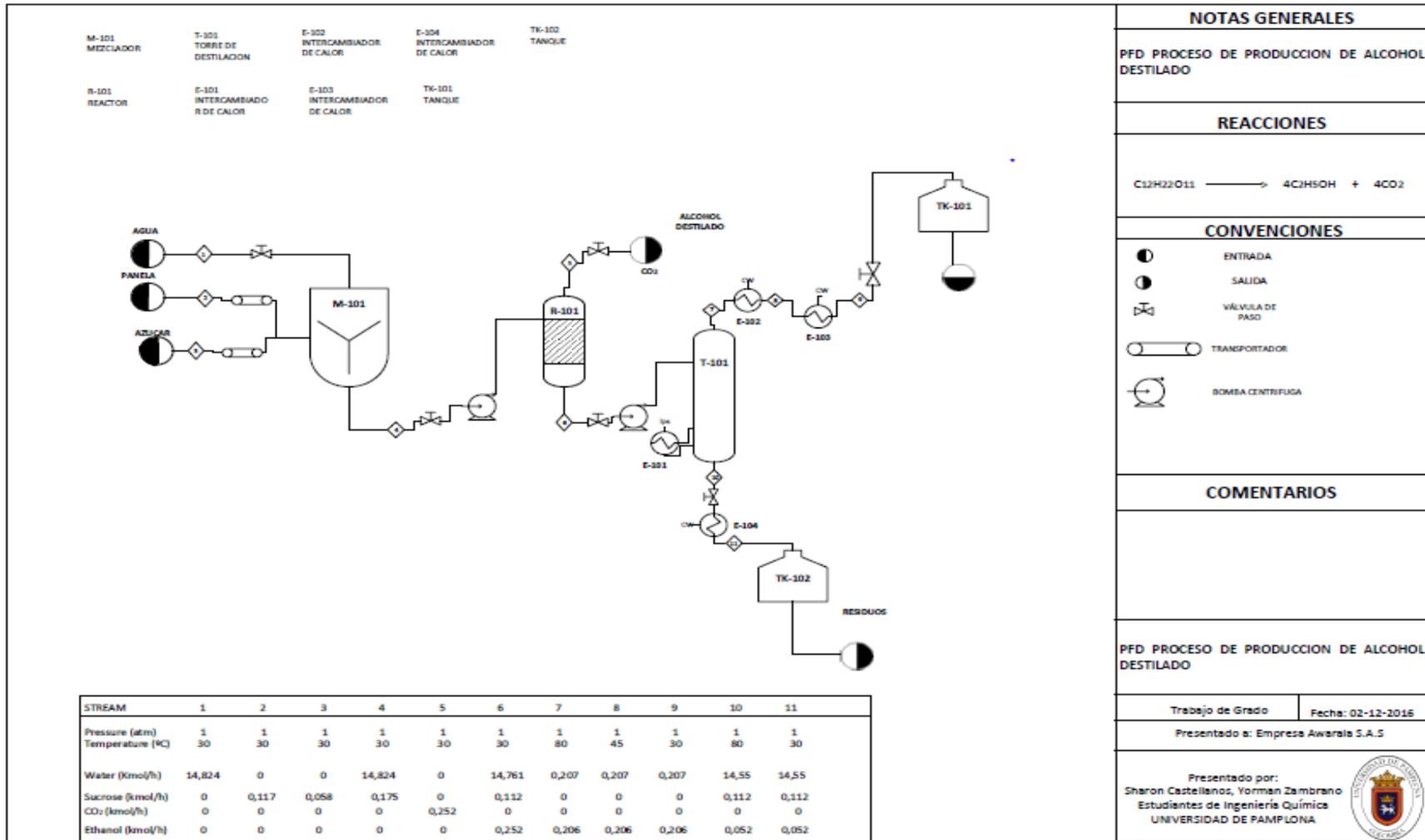
El lote obtenido en la etapa de producción debe cumplir con todas las pruebas y ensayos de calidad establecidos por la empresa.

Una vez se realicen los procedimientos necesarios para comprobar que la bebida es apta para el consumo, esta debe ser envasada en botellas de vidrio en presentaciones de 350 mL. Dichos envases deben ser previamente lavados con solución hidroalcohólica en una maquina dispuesta para este fin.

- **Llenadora de Botellas**

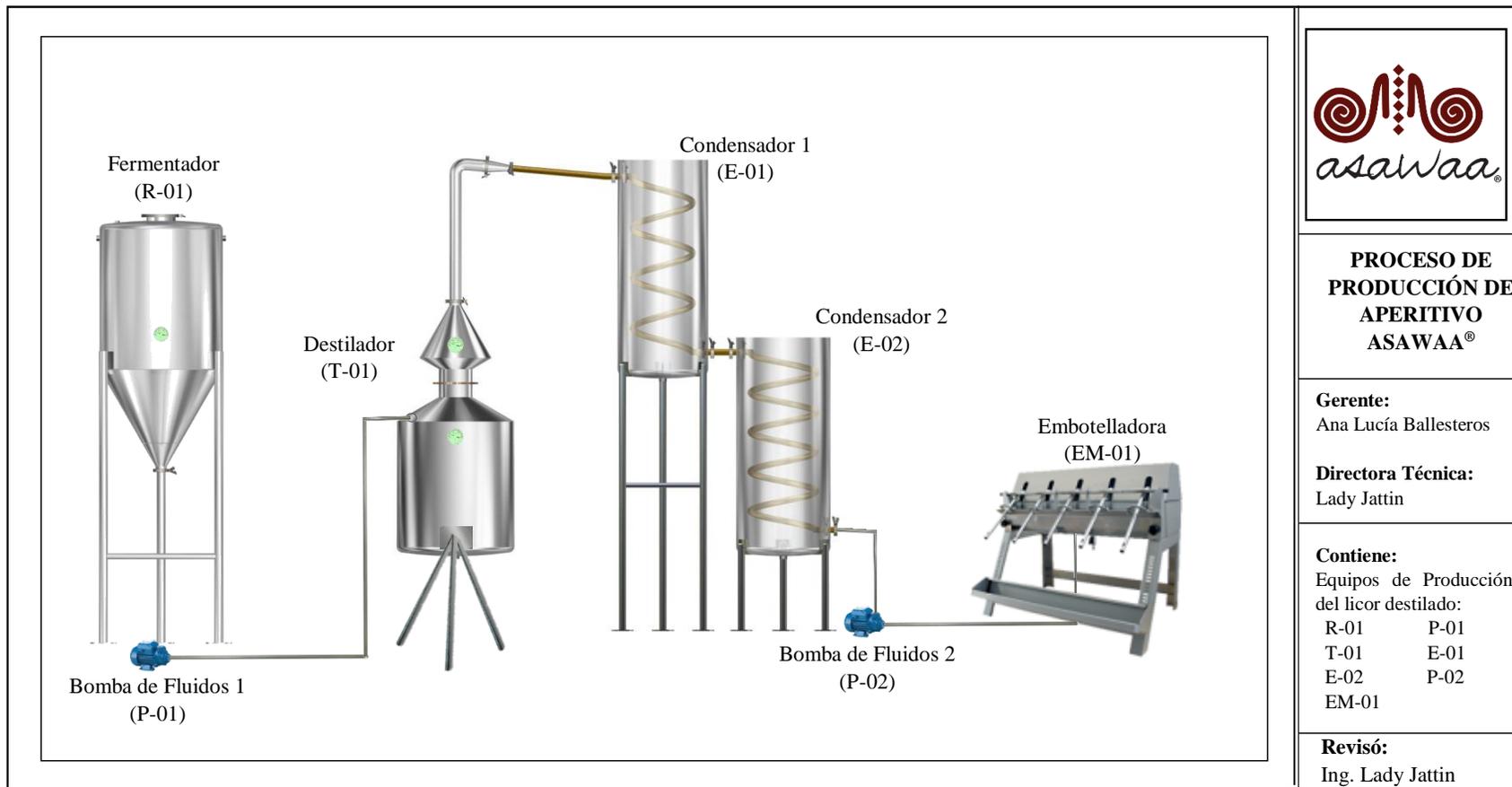
Una vez se tengan envases perfectamente limpios se deben disponer en una maquina llenadora de botellas para cargarlas con el Chirrinchi obtenido en la etapa de producción. De acuerdo al balance de materia del ensayo piloto se estima que se pueden producir alrededor de 100 botellas diarias.

### 4.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.



Fuente: Autores

### 4.3. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN.



**PROCESO DE PRODUCCIÓN DE APERITIVO ASAWAA®**

**Gerente:**  
Ana Lucía Ballesteros

**Directora Técnica:**  
Lady Jattin

**Contiene:**  
Equipos de Producción del licor destilado:  
R-01      P-01  
T-01      E-01  
E-02      P-02  
EM-01

**Revisó:**  
Ing. Lady Jattin

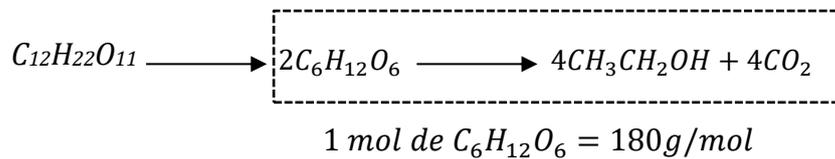
Fuente: Autores

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

### 5.1. ENSAYOS DE LABORATORIO.

#### 5.1.1. Análisis Estequiométrico.

Partiendo del mecanismo de reacción para la producción de etanol por medio de la fermentación de glucosa se determinó el rendimiento teórico según:



$$1 \text{ mol de } CH_3CH_2OH = 46,02g/mol$$

$$\frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}{180g} * \frac{2 \text{ mol } CH_3CH_2OH}{1 \text{ mol de } C_6H_{12}O_6} * \frac{46,02g}{CH_3CH_2OH} = \frac{0,511 g \text{ etanol}}{g \text{ glucosa}}$$

$$\text{Rendimiento máximo} = 51,1\%$$

#### 5.1.2. Análisis del Sustrato a Fermentar.

Con el fin de determinar la marca comercial de panela con la que se obtiene mayor conversión a etanol se realizaron ensayos de selección con 9 marcas de panela. Los datos obtenidos en el seguimiento de la fermentación se evaluaron en función del rendimiento y la productividad.

Teniendo en cuenta que la concentración de etanol formado en medio acuoso incide de manera directa en el pH del medio fermentativo se realizaron curvas de concentración de sólidos expresado en grados Brix (°Brix) y la acidez del medio expresado en el potencial de Hidrógeno (pH). Las marcas presentes se muestran en la tabla 1 que se encuentra también en la metodología,

<b>Numero</b>	<b>Marca</b>	<b>Característica</b>
1	Marca # 1	Granuladas
2	Marca # 2	
3	Marca # 3	
4	Marca # 4	En bloque
5	Marca # 5	
6	Marca # 6	
7	Marca # 7	
8	Marca # 8	
9	Marca # 9	

**Tabla.1.** [Tomada de la Metodología]

La concentración inicial de sólidos solubles de los 9 ensayos preparados (para 9 marcas comerciales de panela) fue de 20°Brix. Los sólidos solubles y la acidez del medio fueron dos variables monitoreadas durante el tiempo de residencia de la fermentación a escala laboratorio.

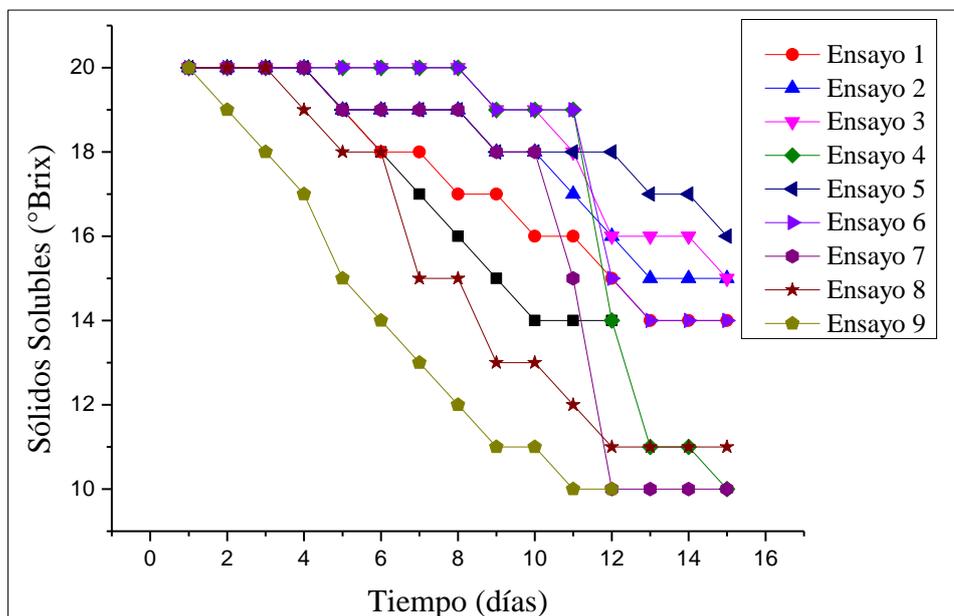
A continuación, se relacionan los análisis de éstas dos variables (°Brix y pH) para los 9 ensayos de fermentación realizados en la selección de la panela con la cual se obtuvo mayor rendimiento a etanol.

#### **5.1.2.1. Seguimiento del Contenido de Sólidos Solubles.**

Según los datos tabulados, se observó que la marca número 5 solo redujo el nivel de grados Brix a 16 como resultado de la inhibición de los microorganismos que no lograron desarrollar toda su capacidad de transformación de azúcares, lo cual brinda como resultado una fase de adaptación más larga y, por ende, se reduce rendimiento y productividad en relación a las demás marcas del ensayo.

Esta misma situación se presentó para los ensayos de las marcas 1,2, 3 y 6 los cuales sólo alcanzaron valores entre 14 y 15 °Brix al finalizar la fermentación. Las panelas correspondientes a éstos ensayos fueron descartadas ya que presentaron tiempos de residencia altos y bajas conversiones de los azúcares de la solución. De manera contraria, se observó el rápido descenso en el nivel de sólidos para la marca 9, siendo esta la que tardó menos días en fermentarse y en alcanzar un contenido de azúcares igual a 10°Brix;

es decir, una reducción del 50% del azúcar total presente al iniciar el ensayo. En la figura 7 se muestra la variación de los grados Brix en el proceso de fermentación para las marcas de panela mencionadas según los datos experimentales obtenidos en el laboratorio,

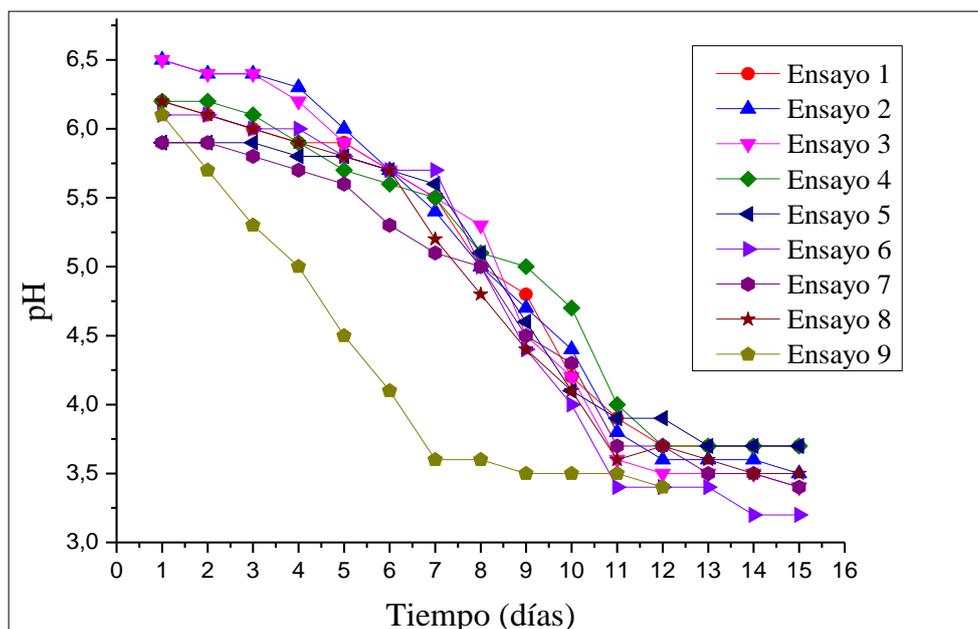


Fuente: Autores

**Figura 7.** Solidos solubles vs Tiempo de Marcas en Selección de Panela.

### 5.1.2.2. Seguimiento del pH

En cuanto a la evaluación del pH, no se generó una alta variabilidad en los datos durante el proceso. El descenso fue suave y controlado obteniendo valores iniciales de pH 5,9 - 6,5 hasta un nivel final 3,2 - 3,7. En la siguiente grafica se observa la variación del pH durante el proceso de fermentación,



**Figura 8.** pH vs Tiempo Muestras en Selección de Panela. Fuente: Autores

En la figura 8 se puede observar que nuevamente el ensayo número 9 correspondiente a la panela El Trébol® tuvo el mejor comportamiento estadístico de las marcas en cuestión. Teniendo presente su descenso pronunciado de pH se infiere que alcanzó mayores conversiones de azúcar a etanol lo cual se comprobó cuando se realizaron las destilaciones respectivas de los 9 ensayos. Aunque el valor del pH de la marca fue relativamente bajo (3,2) esto no da pie a considerar que sea necesario un ajuste de acidez ya que el pH no fue menor a 3,0. El valor del pH de cada uno de los ensayos realizados brindó un panorama aproximado de las eficiencias de conversión de glucosa a etanol en cada marca.

### 5.1.2.3. Evaluación del Rendimiento y la Productividad de los Ensayos.

Según se indicó en la metodología, en esta serie de ensayos de laboratorio se realizó en frascos diseñados para llevar a cabo el proceso por separado. Del volumen inicial de mosto dispuesto en cada frasco, se obtuvo un volumen de producto de fermentación que fue filtrado y destilado en un equipo de destilación sencilla escala laboratorio para obtener el producto final. Un valor promedio de esta relación de volumen de mosto empleado y producto final obtenido se tuvo presente en la evaluación de la productividad y el rendimiento del proceso.

Basado en el sistema estequiométrico establecido por Gay-Lussac el rendimiento teórico de la fermentación alcohólica es de 0.51 g etanol/g glucosa. En comparación con este valor, la marca 9 presentó el mayor rendimiento producto-sustrato. En la tabla #3 se muestran los resultados de rendimiento y rendimiento porcentual de las marcas de etanol producido para los mejores 5 ensayos realizados según los datos obtenidos en la selección de panela,

Marca	Rendimiento (g etanol/ g azúcar consumidos)	Rendimiento Porcentual
Marca # 4	0,36	70%
Marca # 5	0,29	57%
Marca # 6	0,35	68%
Marca # 7	0,17	34%
Marca # 9	0,46	70%

**Tabla 3.** Rendimiento de 5 marcas de panela.

La marca # 9 alcanzó los valores de rendimiento y productividad más cercanos al valor máximo teórico calculado; además, las pruebas físicas y sensoriales arrojaron resultados positivos de color, olor, grado de alcohol (38°G.L) y ausencia de sólidos en suspensión.

Lo anterior permitió concluir que la panela El Trébol<sup>®</sup> corresponde a la mejor opción para trabajar en la producción de aperitivo por la Awarala S.A.S.

### **5.1.3. Selección de Condiciones de Fermentación.**

Para proceso a escala industrial es necesario establecer las condiciones de fermentación que permitan realizar altas conversiones de azúcares a etanol. En ese sentido, se estudiaron dos variables muy relevantes en el proceso fermentativo: la concentración de azúcares y la temperatura de fermento. La agitación no fue materia de estudio.

