

Área del Conocimiento de Agricultura

**DESARROLLO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN Y
FORMULACIÓN DE VINAGRE DE MIMBRO (Averrhoa
bilimbi) A PARTIR DEL METODO LUXEMBURGUES
MODIFICADO PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Tutor:

Br. Karen Lisseth Coronado
Hernández
Carné: 2013-62094

Br. Norman Isaí Tercero
García
Carné: 2011-37387

Ing. Nelly Ivette Betanco
Figueroa.

21 de octubre 2024
Managua, Nicaragua

DEDICATORIA

A Dios principalmente por ofrecerle mi esfuerzo y dedicación en este trabajo, al profesor Alejandro por todo su acompañamiento y apoyo brindado, Ing. Nelly Betanco por sus conocimientos y orientación en cada una de las etapas de la realización de la misma, Msc. Rolando Guevara por sus consejos brindados y su dedicación, a Norman Tercero quien me acompañó durante la realización de esta monografía por su paciencia y perseverancia y sin cuya participación acabarla habría tomado más tiempo.

Por último, pero no menos importante Kevin Gutiérrez por su apoyo y cariño incondicional, a mis padres Haydee y Francisco por guiarme con amor en esta vida, mi hermana Ana por estar siempre alentándome en mis proyectos, también Hellen, Crithian, Darel.

Karen Coronado

El presente trabajo está dedicado a Dios quien supo guiarnos por el buen camino, darnos fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándonos a encarar las adversidades sin olvidar nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestras familias quienes por ellos hemos llegado a culminar la carrera. Para nuestros padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarnos con los recursos necesarios para estudiar. Nos han dado todo lo que somos como persona, los valores, los principios, el carácter, el empeño, la perseverancia y coraje para conseguir nuestros objetivos.

Gracias también a nuestros queridos compañeros, que nos apoyaron y nos permitieron entrar en su vida durante estos años de convivir dentro del salón de clase.

Norman Tercero

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro sentimiento de gratitud hacia cada una de las autoridades de la Universidad Nacional de Ingeniería, por ser un ejemplo de lucha y perseverancia para los estudiantes, quienes hemos visto en ustedes la tenacidad para lograr enfrentarse con los obstáculos presentados en la vida.

Un fraterno agradecimiento hacia nuestra tutora, Ing. Nelly Ivette Betanco Figueroa y profesor Alejandro responsable del laboratorio de alimentos, por guiarnos en este último trayecto recorrido, muchas gracias por ser tan noble y gentil, se ha ganado nuestro aprecio y admiración.

A los docentes que formaron parte de nuestra formación académica les agradecemos por todos los conocimientos que nos brindaron para poder culminar esta nueva etapa y estar preparados para poder desenvolvernos en el ámbito profesional.

CARTA DEL PROFESOR TUTOR

En el presente trabajo de diploma: “**DESARROLLO DEL PROCESO DE ELABORACION Y FORMULACION DE VINAGRE DE MIMBRO (*Averrhoa bilimbi*) A PARTIR DEL METODO LUXEMBURGUES MODIFICADO PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**”, llevado a cabo por los Br. Karen Lisseth Coronado Hernández y Br. Norman Isaí Tercero García, se logró obtener un importante desarrollo en cuanto a la elaboración y formulación de Vinagre de un fruto muy particular y muy utilizado en comidas típicas Nicaragüenses, utilizando un Método ya establecido pero a la vez modificado por los bachilleres, algo muy propio del ingeniero químico, con esto los Br. Coronado Hernández y Br. Tercero García tomaron experiencias de trabajo utilizando diseño de experimentos y a la vez apropiándose de nuevos conocimientos generados por su investigación y sus resultados pueden ser considerados como referencias a estudios posteriores.

Los Br. Coronado Hernández y Tercero García, pusieron de manifiesto su entusiasmo, constancia y tiempo extra para lograr culminar con este valioso trabajo, que se espera sea de mucho aporte a la investigación que se desarrolla en el Programa Académico de Ingeniería Química

Señores Miembros del Jurado tienen en sus manos un excelente trabajo de investigación, por lo cual solicito que brinden su juicio valorativo para que los bachilleres alcancen el grado de Ingeniero Químico.

Atentamente.



Ing. Nelly Ivette Betanco Figueroa

Tutor

RESUMEN

El estudio se enfocó en evaluar el proceso de elaboración de vinagre con el método luxemburgués modificado. Los parámetros de operación como los grados Brix en la solución de agua-jugo de mimbro se estableció en valores menores a 21 para evitar la saturación de la solución y evitar retraso de la fermentación alcohólica. Tras un análisis exhaustivo, se determinó que lo recomendable a usar es la combinación 6 con cantidad de volumen de vinagre crudo (b2:0.198 L) y de Mezcla/Vino (a3:4.95 L) resultando en 5.148 L de Vinagre de mimbro, considerando las variaciones en la cantidad utilizada de vinagre crudo de las demás combinaciones. Comprobamos que la combinación 6 cumple con los requerimientos para la elaboración de Vinagre, para el vino la mezcla de jugo de mimbro-agua entre el (70-85) % el azúcar entre el (18-20) % y la levadura entre el (0.5-1.5) %. Para la Fermentación acética se recomienda el uso entre el (2-4) % de Vinagre crudo a base del vino a fermentar a Vinagre. Se detallo el proceso de elaboración de vinagre a partir de mimbro con el uso del Método Luxemburgués Modificado, complementado con el cálculo del Balance de Materia en cada etapa del proceso para mejor comprensión de la investigación.

ABSTRACT

The study focuses on evaluating the vinegar production process with the modified Luxembourg method. The operating parameters such as degrees Brix in the water-Mimbro juice solution were developed at values less than 21 to avoid saturation of the solution and avoid delaying alcoholic fermentation. After an exhaustive analysis, it is considered that the recommended one to use is combination 6 with the amount of Raw Vinegar Volume (b2:0.198 L) and Mixture/Wine (a3:4.95 L) resulting in 5.148 L of Mimbro Vinegar, considering the variations in the amount of raw vinegar used from the other combinations. We verified that combination 6 meets the requirements for the production of vinegar, for wine the mixture of ointment juice-water between (70-85) %, sugar between (18-20) % and yeast between (0.5-1.5) %. For Acetic Fermentation, it is recommended to use between (2-4) % Raw Vinegar based on the wine to be fermented to Vinegar. The process of making vinegar from osier is detailed with the use of the Modified Luxembourg Method, complemented with the calculation of the Material Balance at each stage of the process for a better understanding of the research.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos	4
III. MARCO TEÓRICO	5
3.1 Mimbro	5
3.1.2 Clasificación taxonómica	6
3.2 Composición del Mimbro	7
3.2.1 Valor nutricional	8
3.3 Levaduras	8
3.4 Vinagre	9
3.4.1 Condiciones Óptimas de Fermentación acética	9
3.4.2 Característica química	9
3.4.3 Característica Física	10
3.4.4 Tipo de Vinagre	10
3.5 Fermentación	10
3.5.1 Tipos de Fermentación	10
3.5.2 AcetobacterAceti	11
3.6 Método de Elaboración de Vinagre	12
3.6.1 Método Luxemburgués Modificado	12
3.7 Aplicaciones y usos del Ácido Acético	12
3.9 Producción de Mimbro en Nicaragua	13
3.10 Definición de Vinagre Crudo	13
3.11 Descripción del Proceso de elaboración de Vinagre de frutas	13
3.11.1 Selección, Lavado y extracción del jugo de la fruta	13
3.11.2 Acondicionamiento del Mosto	14

3.11.3 Fermentación Alcohólica.....	14
3.11.4 Descube y Filtrado del Vino.....	15
3.11.5 Acetificación del Vino.....	15
3.11.6 Cosecha del Vinagre	15
3.11.7 Filtración.....	15
3.11.8 Pasteurización	16
3.11.9 Envasado	16
IV. HIPÓTESIS.....	17
V. METODOLOGÍA.....	18
5.1 Tipo de Investigación.....	18
5.2 Ubicación del estudio	18
5.3 Diseño de Investigación	18
5.4 Metodología	18
5.4.1 Variables	19
5.5 Diseño experimental	19
5.5.1 Tratamientos	19
5.5.2 Obtención de Vino de frutos del árbol de Mimbro	21
5.5.3 Obtención de Vinagre de frutas del árbol de Mimbro	21
5.5.4 Determinación de la influencia de la cantidad de mezcla jugo de mimbro-agua y el volumen de Vinagre crudo en la obtención de Vinagre.....	22
5.5.5 Materia Prima:.....	23
5.5.6 Insumos	23
5.5.7 Materiales:	23
5.5.8 Reactivos:	24
VI. Presentación y Discusión de Resultados	25
Figura 5.1. Diagrama de flujo de elaboración de Vinagre de Mimbro.....	25
6.2.1 Selección, Lavado y extracción del jugo de la fruta de mimbro.....	26
6.2.2 Acondicionamiento del Mosto	27
6.2.3 Fermentación Alcohólica.....	29
6.2.4 Descube y Filtrado del Vino.....	29
6.2.5 Acetificación del Vino	29
6.2.6 Cosecha del Vinagre	30