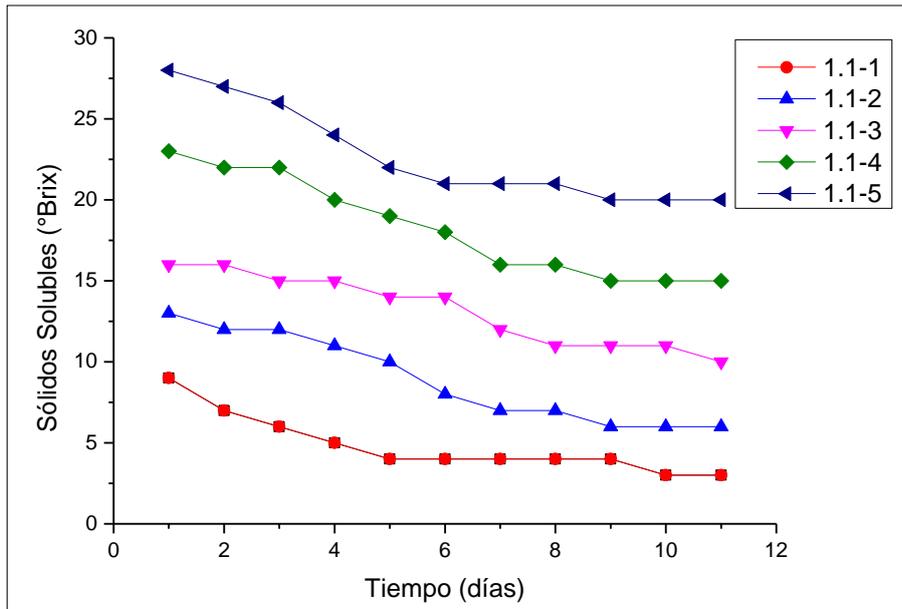
Teniendo en cuenta la metodología para la selección de las condiciones de fermentación en la que se planteó estudiar la incidencia de la concentración de glucosa en grados Brix (°Brix) junto a variaciones de azúcar comercial y la temperatura de fermentación se obtuvieron resultados en el seguimiento de 30 ensayos a distintas concentraciones de las cuales 15 se evaluaron a 30°C ( $\pm 2$  °C temperatura de Riohacha) y las otras 15 a 18°C ( $\pm 2$ °C temperatura de Pamplona) con un tiempo de residencia de 11 días para todos los ensayos.

#### **5.1.3.1. Seguimiento del Contenido de Sólidos Solubles.**

Las variaciones de las concentraciones de azúcar de todas las soluciones tuvieron comportamientos similares a la del pH; en este caso, los grados Brix descendieron desde el primer día de fermentación, este cambio representó el inicio de la fermentación por la conversión de azúcar a etanol.

En las figuras 9,10 y 11 se marcan los resultados para los ensayos realizados a 30°C con 0, 25 y 50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela] respectivamente.

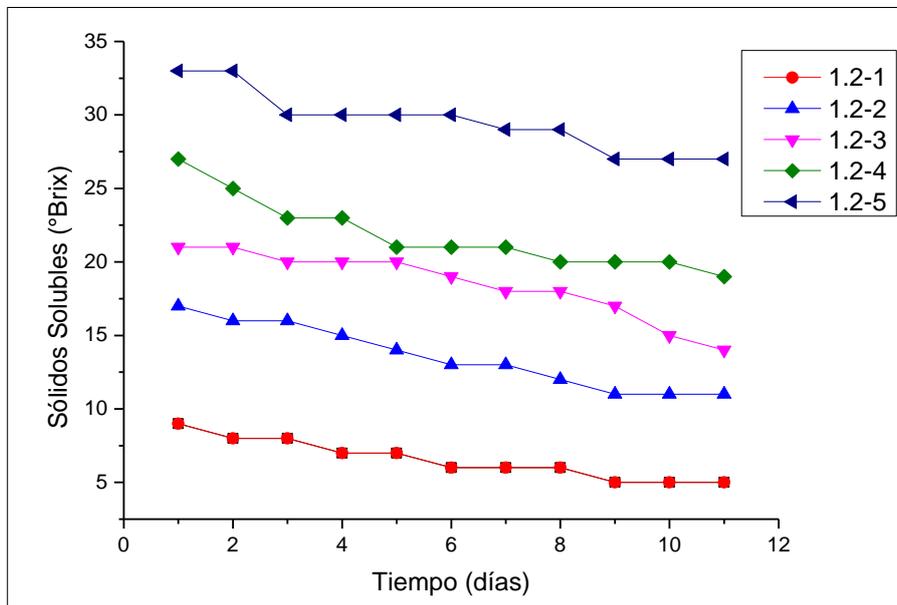
Para los ensayos preparados con 0 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 9.** Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 0% azúcar comercial a 30°C.

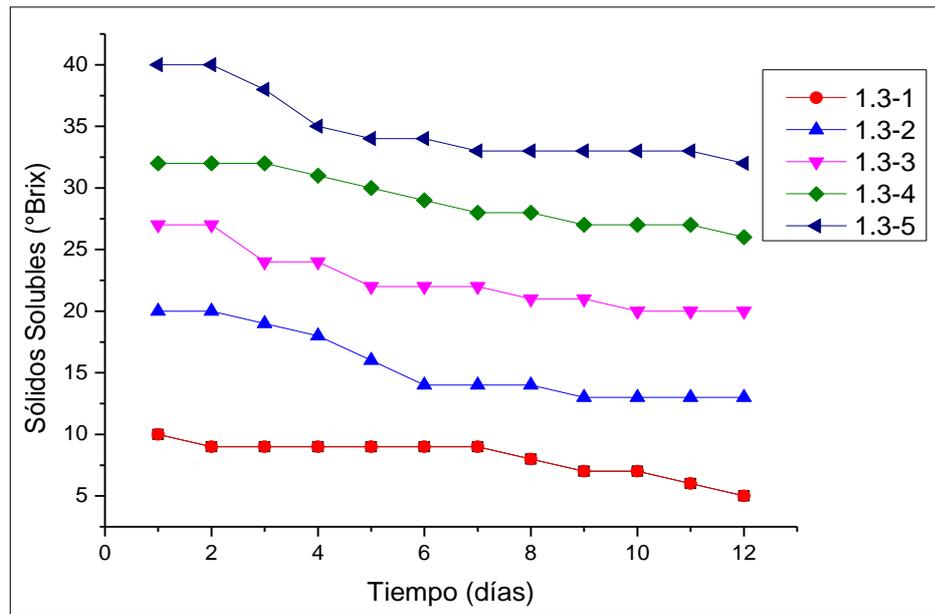
Para los ensayos preparados con 0,25 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 10.** Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 25% azúcar comercial a 30°C.

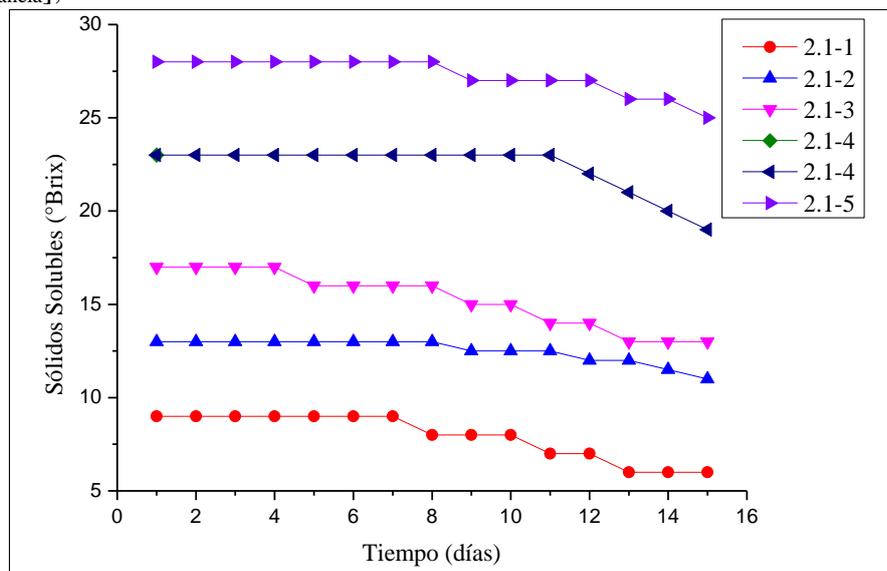
Para los ensayos preparados con 50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 11.** Solidos Solubles vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 30°C

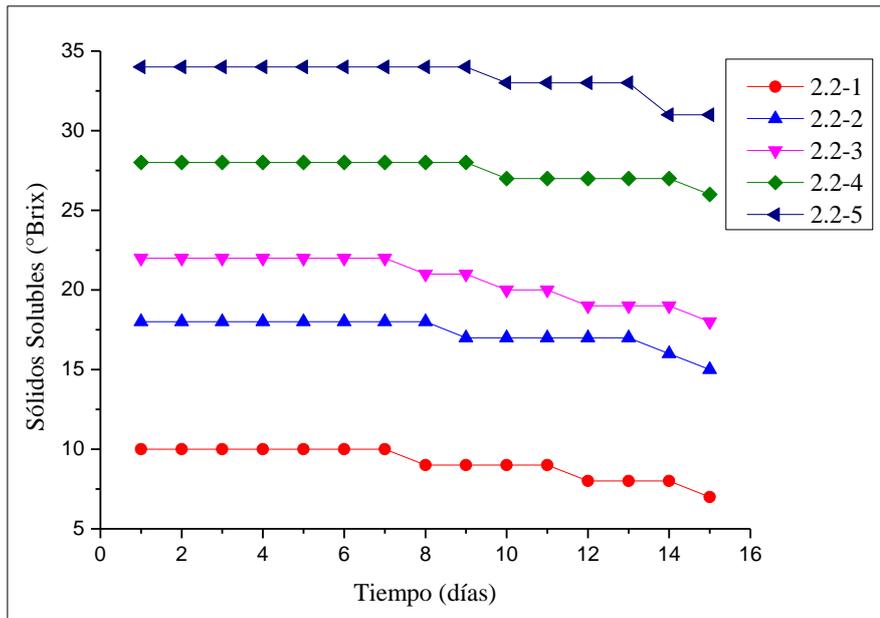
Al igual que en el anterior apartado se obtuvo un perfil de concentración de glucosa para el tiempo de residencia. Como era de esperarse los °Brix no descendieron desde el primer día, sino en días posteriores debido al lento inicio de fermentación; en ese sentido, éstos ensayos se realizaron en 15 días a diferencia de la fermentación a 30°. En las figuras 12, 13 y 14 se muestran los resultados para los ensayos realizados a 18°C con 0, 25 y 50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela] respectivamente. Para los ensayos preparados con 0 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 12.** Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 0% azúcar comercial a 18°C.

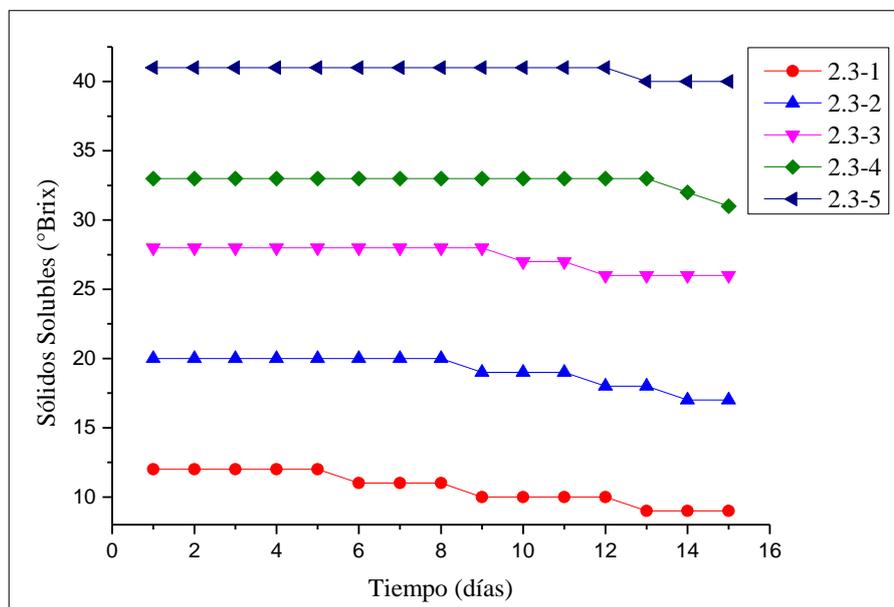
Para los ensayos preparados con 0,25 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 13.** Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 25% azúcar comercial a 18°C.

Para las que los ensayos preparadas con 0,50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 14.** Solidos solubles vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 18°C.

Los cambios de concentraciones de azúcar fueron proporcionales a cada concentración en cada ensayo. En las figuras 12, 13 y 14 se logró notar que las soluciones menos

concentradas tuvieron evidencias físicas de fermentaciones rápidas, mientras que, las menos concentradas, tuvieron inicios lentos de fermentación, es por ello que la literatura aconseja trabajar un rango de 14 a 22 °Brix en las soluciones iniciales ya que si son muy diluidas tienen tiempos de residencia cortos pero también poco se obtiene poco volumen de etanol con bajo rendimiento (Bajo °GL); por el contrario, las muestras muy concentradas de azúcar tienen inicios lentos de fermentación dando como consecuencia tiempos de residencia altos, y, de igual modo, bajas conversiones de azúcar a etanol por la alta presión osmótica que se genera en las paredes celulares de los microorganismos. La evidencia experimental sugiere que se trabaje con soluciones medianamente concentradas (15 a 25 °Brix) haciendo uso de azúcar refinada. Finalmente, los resultados de variación de azúcar al igual que los de variación de pH sugieren que los ensayos con media concentración de azúcar refinada ( $0,25 \text{ Kg}_{\text{Azúcar}}/\text{Kg}_{\text{Panela}}$ ) brindan amplios rangos de variación de éstas dos variables, esto quiere decir que se obtiene mayor volumen de alcohol con mayor concentración en °GL. Aunque en el presente documento no se evaluó los resultados de las destilaciones, se infiere que en los ensayos de concentración media de azúcar refinada ( $0,25 \text{ Kg}_{\text{Azúcar}}/\text{Kg}_{\text{Panela}}$ ) se obtienen los mejores resultados de etanol en función de su color, concentración de etanol y volumen.

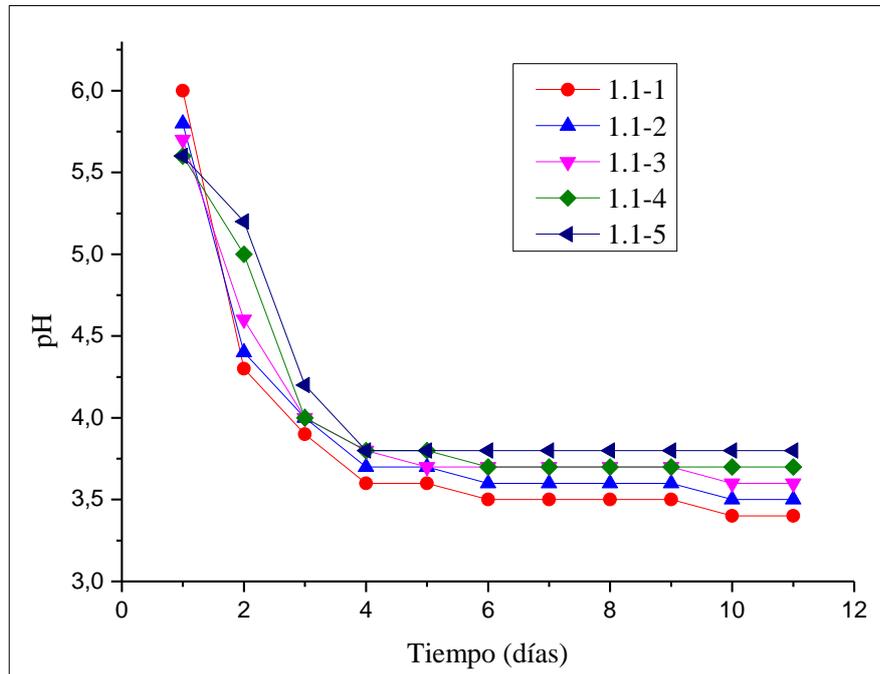
Según la información encontrada en el análisis de experimentos, esta etapa sugiere que el mejor ensayo fue el 1.2-3 debido a que su pendiente es más pronunciada que la de los demás ensayos. Esta concentración de panela, agua y azúcar comercial presenta altas conversiones de glucosa a etanol

### **5.1.3.2. Seguimiento del pH.**

Análogamente al análisis de la concentración de azúcar (sólidos solubles) que se realizaron a las 30 soluciones (15 ensayos a 30°C y 15 a 18°C) también se realizó la toma de datos referente a la variación de acidez en el tiempo de fermentación. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de pH para los ensayos analizados a 30 y 18 °C,

Los resultados a la temperatura de Riohacha (La Guajira) contrastan con los de Pamplona (Norte de Santander) debido a las diferencias de temperatura. En las figuras 15, 16 y 17 se muestran los resultados para los ensayos realizados a 30°C con 0, 25 y 50 [ $\text{g}_{\text{Azúcar-Comercial}}/\text{g}_{\text{Panela}}$ ] respectivamente.

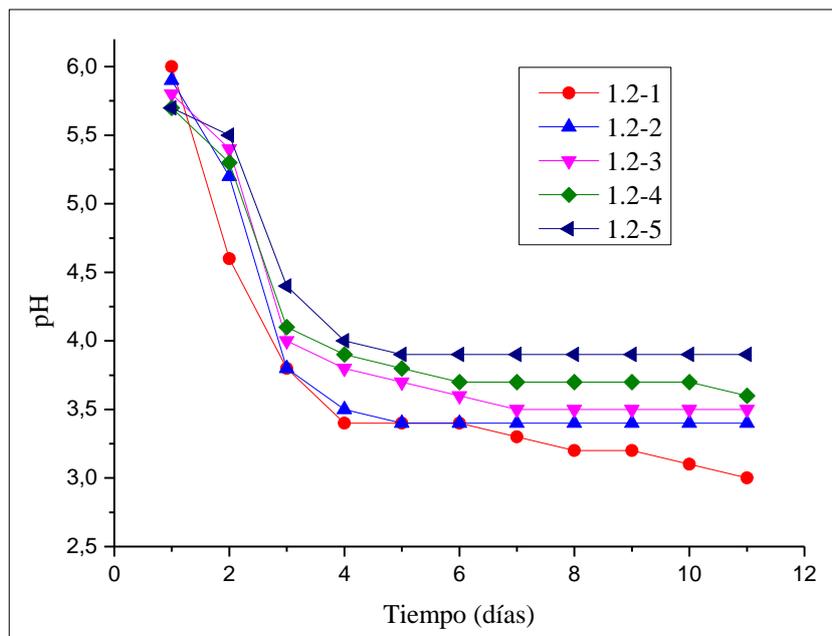
Para los ensayos preparados con 0 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 15.** pH vs Tiempo para muestras con 0% de azúcar comercial a 30°C

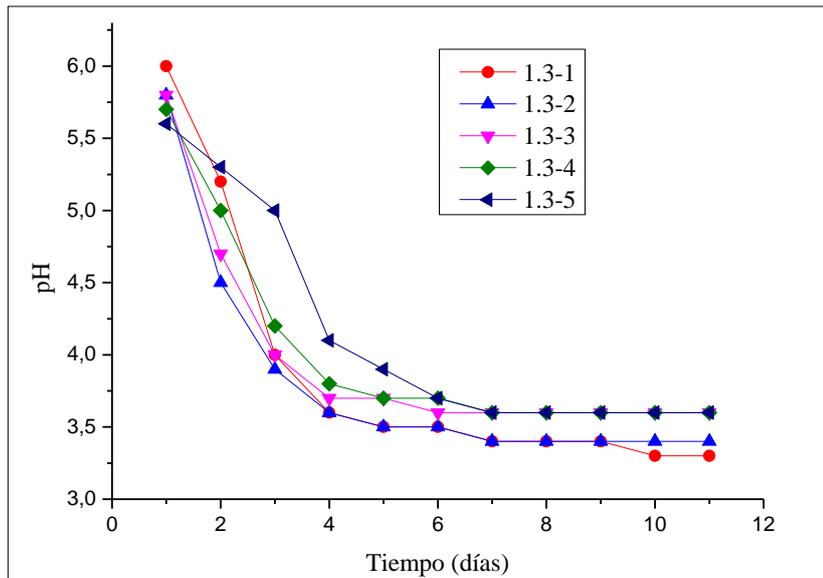
Para los ensayos preparado con 0,25 [gAzúcar-Comercial/ gPanela]



Fuente: Autores

**Figura 16.** pH vs Tiempo para muestras con 25% azúcar comercial a 30°C

Para los ensayos preparados con 0,50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela]

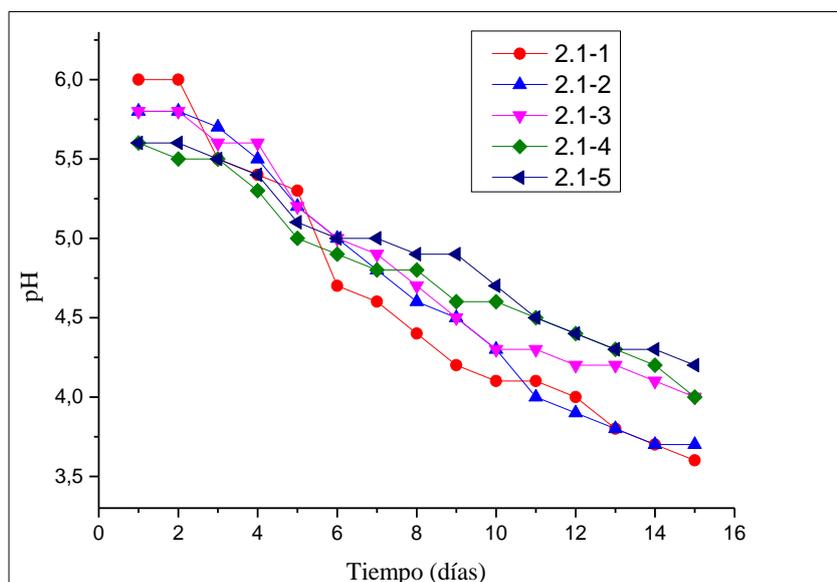


Fuente: Autores

**Figura 17.** pH vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 30°C

Éstos resultados confirman la incidencia de la temperatura en la fermentación en general. Las gráficas de pH en función de tiempo en los 15 ensayos a 30°C muestran que entre más concentrado sea el sustrato de la fermentación, menos pronunciada será la curva de pH; lo anterior indica que la concentración óptima para el proceso productivo a gran escala no debe ser mayor a 25°Brix. Finalmente, en las figuras # 19,20 y 21 se muestran los resultados para los ensayos realizados a 30°C con 0, 25 y 50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela] respectivamente,

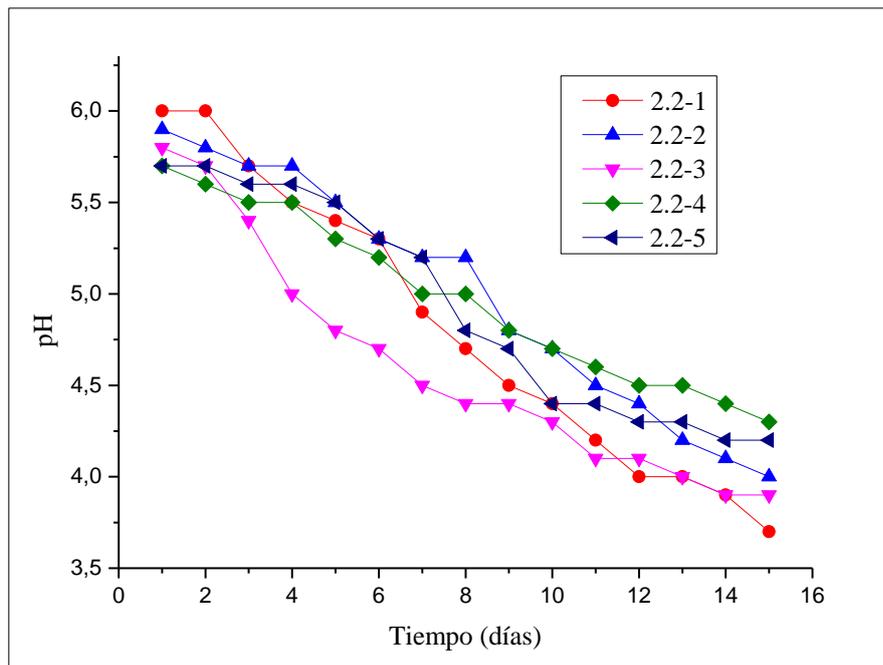
Para los ensayos preparados con 0 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 18.** pH vs Tiempo para muestras con 0% azúcar comercial a 18°C

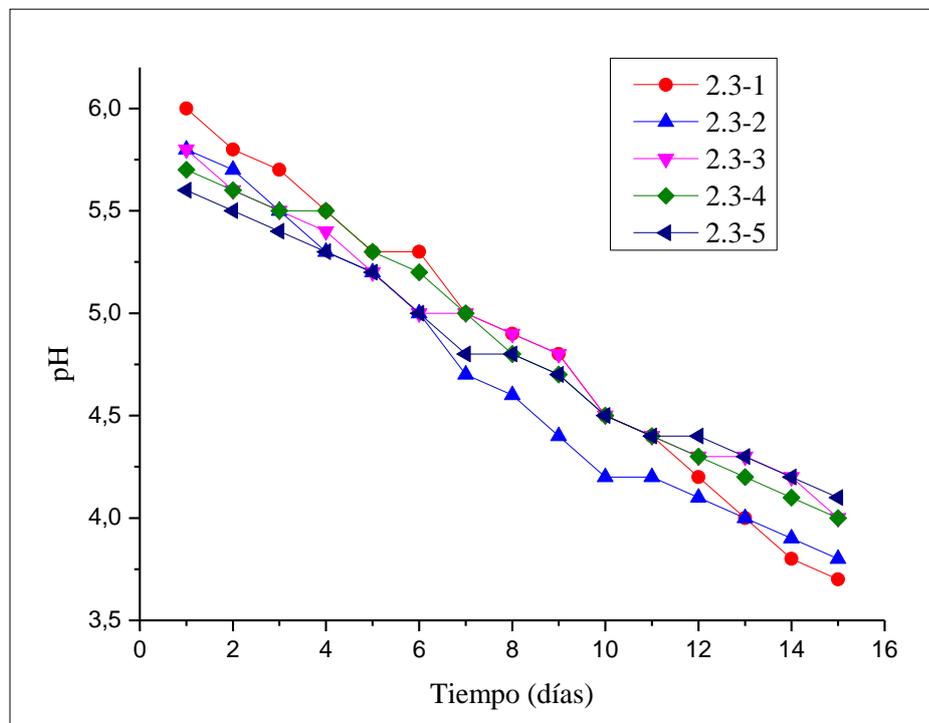
Para los ensayos preparados con 0,25 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 19.** pH vs Tiempo para muestras con 0,25% azúcar comercial a 18°C

Para los ensayos preparados con 0,50 [gAzúcar-Comercial/ gPanela],



Fuente: Autores

**Figura 20.** pH vs Tiempo para muestras con 50% azúcar comercial a 18°C

Los resultados de pH de las fermentaciones a dos temperaturas con distintos niveles de fermento arrojaron una confirmación al análisis teórico realizado: las fermentaciones a bajas temperaturas relativas poseen inicios lentos de fermentación. En este caso en particular estos inicios lentos son más prolongados debido a que no se usa microorganismo comercial. Las curvas de las gráficas tienen pendientes muy pronunciadas sin una fase final de estabilización, esto quiere decir que a 15 días de fermentación aún no se alcanzó el umbral de finalización.

El tiempo de residencia a tempera de 18°C fue mucho mayor que a 30°C, por ello, la mejor temperatura (al menos entre éstos dos datos) para realizar la fermentación a escala industrial es con una temperatura de 30°C y una concentración de  $\pm 22^\circ$ Brix, esta concentración hace referencia al ensayo 1.2-3 el cual tenía una concentración media en los análisis de laboratorio de 23 Brix. Asimismo, por medio de los resultados de destilaciones, se logró observar que a esta concentración se obtenía el mayor rendimiento a etanol en el destilado (55°GL). Para confirmar esta selección, se tomaron los 6 mejores ensayos (en función del perfil de concentración, perfil de pH y resultados de destilación) y se analizaron en contenido de Hierro (Fe) y Cobre (Cu) en solución acuosa para conocer cuál de los ensayos tenía menor concentración de éstos en su estructura (Anexo 3 y 4). Según los resultados de éstos análisis se sugirió que los dos mejores ensayos fueron el 1.2-3 y el 1.2-4 con 0,0421 ppm de Hierro y sin presencia de Cobre, el máximo de cobre permitido (NTC 1245) es de 8ppm lo cual indica que se cumple a cabalidad la norma en cuanto al hierro y el cobre. Como conclusión parcial se observó que la mejor temperatura para la fermentación es de 30°C con una concentración de sustrato de  $22 \pm 1^\circ$ Brix.

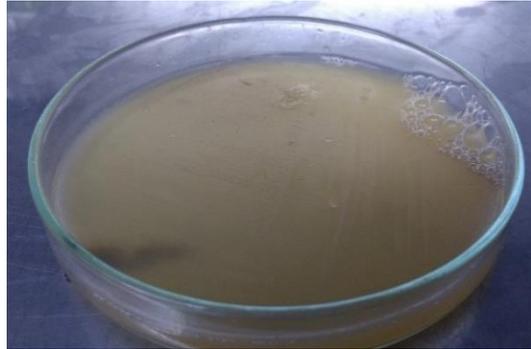
## **5.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS.**

### **5.2.1. Identificación de la Biota presente.**

Los medios de cultivo usados permitieron conocer algunos aspectos de inocuidad del proceso. Los resultados arrojaron información valiosa para poder comprender algunas condiciones de la fermentación para estandarizar el proceso de producción del alcohol destilado. Una vez se preparó el medio y se realizó la siembra, se lograron realizar

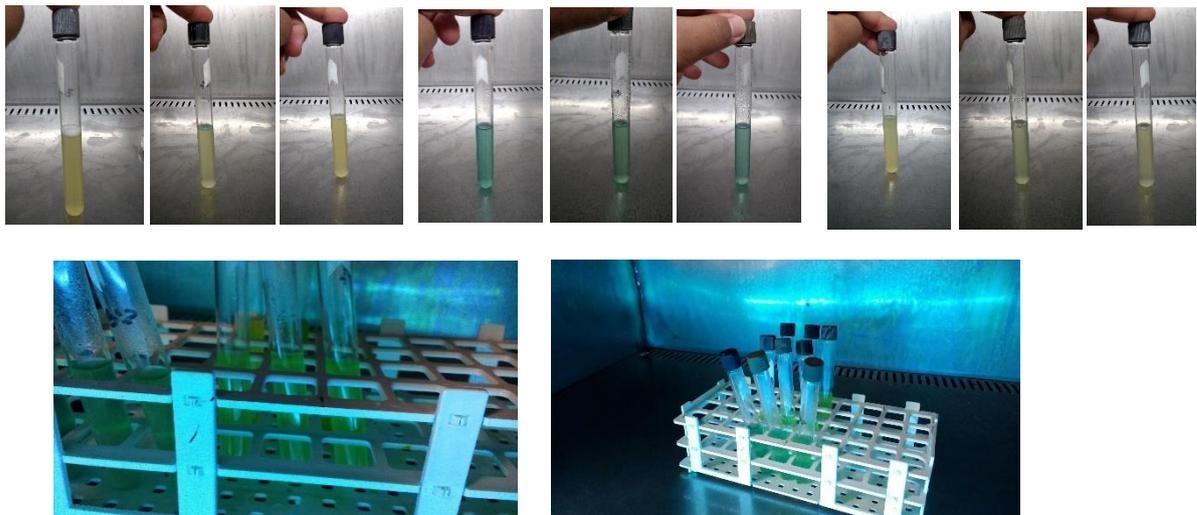
observaciones en la identificación de la biota contaminante en el medio fermentativo. Los resultados fueron los siguientes:

En el agar nutritivo se evaluó la presencia de bacterias en general dando un resultado positivo para presencia de biota no fúngica, es decir, que a parte de las levaduras presente en la fermentación también existen otro tipo de organismos que pueden afectar de manera seria la inocuidad del proceso fermentativo.



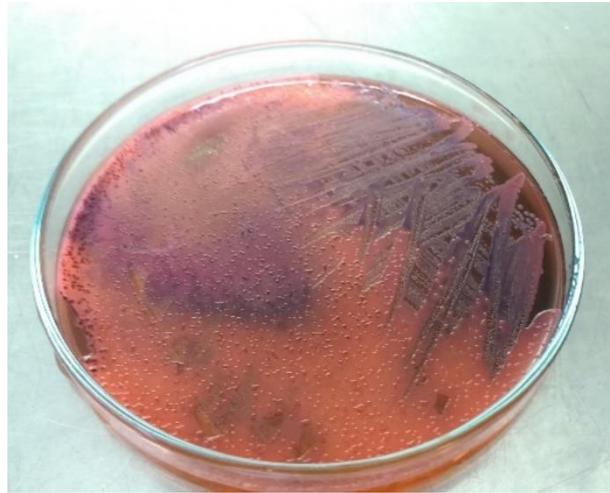
**Figura 21.** Agar Nutritivo Fuente: Autores

En el medio Fluorocult<sup>®</sup> LMX se determinó la presencia de coliformes totales y fecales. Una vez se preparó el medio se logró observar que existían coliformes totales. Al exponer las soluciones a luz UV y adicionar el reactivo de Kovacs se logró determinar la no presencia de coliformes fecales representado en *E. coli*. Aunque las coliformes totales representan menor riesgo biológico que las coliformes fecales, también pueden contaminar el medio fermentativo, estas coliformes son enterobacterias que compiten por el sustrato.



**Figura 22.** Medio Fluorocult<sup>®</sup> LMX Fuente: Autores

Por otro lado, para el medio EMB (Eosina-azul de metileno) se logró concluir como positivo la presencia de bacilos Gram negativos de la Familia *Enterobacteriaceae*. En este medio (al igual que en el anterior) se observó la presencia de enterobacterias.



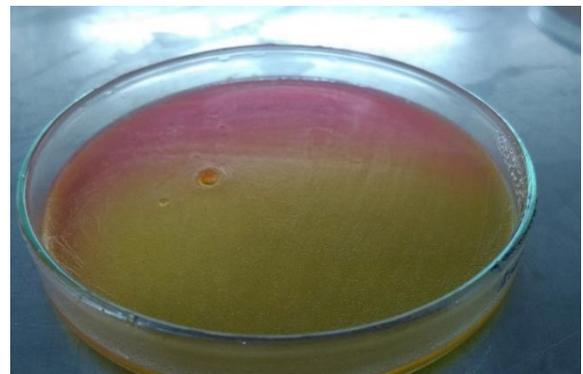
**Figura 23.** Medio EMB Fuente: Autores

En general los resultados de todos los medios selectivos y diferenciales resultaron positivos para bacterias.

En las figuras 24, 25, 26, 27 y 28 se presentan las observaciones de colonias vistas en cada uno de los agares preparados,



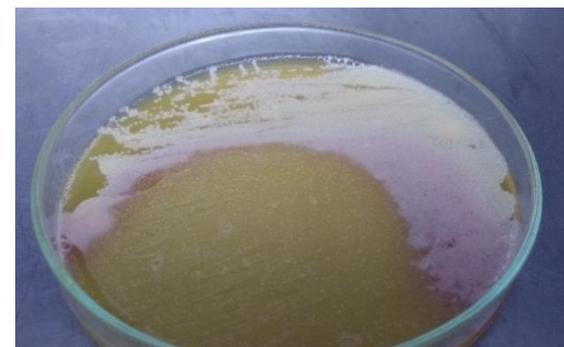
**Figura 24.** Medio Manitol-Salado



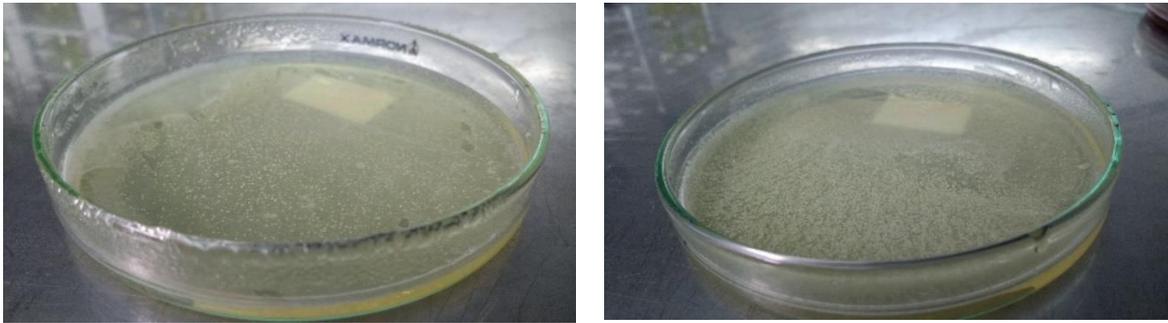
**Figura 25.** Medio XLD (Xilosa, lisina, Desoxicolato)



**Figura 26.** Medio Mossel y Medio MacConkey



Fuente: Autores



**Figura 27.** Medio PDA (Potato Dextrose Agar)

Fuente: Autores

Éstos resultados sugieren que el medio de la fermentación alcohólica para la producción de alcohol destilado existe alta contaminación bacteriana con bacilos Gram Positivos y Gram Negativos; asimismo, con cocos Gram Negativos. Lo anterior da pie a consideraciones de limpieza para la preparación del mosto y en la toma de muestras durante el tiempo de fermentación, éstos dos procedimientos probablemente adicionan a la solución biota contaminante que podría ocasionar inconvenientes en caso que logre desactivar las levaduras propias de la panela.

El personal de la empresa debe tener especial cuidado en la limpieza cuando se trabaje en el reactor de fermentación.

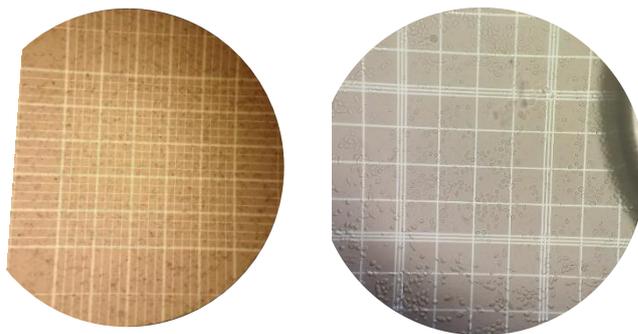
Los anteriores resultados dan pie a proponer el uso indispensablemente de microorganismos comerciales por medio de preparación de inóculos y de igual modo en la mejora de la esterilización del medio, equipos y utensilios de trabajo.