6.2.7 Filtración.....	31
6.2.8 Pasteurización	32
6.2.9 Envasado	33
6.3. Balance de Materia para el proceso de obtención de vinagre de mimbro.....	33
VII. Conclusiones.....	50
VIII. Recomendaciones	51
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	52
IX ANEXOS	54

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación Taxonómica	6
Tabla 2. Composición centesimal del fruto mimbro	7
Tabla 3. Características Físico Químicas del mimbro	8
Tabla 4. Formulación de los mostos	20
Tabla 5. Tratamientos a evaluarse	21
Tabla 6. Formulación vino de mimbro	21
Tabla 7. Combinaciones factoriales para la elaboración de vinagre	22
Tabla 8. Datos obtenidos del consumo del sustrato (°Brix)	41
Tabla 9. Resultados en la etapa de fermentación alcohólica	41
Tabla 10. Datos obtenidos del pH en la fermentación acética	42
Tabla 11. Resultados en la etapa de fermentación acética	43
Tabla 12. Para el análisis de la hipótesis	44
Tabla 13. Resultado de formulación de los mostos	44
Tabla 14. Tratamientos a evaluarse	45
Tabla 15. Formulación vino de mimbro	45
Tabla 16. Combinaciones factoriales para la elaboración de vinagre	45

Índice de Figuras

Figura 5.1. Diagrama de flujo de elaboración de Vinagre de Mimbro	25
Figura 5.2. Selección del mimbro después de ser lavado.	26
Figura 5.3. Extracción del jugo de Mimbro	27
Figura 5.4. Acondicionamiento del mosto	28
Figura 5.5. Introducción del vinagre crudo	30
Figura 5.6. Colocación de la tela protectora	31
Figura 5.7. Filtración del vinagre	32
Figura 5.8. Método de pasteurización de envases	33
Figura 5.9. Selección, lavado y extracción del jugo de la fruta	34
Figura 5.10. Acondicionamiento del Mosto	35
Figura 5.11. Fermentación Alcohólica	36
Figura 5.12. Descube y filtración del Vino	37
Figura 5.13. Acetificación del vino	38
Figura 5.14. Cosecha del Vinagre	39
Figura 5.15. Filtración	40
Figura 5.16. Pasterización	41
Figura 5.17. Envasado	41

I. INTRODUCCIÓN

Según la Real Academia Española el vinagre se define como: “Líquido agrio y astringente, producido por la fermentación ácida del vino y compuesto principalmente de ácido acético y agua, que se usa especialmente como condimento, el Vinagre es una solución acuosa con un contenido comprendido entre un 3 y un 5 % v/v de ácido acético o ácido etanoico (CH_3COOH). Se obtiene luego de dos etapas de proceso, una primera fermentación alcohólica del mosto rico en azúcares fermentables y una segunda oxidación del alcohol etílico a ácido acético. De acuerdo a la FDA en el año 2012 determinaron el estándar de identidad para vinagre como la sustancia proveniente de la fermentación alcohólica y acética de jugos de frutas que contiene normalmente 4 gramos de ácido acético por cada 100 mililitros. El vinagre se utiliza como condimento y aderezo en ensaladas, como conservante de frutas, vegetales y carnes además de agente de limpieza.

La síntesis biológica del ácido acético involucra una reacción de cuatro pasos que envuelve la conversión de almidón a azúcares a través de la amilasa, la conversión anaeróbica de azúcares a etanol por medio de fermentación con levaduras, la transformación de etanol a acetaldehído hidratado y la deshidrogenación por medio de aldehído deshidrogenasa para obtener como producto Ácido acético (Chiang Tan 2005).