### **5.2.2. Conteo de Microorganismos.**

Una vez se tuvo confirmación que las levaduras pertenecían a la biota propia de la fermentación alcohólica, se procedió a hacer el conteo por medio de la cámara de Neubauer. Este conteo es de suma importancia para la valoración microbiana del medio nativo.

La muestra se tomó en el periodo de exponencial crecimiento de microorganismos y, por ende, se esperó un número alto de levaduras por  $\text{cm}^3$  de solución fermentativa.

Por medio de los procedimientos y cálculos respectivos al método en cuestión, se obtuvo que el número de levaduras para la muestra seleccionada fue de 10'045.000 levaduras por  $\text{cm}^3$ .



**Figura 28.** Levaduras Nativas en la Cámara de Neubauer Improved. Fuente: Autores

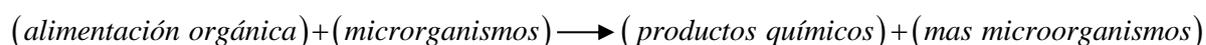
Rosero *et al.*, (2007) sugiere que el rango óptimo de número de levaduras en la fase de exponencial crecimiento está entre  $10^6$  a  $7.7 \times 10^7$  levaduras/cm<sup>3</sup>. Por medio de este resultado se infiere que es extremadamente necesario realizar mejoras en el proceso, principalmente en el uso de microorganismos comerciales y la inocuidad del proceso ya que el número de microorganismos se encuentran por debajo del umbral recomendado. La baja concentración de levaduras en el medio fermentativo puede generar consecuencias negativas al proceso, la principal es que puede ser inactivada por la biota contaminante (identificada en el apartado anterior) y esto evidentemente traerá como resultado pérdidas a la empresa. De igual modo, también tiene incidencia en la cinética de la fermentación, ya que de este modo se reduce la velocidad aumentando el tiempo de fermentación.

### 5.2.3. Cinética Fermentativa.

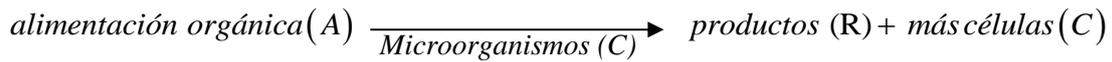
#### 5.2.3.1. Análisis Cinético-Matemático.

Antes de iniciar el procedimiento del planteamiento específico de la cinética según los datos experimentales, se debe aclarar que el actual proceso es una fermentación alcohólica de tipo microbiana en la cual la concentración de biomasa varía en el transcurso del tiempo de residencia y no una de tipo enzimática en la cual la concentración de enzimas permanece igual durante el tiempo de residencia.

Para ello, se consideró entonces la acción microbiana en la fermentación por la siguiente representación:



o bien,



Como los coeficientes estequiométricos de la reacción se pueden determinar por cálculos y permanecen constantes para toda la reacción (por cada unidad de alimentación consumida se produce la misma cantidad de nuevas células y productos químicos), el sistema puede considerarse como una reacción autocatalítica.



Para la información experimental de los ensayos de laboratorio realizados se hizo necesario establecer una cinética que permitiera conocer parámetros específicos para la fermentación alcohólica. Lo más común es aplicar dos métodos descritos en el fundamento teórico: el modelo cinético de la ecuación modificada de Michaelis-Menten y el modelo cinético de Monod. En ese sentido, para el presente proyecto se consideró no conveniente el uso de la ecuación modificada de Michaelis-Menten en la determinación de parámetros cinéticos porque se basa en seguimiento del crecimiento celular de microorganismos. Lo anterior se justifica en el hecho que actualmente no se prepara un inóculo ni se realiza conteo de la concentración inicial de biomasa en la empresa, sino que, se prepara el sustrato y se permite que la biota nativa realice el proceso fermentativo.

De forma análoga, para aplicar el modelo cinético de Monod se hace necesario establecer rendimientos y velocidades de crecimiento de celular según el inóculo preparado. El uso de microorganismos nativos sin ningún control estándar de conteo no permite determinar información respecto al comportamiento matemático del microorganismo en función del tiempo de residencia. Ésta es la principal desventaja del proceso actual en la empresa Awarala S.A.S.

Finalmente, se infiere que no es conveniente usar los modelos cinéticos de la ecuación modificada de Michaelis-Menten para fermentación microbiana ni el de Monod ya que no es posible determinar el rendimiento de sustrato en biomasa ( $Y_{X/S}$ ) y por ende no se puede obtener la gráfica crecimiento celular vs consumo de sustrato.

### 5.2.3.1. Determinación de la Cinética.

Debido a la información expuesta en el anterior apartado, para este caso la cinética no debe estar en función del crecimiento celular sino del perfil de consumo del sustrato (glucosa) y acumulación del producto principal (etanol). Con la información experimental se puede calcular el rendimiento sustrato en producto ( $Y_{P/S}$ ), esta es la producción de etanol vs consumo de sustrato durante el tiempo de residencia de la fermentación.

García *etal* sugiere según su análisis de resultados que obtuvo en la fermentación alcohólica conforme al diseño del modelo matemático planteado, que la ecuación matemática obedece a una de primer orden. La Estructura del modelo matemático para el crecimiento de microorganismos siguen ecuaciones superiores a las que se plantean para el sustrato debido al comportamiento polinomial (según las fases de crecimiento celular) que las cepas tienen en la fermentación. De manera contraria, el modelo matemático del sustrato siendo la ecuación general,

$$E - S + G - C = A \quad (1)$$

Dónde:

$E = Entradas$

$S = Salida$

$G = Generación$

$C = Consumo$

$A = Acumulación$

Según el desarrollo del proceso descrito en apartados anteriores, la producción de alcohol en la empresa Awarala S.A.S. se realiza en forma discontinua. Para ello, se consideraron condiciones iniciales de la producción por lotes donde,

$$E = 0$$

$$S = 0$$

$$G = 0$$

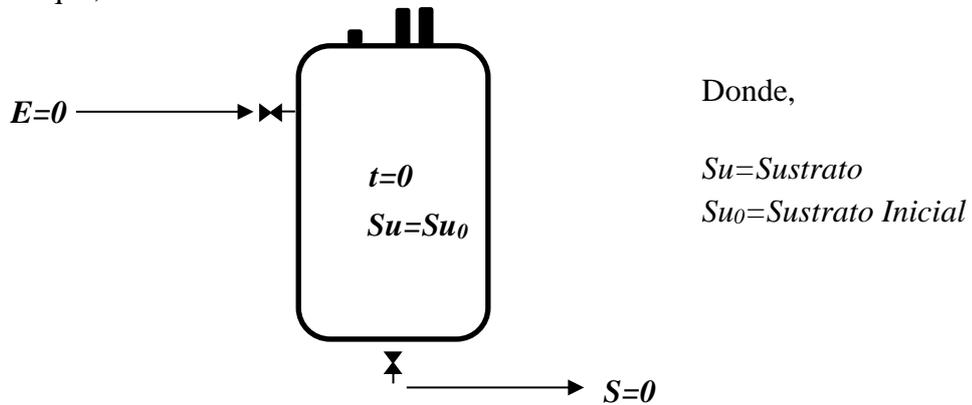
Finalmente, para el balance de materia preliminar se obtuvo,

$$\cancel{E} - \cancel{S} + \cancel{G} - C = A$$

$$-C = A \quad (2)$$

Teniendo en cuenta el anterior procedimiento, se estableció un planteamiento matemático para determinar una ecuación con la que se pueda calcular la concentración del sustrato

después de un tiempo  $t$ . Aplicando la ecuación de Taylor descrita en García *et al.*, (2009) para fermentación microbiana partiendo de condiciones iniciales se considera gráficamente que,



**Figura 29.** Reactor Batch en condiciones iniciales Fuente: Autores

Sigue entonces las siguientes expresiones:

<i>ENTRADA</i>	$\begin{matrix} t & t + t' \\ 0 & 0 \end{matrix}$	<i>SALIDA</i>	$\begin{matrix} t & t + t' \\ 0 & 0 \end{matrix}$
<i>ACUMULACIÓN</i>	$C \quad C + \frac{dC}{dt} \Delta t$	<i>CONSUMO</i>	$kC \quad kC + \frac{d(-kC)}{dt} \Delta t$

Aplicando la ecuación general,  $-C = A$

y sustituyendo los valores,

$$\begin{aligned}
 -\left[ kC - \left( \frac{kdC}{dt} \right) \right] &= \left( C + \frac{dC}{dt} \right) - C \\
 -kC - k \frac{dC}{dt} &= \frac{dC}{dt} \\
 -k \left( C - \frac{dC}{dt} \right) &= \frac{dC}{dt} \\
 -kC &= \frac{dC}{dt} \\
 -k \cdot dt &= \frac{dC}{C} \\
 -k \int dt &= \int \frac{dC}{C} \\
 -kt + Cte &= \ln(C)
 \end{aligned}$$

Con condiciones iniciales de  $t=0$  y  $C=C_0$  y determinando el valor de la constante resulta,

$$\ln(C_0) = Cte \quad (3)$$

Finalmente, la ecuación deducida para la presente experiencia fue,

$$C = C_0 e^{-kt} \quad (4)$$

Donde,

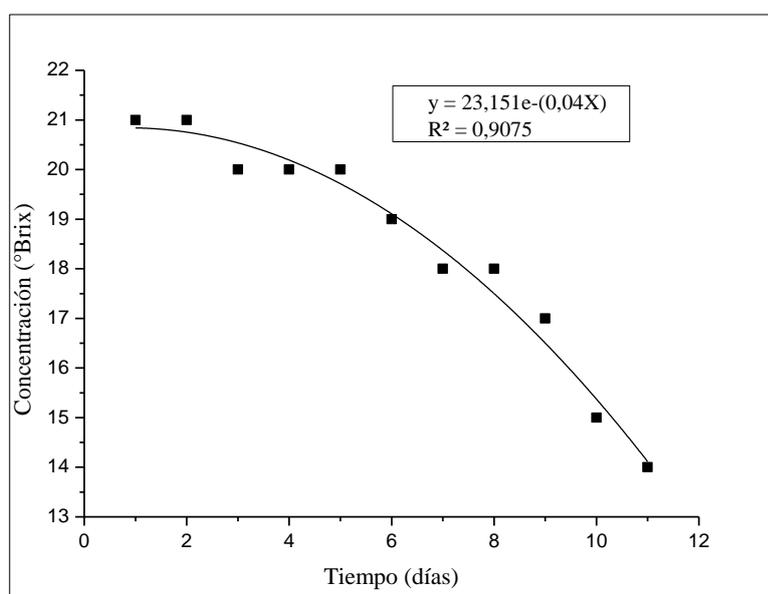
$C$ : Concentración del sustrato remanente (% sólidos)

$C_0$ : Concentración inicial del sustrato (% sólidos)

$k$ : Constante de la velocidad de consumo del sustrato ( $\text{día}^{-1}$ )

$t$ : Tiempo de proceso (día)

A continuación, se presenta el cálculo del valor de la constante velocidad ( $k$ ) para consumo del sustrato en el ensayo de laboratorio con el cual se obtuvo el mejor rendimiento de etanol a partir de la glucosa en los ensayos de laboratorio. La concentración inicial fue 21°Brix para un tiempo de fermentación de 11 días. La constante de velocidad es resultado del perfil de concentración en el tiempo de residencia:

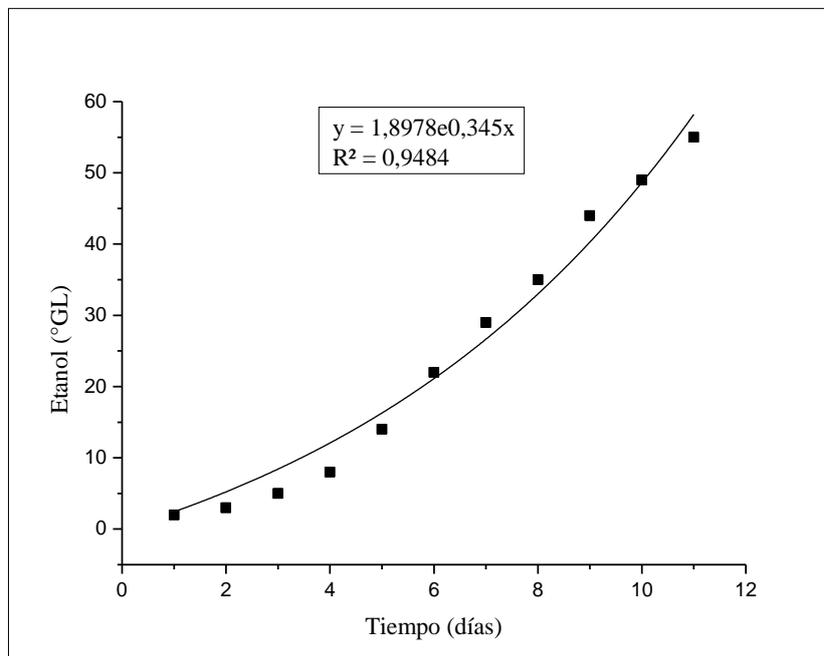


**Figura 30.** Perfil del consumo de sustrato de la fermentación. Fuente: Autores

En la figura 30 se muestra el ajuste del modelo obtenido en la ecuación #4. La constante de la velocidad  $k$  del consumo de sustrato fue de  $0,04\text{día}^{-1}$  con un coeficiente de regresión

de 0,9075. Evidentemente, el valor de esta constante de velocidad es relativamente baja para un proceso fermentativo. La principal incidencia en este resultado es el uso de microorganismos nativos, García *et al.*, (2006) obtuvo un mejor resultado usando un microorganismo comercial, con un 1% de levadura (en peso) su constante de velocidad para el consumo del sustrato fue de  $0,144\text{día}^{-1}$ . La principal observación se centra en el tiempo de residencia; la evidencia sugiere que el proceso fermentativo es lento y que se requiere de microorganismos comerciales que aceleren el proceso.

Ahora bien, se debe analizar también el perfil de concentración de etanol conforme transcurre la reacción. Mientras que la glucosa se consume se PROD. etanol. El perfil de concentración para el ensayo experimental fue el siguiente,



**Figura 31.** Perfil de acumulación de etanol en la fermentación Fuente: Autores

Para la producción de etanol la constante de velocidad  $k$  fue de 0,345 con un coeficiente de regresión de 0,9484 según se muestra en la figura 31.

Estos datos expresan que la conversión de glucosa a de etanol es buena, pero podría mejorar si se introducen microorganismos comerciales.

### 5.3. SIMULACIÓN Y MEJORAS AL PROCESO.

#### 5.3.2. Simulación del proceso actual de producción.

El proceso de obtención de alcohol destilado, actualmente se lleva a cabo con un fermentador y un destilador principalmente. Para poder simular este proceso se utilizó el software Aspen Plus. En el apartado 5.4.2.1. se describe de manera general la simulación del biorreactor (fermentador).

#### 5.4.2.1. Biorreactor.

Para simular el proceso de fermentación de la sacarosa en Aspen Plus, se debe tener en cuenta la reacción de producción de etanol, los parámetros definidos de las corrientes de entrada, la conversión de azúcar en la reacción y el modelo termodinámico a escoger.

Parámetro	Valor	Unidades de medida
Temperatura	30	°C
Presión	1	Atm
Panela	40	Kg/h
Azúcar	20	Kg/h
Agua	270	L/min
Modelo Termodinámico	NTRL	-

**Tabla 4.** Parámetros de la fermentación.

En la figura 32 se puede observar el análisis de sensibilidad para el consumo de sustrato y la producción de etanol, dependiendo de la conversión que se llega al día 10, la cual es 0,36.

Esto muestra que el proceso actual que se lleva a cabo por la empresa puede ser más eficiente en cuanto a la producción de etanol; teóricamente se puede obtener una conversión del 51%, lo cual quiere decir que existen factores a mejorar. La conversión de la reacción en cuestión depende factores cinéticos específicos para reacciones biológicas, se hace mención principalmente del microorganismo presente en la reacción, se estima que se puede aumentar la conversión realizando cambios biológicos del medio

fermentativo y, asimismo, evaluar la incidencia de la agitación en la conversión de sustrato a etanol.

La tasa de conversión baja que se obtuvo se debe seguramente a algunos aspectos no controlados propios de procesos artesanales de fermentación. Se deben aplicar algunas mejoras tales como inocuidad del entorno fermentativo, evaluar la agitación y en definitiva el uso de microorganismos comerciales.

El análisis de sensibilidad que se muestra en la figura 32 en la que se relaciona la cantidad de etanol y azúcar en función de la conversión; se puede observar que, aunque existe alta conversión de azúcares totales, no todo se convierte a etanol, esto viene a confirmar la mayor mejora propuesta a lo largo de todo el documento al proceso de fermentación que se realiza en la empresa Awarala S.A.S.: el uso de microorganismos comerciales reducirá las reacciones simultáneas que probablemente suceden en el mosto que, como se analizó en el apartado 5.2.1. de la identificación de la biota presente, existen biota contaminante que compite por el sustrato.

En ese sentido, según la figura 32 del análisis de sensibilidad para el reactor de uso actual, se puede aumentar la conversión de etanol hasta en un 15% con el fin de aumentar también la producción y aprovechar al máximo todos los recursos,

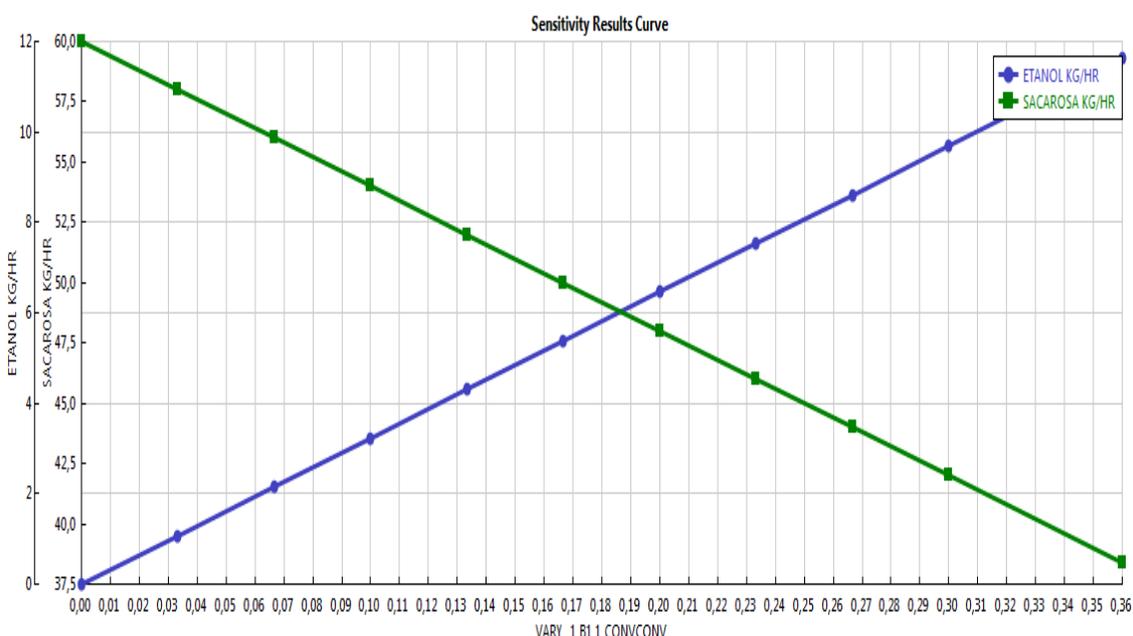


Figura 32. Análisis de Sensibilidad del Fermentador.