Existe además la obtención de forma artificial que se produce por carbonización del metanol, este no contiene otras sustancias que la adjudiquen las cualidades características del vinagre natural de frutas. El proceso de acetificación incluye además de la conversión acética procesamientos tales como la filtración, clarificación, destilación y pasteurización a 74°C antes de ser envasado. El vinagre es muy importante para la elaboración de productos como salsas, aderezos, salsas picantes entre otros.

Louis Pasteur en el año 1864 realizó estudios sobre la fermentación acética donde afirma que siempre que el vino se transforme en vinagre será por la acción de un velo de bacterias *Mycoderma acety*.

Los estudios de las bacterias del ácido acético son muchos, desde 1822 en que Persoon investigando el velo de vinagres identifica al *Mycoderma*, hasta el presente cuando se buscan cepas con mayor resistencia al alcohol, temperaturas y cultivos inmovilizados. En la actualidad las acetobacterias están incluidas en dos géneros (*Gluconobacter* *Acetobacter*), dentro de la familia *Acetobacteriaceae* (Bergey, 2015).

El uso y consumo general de vinagre natural de frutas en Nicaragua se ve afectado por su alto costo y baja disponibilidad en mercado sumado a una disminuida tradición de consumo en comparación con los vinagres obtenidos a partir de la caña de azúcar y vinagres provenientes de ácido acético de síntesis química.

Hasta hoy en el país han sido muy pocas las microempresas que se dedican a la elaboración de ácido acético de origen natural, debido al desconocimiento de la tecnología de fabricación y los beneficios de consumir Mimbro. No se encontró registro de una mediana o microempresa que use mimbro para la elaboración de vinagre a nivel nacional que puedan satisfacer las necesidades del mercado, lo que obliga a la importación de ácido acético glacial.

En la revisión de repositorios de trabajos monográficos asociado a la obtención de vinagres se registran en el año 1998 la tesis que tiene por título: Optimización de un generador acético schutzenbach en la producción de vinagre natural a partir de un mosto alcohólico. Amado Medina, Antonio; Aguilera Paguaga, Adolfo. También se encontró tesis del año 2020 con el título: Diseño del proceso productivo para la obtención de vinagre de piña cayena lisa – Ananás Comusus – a nivel de planta industrial en el municipio de Ticuantepe. Hernández Ordoñez, Leda Eugenia; Cruz, Crista María. Y tesis del año 2021 con el título: Obtención de vinagre de doble fermentación de las frutas: piña, banano y naranja en la ciudad de Juigalpa, Chontales-González Álvarez, Karen Rebeca; Reyes, Anyel José.

En las investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional no se han encontrado estudios plasmados sobre la utilización de frutos del árbol de Mimbro, esto se debe a la falta de información al público en general hacia los usos y beneficios que este residuo podría generarles.

En Nicaragua existe una economía meramente agrícola, la mayoría de materia prima es obtenida de las cosechas se vende en los mercados nacionales e internacionales sin darle un valor agregado, no cuenta el país con una empresa que se dedique al aprovechamiento e industrialización de un producto alimentario a gran escala, contando con variedad de opciones en cuanto a frutas, verduras y hortalizas.

Con la ejecución de este estudio se pretendió proveer de una alternativa de aprovechamiento del fruto de árbol de Mimbrot, mediante la elaboración de vinagre, lo cual le proporcionaría valor agregado al mimbrot, proveyendo de mayor ingreso a las familias dedicadas a la producción de este rubro y la generación de empleo en el país.

Con el presente estudio se pretendió demostrar la viabilidad de obtener vinagre natural de frutos del árbol de mimbrot (*Averrhoa bilimbi*) formulando mostos azucarados a partir de concentrado de la fruta.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Desarrollar el estudio de formulación y el proceso de obtención de vinagre a partir de pulpa de mimbro con el Método Luxemburgués Modificado para la industria alimentaria.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de operación apropiados (°Brix, agua), para el proceso de obtención de vinagre de mimbro con el Método Luxemburgués Modificado.
- Comprobar la formulación seleccionada de acuerdo al método de la investigación realizada.
- Determinar la influencia de los °Brix en la cantidad de la solución de agua-jugo de mimbro y el volumen de vinagre crudo en la obtención de vinagre

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Mimbro

El árbol de Mimbro cuenta con hojas con foliolos impares, flores de color rojo oscuro agrupadas en racimos, con 5 sépalos y el mismo número de pétalos. Su fruto es parecido al pepinillo de 5 centímetros de largo de color verde claro a verde amarillento cuando está maduro, cuando aumenta su contenido de líquido interno variando su consistencia de dura a suave.