Fuente: Autores

### 5.4.2.2. Destilador (Alambique).

Para el proceso de separación de la mezcla que sale del fermentador, se debe tener en cuenta los siguientes parámetros

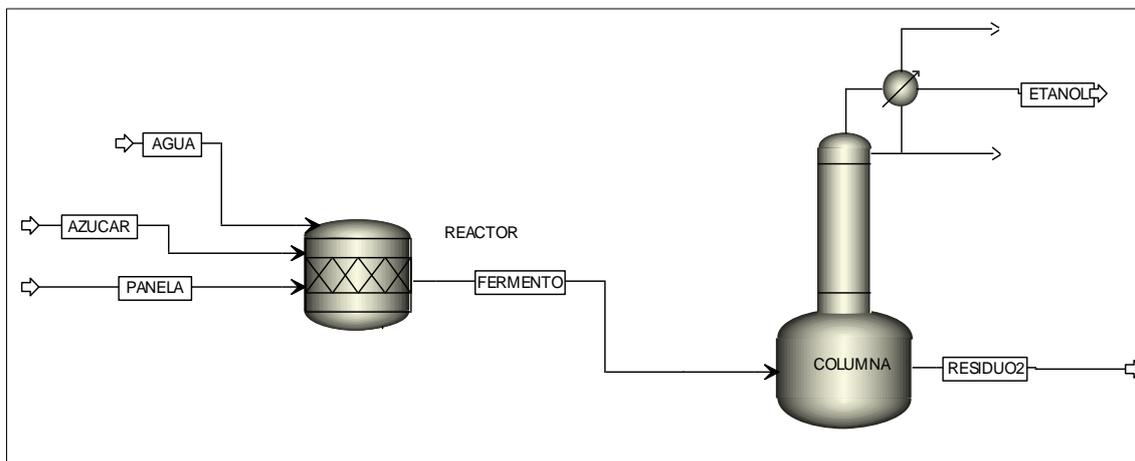
Parámetro	Valor	Unidades de medida
Temperatura	30	°C
Presión	1	Atm

**Tabla 5.** Parámetros para la destilación.

La destilación en el alambique de la empresa es un proceso relativamente sencillo, la solución inicial consta de azúcar residual, biomasa, agua y etanol. A continuación, se muestra el balance de materia e información adicional del balance de materia e información adicional,

- Balance de Materia.

En la figura 33 se observa las corrientes de entrada y salida de cada equipo. Ésta es la simulación planteada para el proceso actual; el fermentador se describió en el apartado 5.4.2.2. y la columna se analiza a continuación,



**Figura 33.** Interfase de simulación del software Aspen Plus®. Fuente: Autores

Los resultados del balance de materia del proceso de obtención de alcohol destilado se pueden observar en la tabla 6, los nombres se relacionan con las corrientes de la figura 33.

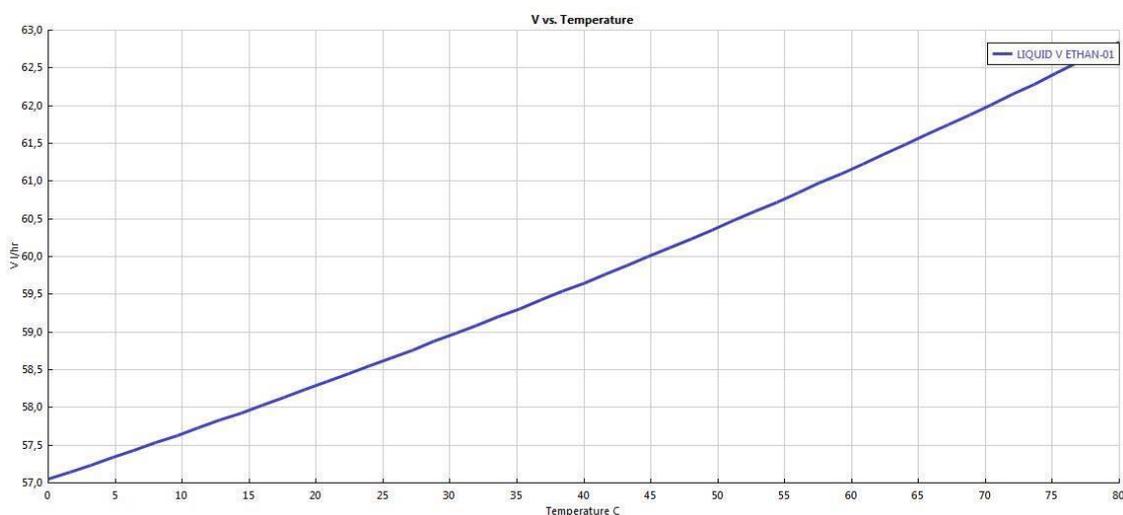
		Corrientes (Kmol/h)					
		Agua	Panela	Azúcar	Fermento	Etanol	Residuo
Compuesto	Agua	14,824	0	0	14,761	0,207	14,55
	Sacarosa	0	0,117	0,058	0,112	0	0,112
	CO <sub>2</sub>	0	0	0	0,252	0	0
	Etanol	0	0	0	0,252	0,206	0,052

**Tabla 6.** Balance de Materia.

En el balance general que se muestra en la tabla 5 se observan los resultados de la separación; la corriente de etanol se ajusta a los resultados obtenidos en la empresa, en el que se obtienen flemas con una concentración de etanol de  $\pm 55^\circ\text{GL}$ , esta corriente presenta que la concentración entre agua y etanol destilado es de  $50^\circ\text{GL}$  lo que quiere decir que se encuentra por debajo de los resultados experimentales obtenidos en la empresa.

Éstos resultados sugieren que el equipo de destilación que se usa actualmente tiene buen rendimiento en la separación de la mezcla agua-azúcar + etanol. Teniendo presente el requerimiento de etanol del producto final ( $15^\circ\text{GL}$ ) se puede decir que no se requiere un cambio de equipo de destilación, sino más bien (en caso que la empresa así lo necesite) aumentar la capacidad y/o comprar más unidades.

En la figura 34 se presenta el perfil de temperatura en función del volumen que se obtiene de destilado. A medida que se aumenta la temperatura se puede observar que aumenta el flujo volumétrico del destilado. Esta relación existe gracias al punto de ebullición del etanol, la linealidad se mantiene hasta que se alcanza ebullición de la mezcla.



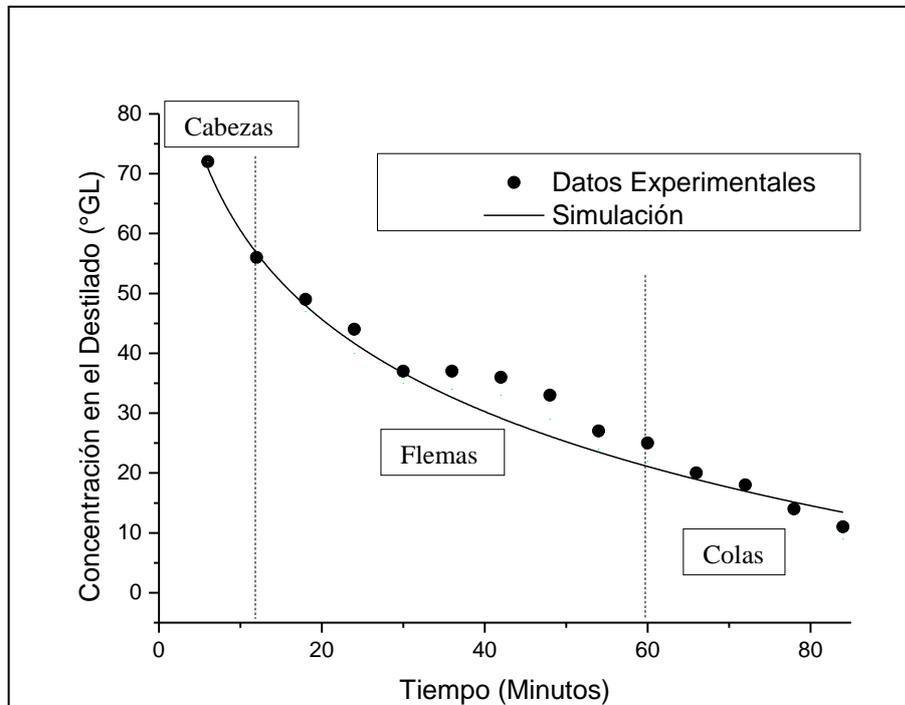
**Figura 34.** Perfil de Temperatura vs Destilado.

Fuente: Autores

◦ Perfil del Destilado.

En la figura 35 se comparó la concentración del destilado de los datos experimentales y con los datos del software usado. Esto se realizó para 1 hora de funcionamiento del destilador, para la curva de destilado real se observó el rango de recolección de cabezas, colas y flemas.

Según se observó, existen diferencias no significativas en los resultados; las tendencias en las curvas son similares y permite estimar el tiempo aproximado necesario para obtener la concentración del aperitivo con el fin que no supere el límite máximo de concentración que son 15°GL. Por debajo de esta concentración se empiezan a recolectar las colas que luego son desechadas por el contenido de furfural y el mal sabor que origina en la solución.



**Figura 35.** Perfil de destilado en Experimental y Simulado. Fuente: Autores

### 5.4.3. Mejoras al Proceso.

#### 5.4.3.1 Diseño optimizado del Fermentador.

Los procesos de fermentación microbiana necesitan ciertas condiciones para realizarse óptimamente, tales como pH, nutrientes, mezclado, suministro de oxígeno, etc.

Actualmente la empresa cuenta con un fermentador sin agitación, el cual tiene un volumen de 300 L y la agitación se hace de manera manual.

Para el proceso de producción de etanol se escogió un reactor de tanque agitado, que opere en modo Batch.

### **Balance de materia,**

- Balance de Biomasa.

$$FX_1 - FX + \mu_{xv} - k_d X_v = \frac{dx_v}{dt} \quad (5)$$

- Balance de Sustrato.

$$FS_o + \alpha F_s - (1 + \alpha) F_s - \frac{\mu_{xv}}{Y_{xs}} - \frac{q_{px}}{Y_{ps}} V - m_{sv} = \frac{ds_v}{dt} \quad (6)$$

- Agitación.

Para la agitación del biorreactor se seleccionó un agitador tipo turbina pues esta clase de agitadores tienen una facilidad de operación para las condiciones de crecimiento de microorganismos.

- Números adimensionales para un agitador tipo turbina.

$$\begin{array}{ccc} \frac{Da}{D} = \frac{1}{3} & \frac{J}{Dt} = \frac{1}{12} & \frac{W}{Da} = \frac{1}{5} \\ \frac{H}{Dt} = 1 & \frac{E}{Da} = 1 & \frac{L}{Da} = \frac{1}{4} \end{array}$$

Para el biorreactor se seleccionaron cuatro placas deflectoras con el fin de realizar la agitación de los microorganismos y de la sacarosa. Estos biorreactores generalmente son cilíndricos verticales con chaqueta de enfriamiento por el control de temperatura, ya que como en este caso la reacción es exotérmica, aunque cabe aclarar que esta reacción no aumenta en gran medida la temperatura, para evitar inconvenientes tales como inhibiciones o posterior muerte de las células que actúan en la fermentación.

$$V = \pi r^2 h \quad (7)$$

Actualmente se utiliza un volumen de 300 L y una altura 1.26 m, para el cual el radio del reactor biológico es de 0,28 m, pero para este diseño se requiere aumentar su capacidad y así su producción. Para el nuevo biorreactor se propone un volumen del tanque de 1000 L, con una altura de 1,5 m y un radio de 0,46 m.

- Numero de Flujo.

$$N_Q = \frac{q}{nDa^3} \quad (8)$$

El número de flujo para agitadores tipo turbina es de 0.70 (Paul *et al.*, 2003), el caudal obtenido es de  $75600 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$

- Régimen de flujo.

Para un óptimo desempeño del biorreactor se debe tener en cuenta cual régimen de flujo se debe realizar en este y para mostrarlo se debe calcular el Número de Reynolds.

$$Re = \frac{rv_s}{m} D \quad (9)$$

Dónde:

$$\mu = \text{Viscosidad dinámica} = 0.05 \frac{\text{Kg}}{\text{ms}}$$

$$\rho = \text{Densidad del fluido} = 1800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_s = \text{Velocidad característica del fluido} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$D = \text{Diámetro de tubería} = 0.0508 \text{ m}$$

$$Re = \text{Reynolds} = 18288$$

El número de Reynolds obtenido muestra un régimen turbulento.

- Régimen turbulento

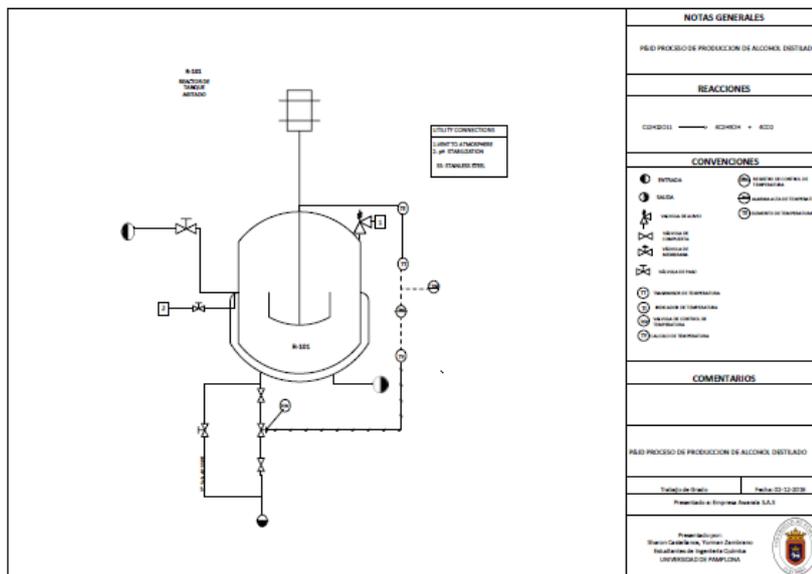
En un régimen turbulento se tiene que el Número de Potencia es igual a:

$$Np = \frac{P^g}{\rho n^3 Da^5} c \quad (10)$$

$Np$  para agitadores tipo turbina es 5.60 (Montoya *et al.*, 2003).

En este caso se observó por medio de los resultados anteriormente descritos, que el equipo de destilación con el que cuenta la empresa actualmente (Alambique), se obtiene un buen rendimiento en la separación de la mezcla etanol-agua-residuos, por tal razón no se realizó el diseño de una nueva columna.

En el fermentador propuesto se necesita controlar la temperatura del fermento, ya que es una reacción exotérmica y esto afecta directamente a los microorganismos encargados de la fermentación. También se tiene una entrada para de NaOH o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para estabilizar el pH. En el siguiente P&ID se muestra el lazo de control para el fermentador.



**Figura 36.** P&ID de Biorreactor Propuesto Fuente: Autores

#### 5.4.5. Diseño de P&ID del Destilador.

El P&ID para el destilador, se le realizó un lazo de control para la temperatura y así no separar sustancias indeseadas.



El propósito principal en el diseño de esta documentación fue recibir el concepto favorable en el registro calificado del Aperitivo Asawaa por parte de la autoridad gubernamental competente. El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA) realizó la visita correspondiente y, mediante una resolución que se encuentra en trámite, adjudicó un concepto 100% favorable para la empresa en cuestión del registro sanitario.

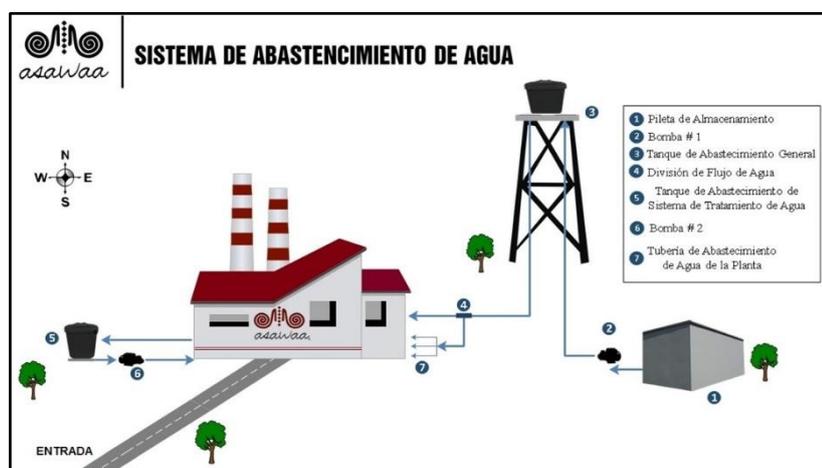
A continuación, se relacionan algunos aspectos generales de cada uno de los programas de las Buenas Prácticas de Manufactura, éstos aspectos brindan una idea general de los análisis realizados en el diseño de cada uno de éstos.

Por cuestiones prácticas los documentos completos de cada uno de los Programas se encuentran en archivos adjuntos a ese proyecto.

#### 5.4.1. Programa de Abastecimiento de Agua.

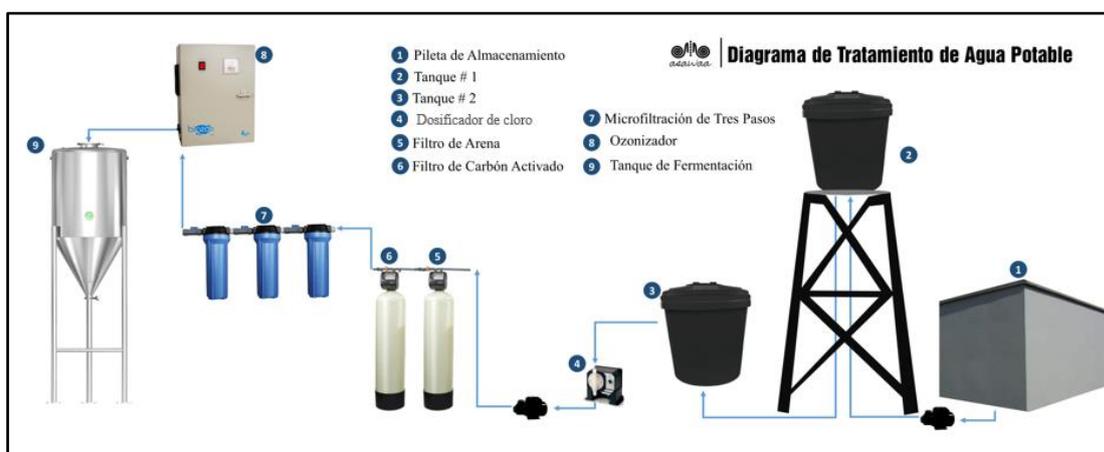
Se encontró que el servicio de abastecimiento de agua en la Planta de Awarala SAS es suministrado por la empresa Avanzadas Soluciones de Acueducto y Alcantarillado (ASAA S.A. E.S.P.) de la ciudad de Riohacha, la cual lleva hasta las instalaciones carro tanques con agua potable que alimentan la pileta de almacenamiento, desde este punto y con el uso de bombas se transporta el agua hasta el tanque aéreo, que a su vez distribuye el agua entre el segundo tanque de almacenamiento y la planta. El segundo tanque de almacenamiento es de uso exclusivo para el sistema de tratamiento que se utilizará para potabilizar el agua utilizada en producción y análisis de laboratorio.

En la siguiente imagen se muestra el sistema de Abastecimiento de Agua que la planta tiene instalado,



**Figura 38.** Sistema de Abastecimiento de Agua. Fuente: Autores

En el programa de abastecimiento de agua se establecieron los análisis básicos que la empresa debe realizar al agua del proceso con el fin de garantizar la inocuidad del mismo. El sistema de tratamiento de agua que la empresa instaló está en la capacidad de brindar el suministro de agua potable según los requerimientos del marco legal colombiano para bebidas alcohólicas. El sistema de potabilización cuenta con 9 etapas: almacenamiento en pileta, almacenamiento en tanque elevado #1, almacenamiento en tanque elevado #2, dosificación de cloro, filtro de arena, filtración con carbón de Activado, Micro filtración, Ozonización; éstas se describen a continuación,



**Figura 39.** Sistema de Tratamiento de Agua Potable.

Fuente: Autores

#### 5.4.2. Programa de Calibración.

En el programa de calibración se establecieron algunas condiciones generales,

- Los equipos que deben ser certificados con protocolo de Calibración, son aquellos que determinen variables que afectan la calidad del ensayo.
- La selección de un laboratorio para que realice la calibración de los equipos es muy importante, por lo cual se debe recurrir a un laboratorio acreditado, que garantice la trazabilidad del sistema internacional y la confiabilidad de resultados.
- Los períodos de calibración y chequeo se deben establecer a través de un análisis de la utilización, recomendaciones del fabricante o las condiciones de almacenamiento.
- Si la empresa decide calibrar internamente algunos de sus equipos de medición debe tener procedimientos documentados que garanticen que se cumplen las condiciones de las normas técnicas o las recomendaciones del fabricante. En

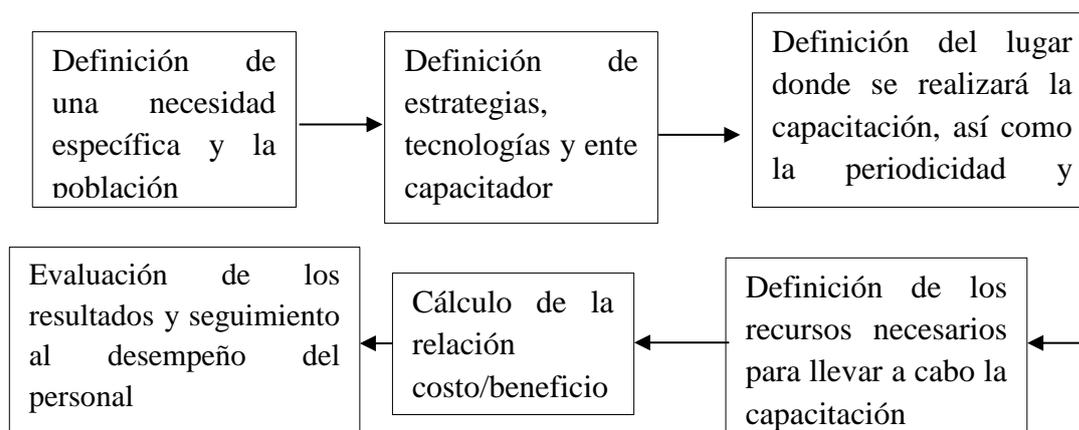
consecuencia, debe garantizar con certificados de calibración interna que deben recibir el tratamiento del control de registros del Sistema de Calidad.

La importancia del programa de calibración radica en prevenir la propagación de error en los equipos e instrumentos de medición. En el documento del programa de calibración se definieron las siguientes actividades:

- Realizar inventario de equipos de medición.
- Determinar frecuencia de verificación y/o calibración.
- Realizar programación de calibración y mantenimiento.
- Solicitar servicio.
- Informar al laboratorio para programar fechas.
- Solicitar la salida del equipo.
- Verificar funcionamiento de los equipos.

#### 5.4.3. Programa de Capacitación.

El programa de capacitación estableció objetivos de formación de empleados que deben ser cumplidos a cabalidad. Para esto, se definieron los siguientes aspectos generales que inician con las metas para la capacitación del personal teniendo en cuenta las necesidades de la empresa, también se establecen las estrategias de cumplimiento obligatorio para cada capacitación y, por último, se fijan las modalidades y niveles de capacitación que se pueden dar en la capacitación del personal.



**Figura 40.** Procedimiento de Capacitación.

<b>Meta</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Duración</b>	<b>Docente</b>
Capacitar y orientar al personal nuevo que ingresa a la empresa.	Cada vez que llegue personal nuevo a la empresa.	1 semana	Jefe del departamento al cual vaya a ingresar.
Capacitar en un 100% al personal sobre los principios básicos de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM)	1 o 2 veces al año.	2 secciones de 2 horas	Director Técnico Awarala S.A.S
Capacitar al personal operativo sobre prácticas higiénicas en manipulación de alimentos.	1 o 2 veces al año	3 secciones de 2 horas	ARL Positiva

**Tabla 7.** Metas establecidas para el personal de la empresa.

#### **5.4.4. Programa de Control de Plagas.**

Este documento planteó realizar un control sobre todas las plagas que puedan afectar la inocuidad del proceso de producción del Aperitivo Asawaa® por parte de la empresa Awarala S.A.S.; para ello se diseñaron procedimientos de control con el fin NO generar un ambiente propicio para la infestación de plagas.

El control efectivo de plagas en una empresa se realiza cuando se hace uso de medidas preventivas y así, evitar usar las medidas correctivas.

Las siguientes son algunas medidas preventivas que se debe tener presente para no generar hábitats de plagas,

En la Limpieza y Gestión de Residuos.

- Cumplir con los procedimientos del Programa de Limpieza y Desinfección.
- Cumplir con los procedimientos del programa de Residuos Sólidos.
- Cumplir con los procedimientos del Programa de Residuos Líquidos.
- Cumplir con los procedimientos del Programa de Mantenimiento de Equipos.

En el Orden,

- La maquinaria y los equipos que no estén en uso deben tener las válvulas completamente cerradas y guardados herméticamente; en caso que no sean de libre movilización deben estarse vigilando constantemente.
- Eliminar los estancamientos de aguas para no generar amenaza de proliferación de plagas.

En las Instalaciones,

- Mantener cerradas las ventanas, puertas y cualquier otro contacto directo con el exterior para evitar que algún tipo de plaga ingrese a la planta.
- Tapar con rejillas todos los desagües externos de la planta.
- Mantener en buen estado físico los artefactos, equipos e insumos que se adquieran para el control de plagas. En el momento en el que se percate de algún daño en éstos deberá informarse de forma inmediata al director técnico del proceso.

En el Personal,

- Cumplir con los procedimientos del Programa de Capacitación para mantener entrenado al personal de todos los procedimientos de control de plagas
- Todo el personal está en la obligación de reportar cualquier avistamiento de plagas en la planta a su jefe inmediato.
- NO permitir en ninguna situación la entrada de animales de cualquier tipo a la planta de producción del Aperitivo Asawaa®.
- Toda persona que vea una plaga o vea una situación fuera de lugar lo comunica al supervisor y se registra en la planilla de situaciones fuera de lugar.

Conforme a los procesos internos de cada área de la planta, se identificaron y clasificaron algunas zonas de control de plagas en la distribución interna.

<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>	<b>Áreas</b>
Zona Crítica	Son aquellas áreas donde se debe realizar un meticuloso proceso de control de plagas por ser el lugar donde se elabora el producto y se tratan materias primas e insumos.	Área de Producción, Área de Fermentación, Preparación de Envases, preparación de materia prima, Laboratorio, Bodega de Materia Prima, Almacenamiento de botellas y Producto Terminado.
Zona Semicrítica	Son aquellas áreas que no tienen contacto directo con el producto final pero las plagas pueden generar amenaza contaminación al producto.	Baños, Servicios, Cuarto de Basuras y Vestier. Adicionalmente para este programa los pasillos internos de la planta se convierten en un área de control.
Zona No Crítica	Son aquellas áreas que no tienen contacto directo con el producto final y tienen una amenaza moderada de contaminación.	Administración, Dirección Técnica y devoluciones.
Zona Especial	Es aquella área que debe estar en continuo monitoreo por ser el lugar donde provienen todos los vectores. En esta zona se realizarán la mayoría de los procedimientos preventivos.	Alrededores.

**Tabla 8.** Clasificación de Zonas de control de plagas.

#### **5.4.5. Programa de Control de Proveedores.**

Para el programa de control de proveedores se establecieron las algunas condiciones generales. Todas las materias primas e insumos empleados en la fabricación de alimentos y bebidas alcohólicas deben cumplir con una serie de requisitos sanitarios que garanticen la inocuidad de los productos,

- El objetivo del programa de control de proveedores es evitar que las materias primas e insumos de los que se provee la empresa signifiquen un peligro para la

seguridad alimentaria. Es frecuente que las especificaciones de compra, además de los requisitos de inocuidad, se tengan en cuenta otros aspectos.

- El programa de control de proveedores consta de los siguientes apartados: El Programa de Control de Proveedores, incluidas las actividades de comprobación de su cumplimiento y eficacia, y los registros derivados. El Programa de Control de Proveedores consiste en la descripción detallada de todas las acciones que hay que realizar para asegurar el objetivo mencionado.

La siguiente es la clasificación de proveedores,

Proveedor de Materias Primas e insumos.

- Proveedor de materias primas (Panela, azúcar).
- Proveedor de tratamiento de agua.
- Proveedor de empaques (Botella, cajas).
- Proveedor de equipos (Producción, laboratorio).
- Proveedor de sustancias químicas.
- Proveedor de implementos de aseo.

Proveedor de Servicios

- Proveedor de servicios de laboratorio (Análisis de calidad, fisicoquímicos, microbiológicos).
- Proveedor de calibración y mantenimiento de equipos.
- Proveedor de aprovechamiento de residuos líquidos.
- Proveedor de servicios de capacitación.
- Proveedor de servicios públicos.

Proveedor de suministros y repuestos.

- Proveedor de implementos de aseo y desinfección.
- Proveedor de repuestos para equipos.
- Proveedor de papelería y artículos de oficina.

### 5.4.6. Programa de Limpieza y Desinfección.

En el programa de limpieza y desinfección se realizó la clasificación de zonas en función del nivel de riesgo de contaminación para el producto terminado,



**Figura 41.** Clasificación de zonas de limpieza y desinfección. Fuente: Autores

En tabla, (Tabla 9)

Zona	Descripción	Áreas
Zona Crítica	Son aquellas áreas donde se realizan procedimientos con alto riesgo de contaminación del producto final y por ello se debe prestar una atención especial.	Área de Producción, Área de Fermentación, Preparación de Envases, preparación de materia prima, Laboratorio, Bodega de Materia Prima, Producto Terminado.

Zona Semicrítica	Son aquellas áreas que no tienen contacto directo con el producto final pero que pueden generar amenaza contaminación.	Baños, Servicios y Cuarto de Basuras, Alrededores, Almacenamiento de Botellas.
Zona No Crítica	Son aquellas áreas que no tienen contacto directo con el producto final ni tampoco generan una amenaza significativa.	Administración, Dirección Técnica, Vestier, devoluciones.

**Tabla 9.** Clasificación de zonas en la limpieza y desinfección.

Los principales insumos para realizar la limpieza y desinfección son: detergente y desinfectante; ambos se preparan en solución acuosa. Éstos deben ser aptos para la industria de bebidas alcohólicas. Los insumos a usar en el presente proceso son los siguientes,

Insumo	Cantidad
Hipoclorito de Sodio líquido al 5,25%	20 Litros
Pastillas de Hipoclorito de Sodio (Sólido)	5 Kg
Fabuloso Multiusos®	1 Galón
Detergente Alcalino	15 Kilos
Jabón Líquido Antibacterial para manos	5 Litros

**Tabla 10.** Insumos para la limpieza y desinfección.

De forma análoga; a continuación, se presenta el listado de materiales para la limpieza y

Requisitos Generales de Insumos e Implementos. Para los insumos de Limpieza y Desinfección se debe tener presente lo siguiente:

Todos los insumos para la limpieza deben usarse de manera responsable para evitar contaminación cruzada y el desperdicio del insumo.

Se debe verificar que todos los detergentes y desinfectantes no estén fabricados a base de solventes tóxicos o que suministren olor alguno a equipos de proceso.

Se debe supervisar que los insumos destinados para la limpieza y desinfección se almacenen en el cuarto de servicios, fuera del área de proceso.

Se debe supervisar que los insumos destinados para la limpieza y desinfección se almacenen en el cuarto de servicios, fuera del área de proceso.

Todos los implementos de limpieza (escobas, cepillos, traperos, etc.) se deben mantener colgados en el perchero de implementos de limpieza ubicado en el cuarto de servicios.

Todos los equipos, instalaciones, superficies y materiales de uso de proceso deben limpiarse en cada lote de producción.

Una vez se realice la limpieza de equipos, instalaciones, superficies y materiales de uso de proceso, se debe verificar que se encuentren limpios de detergente y otro insumo para la limpieza o desinfección usados previamente.

**Figura 42.** Requisitos Generales de Insumos e Implementos.

Fuente: Autores

#### **5.4.7. Programa de Mantenimiento de equipos.**

Disposiciones generales,

- Existen dos tipos de mantenimiento en la empresa. El primero es el mantenimiento correctivo, este se realiza la intervención cuando se produce un desperfecto en el funcionamiento de los equipos o daño en la estructura edilicia.  
Mantenimiento preventivo se realiza de forma periódica, reemplazando piezas, utensilios o comprobando parámetros para evitar desperfectos durante el funcionamiento o deterioro de la estructura edilicia.
- Se elabora de acuerdo a los equipos, utensilios en contacto con la bebida alcohólica y a las estructuras cuyo deterioro puede afectar la seguridad de los mismos, un plan de mantenimiento, donde se listan todos los equipos, utensilios y estructuras, el área de uso, su principal desperfecto, la frecuencia de mantenimiento preventivo y el responsable de dichas actividades.
- Los equipos implantados en el área de producción están rotulados e identificados.
- Todos los equipos, utensilios y estructuras además de cumplir con las tareas de mantenimiento preventivo, cumplen con los procedimientos de limpieza y desinfección para proteger el producto de cualquier contaminación.

- Todas las acciones de mantenimiento deben ser registradas en el formato correspondiente.
- La revisión de la funcionalidad y el estado de los equipos, utensilios y estructuras es responsabilidad del supervisor de producción, quien solicita cuando sea necesario a la sección de mantenimiento los servicios pertinentes para mantener dicha funcionalidad y buen estado.
- Las tareas de mantenimiento son realizadas fuera del horario de producción.

Los siguientes es la documentación y registros necesarios

- Manuales de fabricantes (si existen)
- Plan de mantenimiento preventivo.
- Registros de trabajos de mantenimiento.
- Lista de verificación de mantenimiento.

Los siguientes son los algunos aspectos de mantenimiento en equipos de la empresa,

- Equipos y utensilios.

Todos los equipos y utensilios deben ser usados únicamente para los fines que fueron diseñados, construidos en materiales no porosos, que no desprendan sustancias tóxicas, y conservados de manera que no se conviertan en un riesgo para la salud y que permitan su fácil limpieza y desinfección. Todos los equipos deben tener disponibles un Manual de Operación y su Programa de Mantenimiento preventivo.

- Materiales.

Todos los equipos y utensilios empleados en los procesos de producción y que puedan entrar en contacto con las materias primas o el producto, deben ser un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, sea no absorbente y resistente a la corrosión, y capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección. Las superficies serán lisas y exentas de hoyos y grietas.

- **Mantenimiento**

El mantenimiento preventivo es fundamental para lograr que el proceso productivo del licor sea seguro y de calidad. El deterioro de edificaciones y equipos puede ocasionar contaminaciones físicas, químicas o microbiológicas, e incluso accidentes. Además, puede afectar los rendimientos del proceso ocasionando pérdidas económicas considerables y desprestigio. Un buen programa de limpieza y desinfección apoya sustancialmente los planes de mantenimiento. Cuando sea necesario realizar tareas de mantenimiento, lubricación u otras, se deben retirar todas las materias primas o productos expuestos, se debe aislar el área correspondiente y se colocaran señales indicativas visibles.

Todos los instrumentos de control de proceso (medidores de tiempo, temperatura, pH, humedad, flujo, peso, etc), estarán en buenas condiciones de uso para evitar desviaciones de los patrones de operación. Se apoyará del programa de calibración de equipos.

Los equipos deben estar instalados de forma tal que el espacio entre la pared, el cielo raso y el piso, permita su limpieza. Cuando para repararlos o lubricarlos sea necesario desarmar, sus componentes o piezas no se colocarán sobre el piso.

Los empleados de mantenimiento deberán colocarse uniforme limpio cuando deban ingresar a las salas de proceso en las que se esté trabajando; una vez terminada la reparación notificarán a los operarios de saneamiento para que procedan a lavar y desinfectar el equipo antes de reanudar el proceso.

#### **5.4.8. Programa de Muestreo.**

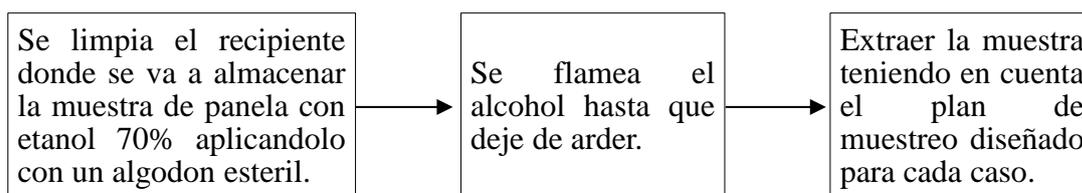
La toma de muestras de bebidas alcohólicas para el control oficial, se basa en el peligro que representa la misma para el consumidor por presencia de microorganismos patógenos o de contaminación química.

Para llevar a cabo el programa de Muestreo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones,

- La toma de muestras deberá ser realizada por personal técnico adecuadamente entrenado, capacitado y autorizado para esta labor.

- La toma de muestras debe hacerse evitando su contaminación y se deben tomar todas las precauciones de asepsia, conservando en todo momento las condiciones adecuadas de temperatura y humedad.
- Las muestras deben etiquetarse inmediatamente se tome y debe contener la mayor información posible, asegurando que no se desprenda durante su manipulación y transporte. En lo posible las etiquetas deben contener la siguiente información,
  - Número de Lote.
  - Persona responsable del muestreo.
  - Día, hora y lugar de la toma de muestra.
  - Información sobre el contenedor de procedencia y condiciones de conservación del producto, por ejemplo: temperatura y humedad.
  - Observaciones o cualquier tipo de información que se considere importante para orientar el tipo de análisis a realizar, metodología de muestreo o situaciones presentadas que puedan influir en los resultados analíticos.
- El envío al laboratorio debe realizarse de manera inmediata o en el menor tiempo posible, en contenedores, neveras o recipientes adecuados los cuales se deben lavar y desinfectar con anterioridad, con el fin de evitar contaminaciones.
- En todo momento la muestra debe conservarse de tal forma que se reduzcan al mínimo los riesgos de alteraciones que esta pueda experimentar antes del análisis.
- Se debe evitar la exposición de la muestra con el aire, la luz y la manipulación.