Los frutos se presentan en racismos de diferentes tamaños los que fácilmente se desprenden. En su interior poseen varias semillas de color verde oscuro, planas, suaves y pequeñas, las que por lo general se consumen junto a la pulpa de color blanquecino.

3.1.1. Origen

El mimbro es una planta originaria de Indonesia que llega a América por el año 1793, fue cultivada por siglos en todo el sureste de Asia (Puccio,2015). Pertenece a la familia de las Oxalidáceas (Tabla 1) pariente del melocotón de estrella o molinillo, es un árbol que en Nicaragua llega a crecer como promedio 5 metros de altura, especialmente en occidente (León y Chinandega) donde los suelos franco-arenosos de buena fertilidad favorecen su desarrollo.

Esta planta fue citada en el año 1911 por Ramírez Goyena, época en que se le conocía como “mimbro” y “sandillita” utilizada solo para mermeladas y jugos. La presencia en Nicaragua data de hace más de 400 años siendo traído por los españoles desde las islas del Caribe donde se favoreció su establecimiento al encontrar condiciones favorables por la ubicación en el trópico. En el mundo esta planta se encuentra distribuida en toda Indonesia, Filipinas, Cailan, Birmania, Tailandia, Malasia, Singapur, la India, Zanzíbar y parte del continente americano.

El mimbro (*Averrhoa Bilimbi*) no tiene importancia en el mercado mundial, como fruta fresca, pero se elaboran jaleas, salsas, pickles y jugos. Esta fruta presenta buen desarrollo en un rango de temperaturas de 28 a 35 grados centígrados, con una precipitación promedio de 1400 mm al año. Las condiciones agroecológicas que presenta Nicaragua ofrecen condiciones favorables, la presencia de luz solar constante y suelo franco arenoso, para el crecimiento y floración.

La mayor producción inicia a la finalización de la estación lluviosa mediados de noviembre, donde los frutos se desprenden fácilmente. (Meza, 2012).

En Nicaragua la planta da frutas durante todo el año por lo que se localiza en todo momento en las fincas más antiguas de la zona especialmente en las comarcas que rodean los poblados de la Grecia, la Mora, la Bolsa, San Benito y la ciudad de El Viejo, también se puede encontrar como planta de jardín en los patios de las casas de las ciudades de Nicaragua conservándose como una planta reliquia, no posee uso comercial por el desconocimiento de sus cualidades alimenticias y nutritivas. El uso del mimbro en Nicaragua responde a las costumbres alimenticias y conocimiento del mismo que tienen las familias.

La Industria Alimenticia utiliza microorganismos en el proceso de fermentación que le permite controlar los niveles de pH y temperatura para mejorar el valor nutritivo y las características organolépticas de los alimentos, la obtención de alimentos con aromas y texturas que no son posibles por otros procedimientos ha sido el resultado de los estudios de esta tecnología alimenticia relativamente sencilla.

Actualmente las exigencias y demandas de los consumidores han obligado a las industrias alimentarias el desarrollo y diversificación de productos nuevos, en algunos casos los productos se encuentran en supervisión debido a su composición y a normativas en diferentes países que prohíbe algunas propiedades de los mismos.

3.1.2 Clasificación taxonómica

La clasificación del mimbro, taxonómicamente se unifica de la siguiente forma:

Averrhoa bilimbí fue descrito por Carlos Linneo, también conocido después de su ennoblecimiento como Carl Von Linné fue científico, naturalista, botánico y zoólogo sueco. Fue publicado en 1753 en el libro Species Planterum 1: 428 (1). En la tabla 1 se muestra la clasificación de la taxonómica del mimbro (Averrhoa bilimbí).

Tabla 1. Clasificación Taxonómica.

Reino	División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
Platae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Oxalidales	Oxalidaceae	Averrhoa	Averrhoa bilimbí

Nota: Averrhoa bilimbí. (2022, 22 de noviembre). Wikipedia, La enciclopedia libre

El Genero *Averrhoa* está conformado por 10 especies de plantas herbáceas pertenecientes a la familia Oxalidaceae. En Nicaragua se conoce solamente el mimbro, que es la *Averrhoa bilimbi* (Tabla 1) y *Averrhoa carambola*, que es el melocotón de estrella o molenillo.