Para la extracción de muestras el operario encargado debe desinfectarse antes de iniciar las labores de muestreo y debe utilizar guantes y gorro. La extracción de muestras se debe realizar bajo condiciones de limpieza e inocuidad, es decir, antes de iniciar el muestreo se deben esterilizar los recipientes a utilizar como se describe a continuación:



**Figura 43.** Procedimiento de Muestreo.

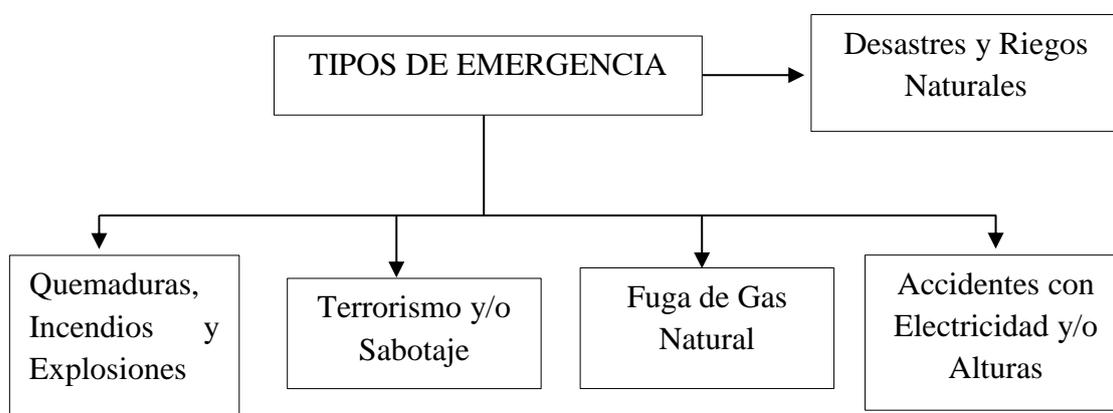
### 5.4.9. Programa de Plan De Emergencias.

La empresa funciona como una fábrica de producción de licor destilado tipo aperitivo,

<b>Razón Social</b>	<b>Awarala S.A.S. (Producto: Aperitivo Asawaa®)</b>
<b>Actividad Económica</b>	Producción de Bebidas Alcohólicas
<b>NIT</b>	900.466.256-3
<b>Dirección</b>	Carrera 7 #53-15 Riohacha, La Guajira
<b>Teléfono</b>	Cel. 310 51258 20   Tel. 729 1885

**Tabla 11.** Identificación de la Empresa.

Los siguientes son los tipos de emergencia que pueden presentarse en la fábrica del Aperitivo Asawaa®. Están relacionadas con emergencias inherentes al proceso y emergencia externas (No controlables):



**Figura 44.** Tipos de emergencia.

Fuente: Autores

- Quemaduras, Incendios y/o Explosiones.

Estos tipos de emergencias son ocasionadas por la generación de calor en superficies calientes. En la planta de producción el personal debe tener especial cuidado en el manejo del destilador ya que alcanza una temperatura de más de 105°C.

Este equipo, funciona por combustión de gas natural y, por ende, se puede generar riesgo de quemaduras e incendios, incluso, explosión si no se maneja correctamente la fuente de gas.

- Terrorismo y/o Sabotaje.

Un aspecto relevante en el desarrollo de las actividades propias de producción es la alteración del correcto funcionamiento de instalaciones y equipos por manos inescrupulosas. En este caso, se prevé un esquema de circuito cerrado de cámaras para tener completa vigilancia de las instalaciones internas y externas de la fábrica. El terrorismo y el sabotaje son dos amenazas al proceso que se deben tener presentes.

Éstas dos amenazas pueden ocasionar emergencias de todo tipo, ya sea incendios, afectación a las instalaciones, alteración de equipos u otros aspectos claves en el desarrollo del proceso.

- Fuga de Gas Natural.

El escape de gas es la fuga posible que puede generar una emergencia en planta, para ello se realizarán verificaciones a las instalaciones de gas naturales por parte del equipo de Gases del Caribe LTDA cada 6 meses.

- Accidentes con Electricidad y/o Alturas.

Los usos inadecuados de las redes de instalaciones eléctricas pueden generar emergencias dentro de la planta, en ese sentido, se debe tener presente que el uso, instalación, montaje y manipulación le corresponde hacerlo únicamente al personal calificado.

Por otro lado, el uso de escalera genera riesgo de caída de personal y, por ende, puede ocasionar una emergencia que compromete la salud del empleado.

- Desastres y Riesgos Naturales.

Este tipo de emergencias son ocasionadas por la intervención de la naturaleza en el entorno de trabajo. Se refieren al clima, animales venenosos, caída de árboles, inundaciones, temblores, etcétera. Este tipo de emergencias suelen suceder esporádicamente; sin embargo, deben ser tenidas en cuenta para evitar poner en riesgo al personal y las instalaciones físicas.

En la evacuación del personal se deben tener en cuenta los siguientes conceptos,

Plano de Evacuación: En el plano de evacuación se establecen y señalan las distintas salidas de emergencias de la planta y, asimismo, el punto de encuentro. Este plano debe ser de conocimiento de los empleados que laboran en planta.

Salidas de Emergencia: Son aquellas debidamente señalizadas y usadas para salida imprevista de la planta. Generalmente permanecen sin seguro para poder evacuar por ellas una vez suceda una emergencia que así lo requiera.

Punto de Encuentro: El punto de encuentro es el lugar en donde se debe realizar en conteo del personal una vez ocurra una emergencia en la que se deba hacer evacuación de la planta.

El siguiente es el proceso de evacuación,

- Inicio de la Evacuación.
  - a. Al oír la orden de evacuación, conserve la calma y no salga corriendo.
  - b. Interrumpa completamente sus actividades.
  - c. Siga las instrucciones del SISO (Auxiliar de seguridad).
  - d. Desenchufe o corte la energía eléctrica y alimentación de gas de todo artefacto o equipo que esté en funcionamiento (equipos, electrodomésticos, fuente de gas, computadoras, etc.).
  - e. Diríjase con calma y sin precipitarse hacia la Ruta de de Evacuación correspondiente al lugar en donde se encuentre, y hasta el Punto de Encuentro.
  - f. Estando en el Punto de Encuentro siga las instrucciones del SISO para conocer los pasos a seguir luego de la emergencia.
  - g. Una vez reunidos en el Punto de Encuentro, se procederá a hacer el conteo de las personas por parte del SISO o en su defecto de la persona que sea encargada para dicha tarea.
  
- Proceso de Evacuación.

Dada la orden de evacuación se deberá cumplir el siguiente procedimiento:

- a. Mantenga siempre la calma.
- b. Evite el pánico colectivo.
- c. Diríjase inmediatamente al Punto de Encuentro. En ningún caso permanezca en las instalaciones de la planta de Asawaa ni se dirija a otro punto corresponda.

- d. El SISO junto con la brigada de emergencia son las personas encargadas de realizar todo el proceso de control de daños, incendios y demás, no actúe por cuenta propia.
- e. Las acciones de evacuación están determinadas según el nivel de emergencia descrito en el siguiente apartado de este documento.
- f. Deberán seguir las instrucciones del SISO o el encargado en su lugar.
- g. Avance gateando si existe humo en la ruta de evacuación.
- h. No corra.
- i. Evite formar aglomeraciones en las vías de evacuación.
- j. Antes de abrir una puerta, palpe su temperatura en su parte superior, para saber si hay una fuerte presión de calor en la dependencia a la cual se va a trasladar.
- k. Permanezca en la Punto de Encuentro hasta nueva orden.
- l. Nunca regrese a las instalaciones de la planta menos que reciba una instrucción que así lo indique.

Ahora bien, la pregunta en caso de emergencia que el personal presente en planta debe tener presente es ¿Hacia dónde Evacuar? A continuación, se describe el proceso,

En la planta de producción del Aperitivo Asawaa® se debe realizar el proceso de evacuación teniendo en cuenta el lugar en donde se encuentre el individuo.

A continuación, en la tabla 12 se presenta la ruta de evacuación del personal dependiendo del lugar en donde se encuentre,

#	Área	Salida De Emergencia
1	Bodega de Materia Prima	Salida de Emergencia # 6
2	Preparación de Materia Prima	Salida de Emergencia # 6
3	Laboratorio	Salida de Emergencia # 6 ó # 1
4	Producto Terminado	Salida de Emergencia # 5

5	Administración	Salida de Emergencia # 1 ó # 7
6	Duchas	Salida de Emergencia # 1
7	Dirección Técnica	Salida de Emergencia # 4
9	Producción	Salida de Emergencia # 1, 2, 4, 5, 6 ó # 7
10	Fermentación	Salida de Emergencia # 1, 2, 4, 5, 6 ó # 7
11	Preparación de Envases	Salida de Emergencia # 2
12	Almacenamiento de Botellas	Salida de Emergencia # 2
13	Basuras	Pasillo Externo
14	Servicios	
15	Baños	

**Tabla 12.** Salidas de Emergencia de la Planta.

#### **5.4.10. Programa de Residuos Líquidos.**

El principal residuo líquido en la Fábrica de Asawaa<sup>®</sup> es, como en la mayoría de empresas de producción de bebidas alcohólicas: el agua; este compuesto es la matriz de transporte de muchos otros residuos líquidos y sólidos.

En el presente proceso, el agua tiene usos diversos para fines prácticos; se usa para realizar el procedimiento de limpieza las propias instalaciones (limpieza de equipos, desechos de duchas y WC's) e ingrediente constitutivo del producto final. Particularmente en el presente proceso, se definió un desecho y un residuo líquido.

Cada uno de los procesos de desecho y aprovechamiento de éstos efluentes se desarrollarán en los siguientes apartados,

- Disposición de Aguas Residuales.

Como se mencionó anteriormente, las Aguas Residuales no son (generalmente) aprovechadas para su reutilización, sino, para su disposición final de forma segura que no genere ningún tipo de contaminación cruzada (en la planta) ni de salud pública en las comunidades vecinas a la fábrica de producción.

Evidentemente no conviene usar las aguas residuales sin tratar para el riego de los cultivos ya que es una fuente importante de contaminación de las plantas y suelos; por otro lado,

si el vertimiento de éstas aguas residuales se realiza en río u arroyo pueden causar contaminación a la flora y fauna acuática por el proceso de florecimiento microorgánico (contaminación biológica). En ese sentido, lo más conveniente es proveer un lugar de disposición de éstas aguas residuales en un pozo de aguas negras y grises. Cabe resaltar que, aunque éstos residuos líquidos se realizan en una fábrica de Alcohol, no poseen características de aguas industriales sino más bien de aguas domésticas por la cantidad y calidad de contaminantes presente encada uno de los efluentes.

Ahora bien, se identificaron dos líneas específicas de disposición de aguas de aguas residuales,

- Línea de disposición de aguas residuales N<sup>0</sup>1: A ésta línea pertenecen las aguas pertenecientes a duchas, lavamanos y sifones que hace parte a las áreas de Administración, Producción, Fermentación, Preparación de Envases, Almacenamiento de Botellas, Preparación de Materias Primas y laboratorio. Éstas tuberías se encuentran dirigidas al pozo de aguas grises.
- Línea de disposición de aguas residuales N<sup>0</sup>2: A ésta línea pertenecen las aguas pertenecientes a sifones de los cuartos de servicios y basura y de igual modo los WC's de la fábrica. Éstas tuberías se encuentran dirigidas al pozo aséptico (o de aguas negras) de la planta.

Por otro lado, se encuentran las aguas lluvias que serán dispuestas según lo correspondiente al plano hidrosanitario y no tendrán ningún tratamiento secundario ya que no lo necesitan.

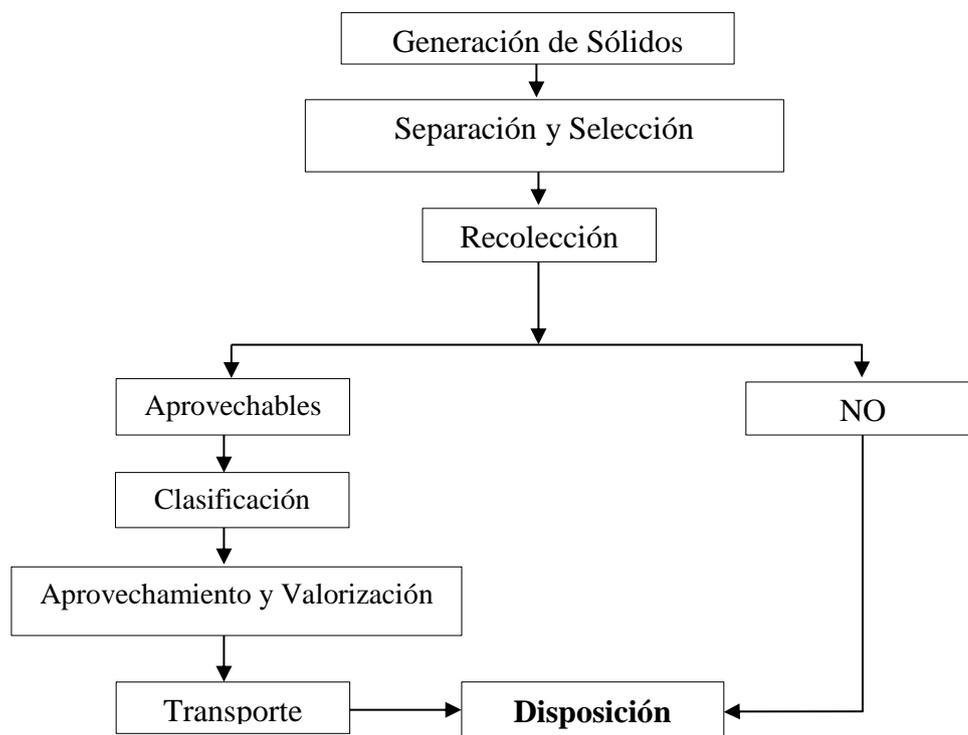
Finalmente, se tiene entonces dos líneas principales de disposición de aguas residuales y otras de aguas de lluvias. Se cuentan con dos recipientes de almacenamiento de aguas residuales (uno para cada línea de disposición) con el fin de evitar la contaminación cruzada y principalmente, evitar en mayor medida el riesgo de la presencia de microorganismos que puedan contaminar el área de Proceso y Fermentado.

#### **5.4.11. Programa de Residuos Sólidos.**

Para la disposición de los residuos sólidos de la empresa Awarala S.A.S. se tomaron algunas medidas preliminares,

- Los residuos sólidos se colocan en receptáculos o cestos destinados para cada uno de ellos, debidamente identificados, con bolsas de residuos y tapados.
- Cada vez que se realizan las tareas de limpieza y desinfección programadas para cada área se cambian las bolsas siempre y se limpian y desinfectan los receptáculos.
- Los desechos y residuos se almacenan cuando son retirados de cada área en el sector de desechos hasta su retiro por parte del personal encargado de la recolección pública de los residuos.

La siguiente es la clasificación de los residuos sólidos de la empresa,



**Figura 45.** Manejo de Residuos Sólidos. Fuente: Autores

## 6. CONCLUSIONES.

Las variables más relevantes en el proceso fermentativo son: la concentración del sustrato y la temperatura. La concentración inicial de la solución a fermentar define en gran medida el tiempo de residencia, se observó que no es conveniente tener un sustrato muy concentrado o muy diluido ya que en ambos casos se reduce la capacidad de los microorganismos de fermentar el medio; se concluyó que el rango de concentración óptima es de 20 a 23 °Brix, para este valor se aconseja usar las proporciones del ensayo 1.2-3 que posee una concentración de 22°Brix dado por 0,3grpanela/gr de agua y 0,125gr de azúcar comercial/gr de agua. Se concluyó que la Panela El Trébol brinda el producto con el que se obtiene el mayor rendimiento de etanol. En estudios de investigación y desarrollo se debería evaluar la incidencia de la agitación en el rendimiento del etanol. Se comprobó que a 18°C la reacción de fermentación ocurre de manera más lenta que a 30°C, en función de costos lo más viable para la empresa es seguir realizando el proceso a 30°C o evaluar el rendimiento de etanol a 25°C.

Los resultados experimentales de los análisis microbiológicos permitieron concluir que la solución fermentativa que se usa en la producción de etanol destilado se encuentra con un tipo de hongos presuntamente del género *Saccharomyces Sp* (levadura) y con biota contaminante de tipo bacteriana. Los principales microorganismos contaminantes son enterobacterias de tipo coliformes totales (sin coliformes fecales), bacillos gram positivos y gram negativos, cocos gram positivos.

Los resultados de la cinética, identificación y conteo microbiano sugieren que la empresa debe con extrema urgencia usar microorganismos comerciales selectivos para la fermentación alcohólica. Las levaduras *Saccharomyces Cerviceae* es un microorganismo comúnmente usado en la industria de bebidas alcohólicas. Asimismo, por medio del uso del nuevo microorganismo debe realizar un procedimiento de preparación de inóculo para permitir el crecimiento de la levadura e inhibir la aparición de bacterias que inhiban la fermentación o desplacen la reacción a otro tipo de proceso biológico.

La documentación de las buenas prácticas de manufactura en la empresa se acogió a las necesidades y, según la visita del INVIMA se cumple con lo establecido en el decreto 3075 de 1997. La empresa se encuentra en condiciones óptimas para la producción de etanol destilado de tipo aperitivo ya que cumple con las especificaciones sanitarias

## **7. RECOMENDACIONES.**

El hecho que se encuentren algunos problemas de inocuidad en el reactor de fermentación no significa que esté totalmente contaminado el producto como tal, sino que, se recomienda tomar acciones de peso para evitar que las bacterias mencionadas inhiban las levaduras responsables de la fermentación alcohólica.

La empresa debe establecer procedimientos más estrictos en el control de bacterias y así evitar la contaminación del medio. Es necesario que se establezca nuevos parámetros de limpieza en equipos, utensilios, materias primas y personal. En caso de no tomar medidas al caso, podría generarse una contaminación hasta el punto de inhibir las levaduras nativas.

En el proceso actual que lleva a cabo la empresa Awarala S.A.S, se pudo observar mediante los datos obtenidos experimentalmente y en la simulación, reflejan que se llega en los dos casos a que el destilador separa inicialmente 55 % de etanol en agua, lo que indica que la columna actual tiene un buen grado de separación para las bebidas alcohólicas, por tal razón no se le hicieron mejoras a este equipo, si no que se aconseja aumentar el número de unidades, dependiendo de la demanda que posea el producto en el mercado.

A través del P&ID se propuso automatizar las variables más importantes en el proceso de fermentación y destilación, esto con el fin de evitar los cambios bruscos tanto de temperatura y pH. En caso de la fermentación tener un control de temperatura y pH evitara la inhibición y muerte de los microorganismos responsables de esta, y en el caso de la destilación el control de temperatura evitara separar compuestos indeseados que afecten el producto final y produzca pérdidas y bajos rendimientos para la empresa. El diseño del biorreactor se tuvo en cuenta las carencias que tiene el fermentador usado actualmente, para esto se propuso un reactor biológico Batch de tanque agitado anaerobio, con el cual se mejore la conversión y estabilice las variables tales como pH, concentración de microorganismo, temperatura, etc; en cada parte del biorreactor.

Actualmente en la empresa la agitación se lleva a cabo de forma artesanal, esto ocasiona que la muestra no esté totalmente aislada a contaminantes y aparezcan otras especies de microorganismos que produzcan otro tipo de compuestos que afecten la calidad del producto deseado.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aguilar, D. (2011); Producción De Etanol A Partir De Bagazo De Caña Panelera Mediante Un Sistema Híbrido De Fermentación Y Pervaporación; Tesis Universidad Nacional De Colombia; Manizales, Colombia.

Albarracin, F., Carrascal, A. (2005); Manual De Buenas Prácticas De Manufactura Para Microempresas Lácteas; Editorial Javeriana. Bogotá.

Angurell, I., Et Al., (S.F), Operaciones Básicas En El Laboratorio De Química, Tema 10 Destilación, Universidad De Barcelona, Disponible En: <Http://Www.Ub.Edu/Oblq/Oblq%20castellano/Destilacio.Html>

Asuaje, J. (2008); Diseño E Implementación De Un Software De Simulación Para La Evaluación De Columnas De Destilación; Tutor Academico Di Scipio S.

Atkinson, B. 2008. Reactores Bioquímicos. Editorial Reverté. Barcelona. Pp. 26- 30.

Atkinson, Robert 1986 Reactores Bioquímicos, Editorial Reverté S.A. Barcelona – España.

Boulton, R., Singleton, V., Bisson, L., Kunkee, R. (1996); Principles And Practice Of Winemaking.

Bebidas Alcohólicas (2016). Internelia Network S.L. <Http://Www.Bebidasalcoholicas.Org/>

Camarillo, J. (2011); Estudio De La Combustión De Un Motor Monocilíndrico De Ignición Alimentado Con Mezclas Gasolina-Etanol Anhidro E Hidratado A Distintas Concentraciones; Tesis.

Campues, J., Tarupi, J. (2011); Obtención De Alcohol A Partir De Jugo De Caña, Cachaza Y Melaza, Mediante La Incorporación De Dos Niveles De Fermento (*Saccharomyces Cerevisiae*); Tesis; Ibarra, Ecuador.

Castillo, J., Chaves, J. (2008); Implementación De La Documentación De Las Buenas Prácticas De Manufactura Y Establecimiento De Los Programas de Procedimiento De Las Pruebas Físicoquímicas En La Planta De Enfriamiento; Tesis Universidad Javeriana; Bogotá.

Doran, Pauline, —Principios De Ingeniería De Los Bioprocesos, Editorial Acribia, S.A, España, 1998. P. 57.)

Garzón Sandra, Hernandez Catalina. Studio Comparativo Para La Producción De Etanol Entre *Saccharomyces Cerevisiae* Silvestre, *Saccharomyces Cerevisiae* Atcc 9763 Y *Candida Utilis* Atcc 9950, 2009.

Geankopolis C.J. (1998). Procesos De Transporte Y Operaciones Unitarias. Cescsa.

Gonzales Sosa Reymundo (1978); Microbiología De Las Bebidas; Pueblos Y Educación Ediciones; La Habana - Cuba.

Guevara, M. (2003); Establecimiento De Variables Criticas, Parámetros De Control Y Análisis En Los Procesos Productivos De La Industria Licorera De Caldas; Tesis Universidad Nacional De Colombia; Manizales, Colombia.

Gummadi, S.N. 2007. Biochemical Engineering. Editorial Prentice-Hall. Pp. 50- 140.

Hernandez, S., Martinez, C. (2012); Obtencion De Etanol Por Via Fermentativa A Partir De Cascaras De *Ananas Comosus* (Piña) Evaluando Dos De Sus Principales Variables (Ph Y Grados Brix) Usando Como Microorganismo Productor *Saccharomyces Cerevisiae*; Tesis Universidad De El Salvador; El Salvador.

Jurado., S., Y Sarzosa., X., Estudio De La Cadena Agroindustrial De La Cabuya En La Producción De Miel Y Licor De Cabuya., Facultad De Ingeniería Química Y Agroindustria., Ingeniería En Agroindustria., Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador., Tesis., 2009., Pp. 16-21, 31-41, 67-79

Limon, A. (2010); Elaboración De Licor De Nache (*Byrsonima Crassifolia* (L.) Kunth); Tesis Universidad Autónoma Chapingo; México.

López, S. 2004. Curso De Cocina Y Alimentación. Bebidas. Licores Y Cocteles.

Montoya, C. C. (2006). Fundamentos Y Situación Actual Del Uso De Etanol Anhidro Como Oxigenante De Gasolinas En Costa Rica. San José, Costa Rica.

Mora Yadira. Modelación Cinética De La Fermentación Alcohólica Del Zumo De Pumarrosa, Quito, 2014.

Navarro, E. (2016); Estudio De La Adaptación A Estrés Por Etanol En Cepas De Saccharomyces Cerevisiae. (Tesis Doctoral). Universidad De Valencia. España.

Osorio-Cadavid, E., Ramórez, M., Lopez, W.A. Y Mambuscay, L.A. Estandarización De Un Protocolo Sencillo Para La Extracciôn De Adn Genû- Mico De Levaduras. Revista Colombiana De Biotecnología, (11), 2009, P.125-131

Paul, Edward L., Victor A. Atiemo-Obeng Y Suzanne M. Kresta (2004). Handbook Of Industrial Mixing Science And Practice. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Peña, C., Arango, R. (2008); Evaluación De La Producción De Etanol Utilizando Cepas Recombinantes De Saccharomyces

Cerevisiae A Partir De Melaza De Caña De Azúcar; Corporación Para Investigaciones Biológicas-Cib; Medellin, 2009.

Peraza, V. (2006); Cambios En La Producción De Caña De Azúcar En El Salvador Ante Cambios En Los Precios Internacionales: Periodo 1970-2003; Tesis Universidad Centroamericana José Simeón Cañas; San Salvador.

Pinney, T., (2012). The Markers Of American Wine A Record Of Two Hundred Years. University Of California, Press Ltd. Ed. Library Of Congress Cataloging In Publication Data.

Quezada, W. (2007); Agroindustria Panelera; Editorial Creadores Gráficos. Ibarra – Ecuador.

Recalde., D., Elaboración De Una Bebida Alcohólica De Jícama (Smallanthus Sonchifolius) Y Manzana (Pyrus Malus L.), Facultad De Ingeniería Química Y Agroindustria., Ingeniería En Agroindustria., Escuela Politécnica Nacional., Quito-Ecuador., Tesis., 2010., Pp. 21, 33-40, 52-69, 73-78

Sanchez, A. (2011); Fermentación De Malta Empleando Un Sistema Semi Continuo En El Proceso De La Elaboración De Cerveza. (Tesis). Universidad Tecnológica De La Mixteca. México.

Treybal R.E. (1988). Operaciones De Transferencia De Masa. México: Mc Graw Hill.

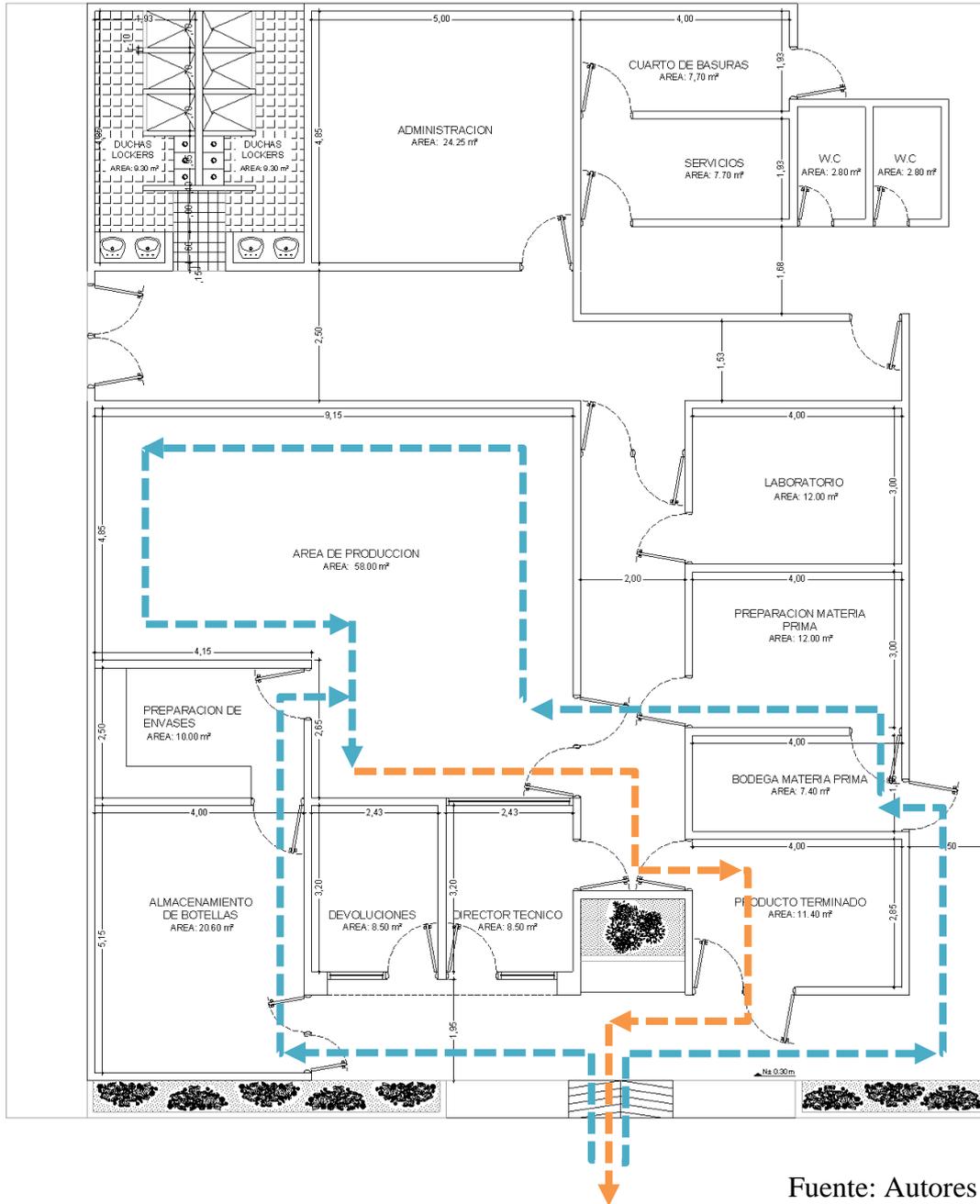
Van Balken, J.A. 1997. *Biotechnological Innovations In Chemical Synthesis*. Editorial Butterworth-Heinemann. Gran Bretaña. Pp. 278-297.

Vargas, C. A. 2001. *Elaboración de licor del fruto de pitayo (Stenocereus queretaroensis) y su análisis sensorial descriptivo*. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. México.

Zeng, F., Dahhou, B., Goma, G. 2001. Reference model adaptative estimation applied to a continuous flow fermentation process. *J. Chem. Technol. Biot.* 76, 1124-1137.

# ANEXOS.

## Anexo 1. Ruta De Ingreso De Materia Prima E Insumos.

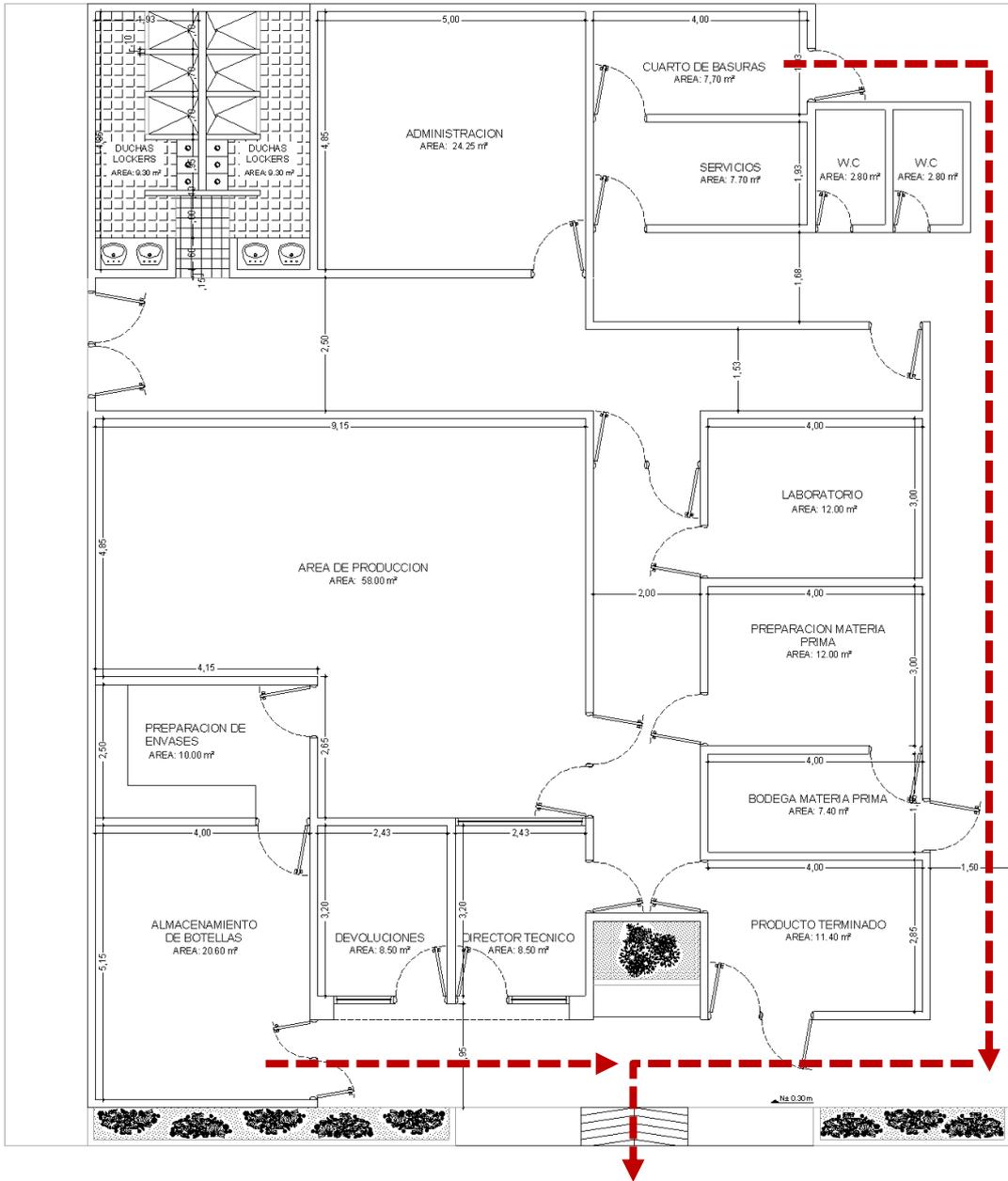


Fuente: Autores

— Ruta de Ingreso de Materia Prima.

— Ruta de Salida de Producto Terminado.

## Anexo 2. Ruta De Residuos Sólidos



Fuente: Autores

---> Ruta de Residuos Sólidos.

**Anexo 3.** Resultados de contenido de cobre y hierro en la determinación de condiciones de fermentación.



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Una Universidad incluyente y comprometida con el desarrollo integral

1 de 1

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
COORDINACION ADMINISTRATIVA DE LABORATORIOS  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD Y DIAGNOSTICO**

**Solicitante:** Sharon Helena Castellanos Lozano – Yorman Zambrano Silva **Ciudad:** Pamplona **Objeto del servicio:** Análisis de Hierro y Cobre en seis muestras de alcohol destilado **Muestra tomada por:** El Solicitante **Fecha Recepción muestras:** 05-10-2016 **Fecha Entrega Resultados:** 10-10-2016

**RESULTADOS FISICOQUIMICOS**

MUESTRA	UNIDADES	HIERRO	COBRE
1 - 2 - 3	ppm	0.0421	ND
1 - 2 - 5	ppm	0.0491	ND
1 - 2 - 4	ppm	0.0421	ND
1 - 3 - 3	ppm	0.0573	ND
1 - 3 - 4	ppm	0.0526	ND
1 - 3 - 5	ppm	0.0526	ND

Analista Químico: 

Asesor Científico: 

**Anexo 4.** Resultados de contenido de metanol, hierro y cobre del aperitivo final.



NIT-302.000-754-4  
 REPORTE DE ENSAYO

Fecha de impresión: 2016-11-20 12:52:00

Ensayo No.:	304354	Fecha de recepción:	2016/11/09
Empresa solicitante:	AWARALA S.A.S	Fecha de resultado:	2016/11/09
Dirección:	Calle 3a # 2-90, Ríohacha, La Guajira	Responsable del mueat:	Cliente
Ciudad:	RÍOHACHA		
Muestra de:	Aguardiente		
Fecha de muestreo:	2016/11/09 Hora: 00:00:00		
Temperatura de muestra:	Ambiente		

Plan de muestreo: PTT-PQ-001

BEBIDAS ALCOHÓLICAS - DECRETO 1686 2012 MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL-NTC 917

DESCRIPCION	RESULTADO	LDM	LCM	VLR DE REFERENCIA	METODO UTILIZADO
Cobre	LDM<0,05-LCM mg/L			No establecido	AOAC #67.08 Absorción atómica
Metanol	1,127 %				Cromatografía de gases NTC 4118
Hierro	0,579 mg/L			No establecido	AOAC #10.12 Absorción atómica

(A): Estos resultados de análisis están acreditados por el IDEAM, según resolución No. 2707 de diciembre de 2015

+: Análisis realizados por laboratorio subcontratado

NA: NO APLICA

NE: NO ESTABLECIDO

- Por debajo del LDM se informa como "no detectado o no detectable" (ND).

- Resultado entre el LDM y el LCM se informa LDM < n < LCM como una calificación para el valor obtenido.

- Los resultados por encima del LCM se informa el valor asociado a esta la incertidumbre expandida del método.

**COMENTARIOS**

Los datos relacionados de las condiciones ambientales bajo las cuales se efectuó la toma de muestra y los ensayos, se encuentran disponibles en el evento en que sean requeridos por el cliente.

Estos resultados son válidos para la muestra analizada no se pueden reproducir sin aprobación por escrito del laboratorio.

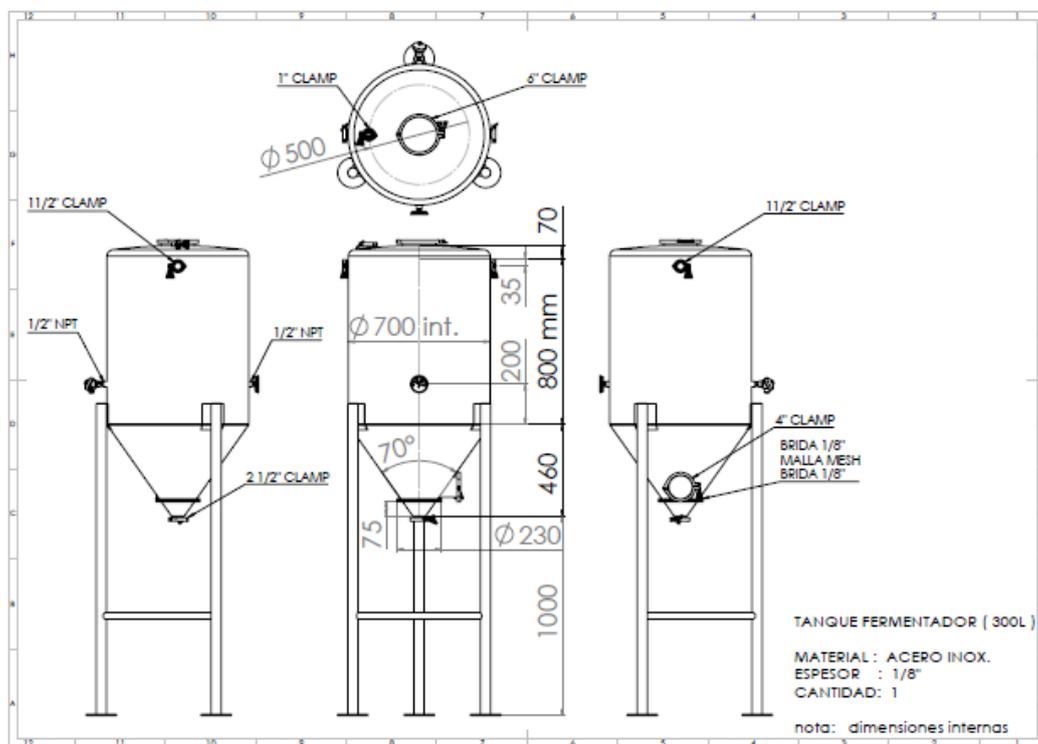
-FIN DE REPORTE-

CARLOS ALBERTO ORTIZ  
 Gerente Técnico

Revisado Por: MARILLY TOVAR	Aprobado Por:
-----------------------------	---------------



**Anexo 7.** Dimensiones del fermentador actual.



Fuente: Awarala S.A.S.