Otro árbol emparentado con el mimbro es la grosella, *Phyllanthus acidus* Skeels que es ampliamente consumido en Nicaragua cuyos frutos son consumidos de diferentes maneras, se le encuentra en los mercados del país y donde se produce mayormente en Chinandega y León.

En el resto del mundo existen 8 especies entre ellas *Averrhoa acida*, *Averrhoa acutángula*, *Averrhoa frondosa*, *Averrhoa microphylla*, *Averrhoa minima*, *Averrhoa obtusángula*, *Averrhoa pentandra* y *Averrhoa sínica*.

3.2 Composición del Mimbro

En la tabla 2 muestra la composición del fruto mimbro que permite determinar que es una fuente razonable de energía, tiene un alto porcentaje de humedad, bajo nivel de cenizas y grasas, mayor medida de carbohidratos que fibras que hacen al mimbro en una fruta nutritiva para la salud humana.

Tabla 2. Composición centesimal del Fruto Mimbro

Componentes	Porcentajes
Humedad	95.3%
Cenizas	0.23%
Proteínas	1.29%
Grasas	0.57%
Fibras	0.82%
Carbohidratos	1.16%
Energía	14.64 cal/100g
Calcio	5.011 mg/100g

Nota: Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, v.2 n° 2 p. 31 - 34 (2002)

Tabla 3. Características Físico Químicas del Mimbro

Parámetros	Valores
pH	1.68
°Bx	4.5
Acidez (Ácido cítrico)	0.8728 g/100g
Ácido Oxálico	2.75 mg/100g
Ácido Ascórbico	5 mg/100g

Nota: Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, v.2 n° 2 p. 31 - 34 (2002)

3.2.1 Valor nutricional

En la tabla 3 muestra la naturaleza de fruta acida del Mimbro, debido a la presencia de los ácidos orgánicos como ácido oxálico 2.75 g/100g y del ácido cítrico 1.87g/100g, posee bajo contenido de carbohidratos 1.16%, proteínas de 1.29%, grasas 0.57%, fibra 0.82%, con pH de 1.68, sólidos solubles y con 4.5° Brix, ácido ascórbico 5 mg/100g.

3.3 Levaduras

Las levaduras son organismos vivos unicelulares que pertenecen al reino de los hongos. Se alimentan de los azúcares provenientes de la malta, transformándolos en alcohol y dióxido de carbono durante un proceso llamado fermentación que se realiza en ausencia de oxígeno (Hough,2002).

La levadura contiene un promedio de 75% de agua y entre los constituyentes más importantes de la sustancia seca el 90% a 95% es materia orgánica, la cual tiene un 45% de carbohidratos 5% de materias grasas y 50% de materias nitrogenadas, siendo la más importante en las nitrogenadas las proteínas y en menor medida las vitaminas. En el caso de las materias inorgánicas que constituyen entre un 5% a 10% encontramos fósforo, potasio, sodio, magnesio, zinc, hierro y azufre. El contenido de materias grasas es de un 8% (Vicente, 1994).

3.4 Vinagre

Según la FAO/OMS, “el vinagre es un líquido ácido apto para el consumo humano, que es producido exclusivamente a partir de materias primas de origen agrícola que contengan almidones y/o azúcares, por un doble proceso de fermentación, alcohólica y acética”. Pueden contener cantidades determinadas de ácido acético, y otros ingredientes opcionales (hierbas, especias, sal, etc.), lo que se regula por la Comisión del Codex Alimentarius, según el tipo de ingredientes, al objeto de obtener un aroma peculiar característico de cada tipo de Vinagre (Duran, 2008).

El vinagre es uno de los condimentos y conservantes más antiguos que se conocen, que aporta aroma y sabor a los alimentos y mejora sus características de conservación. Suele tener 5-6% de ácido acético (pH 2.5-3.5) y presenta un aroma suave frutal, característico de la materia prima de partida. Se utiliza en la cocina doméstica como aliño, en la fabricación de salsas (kétchup, mayonesa, dressings) y en encurtidos (Llaguno, 1991).

3.4.1 Condiciones Óptimas de Fermentación acética

La fermentación acética puede ser definida como un proceso bioquímico, por el cual las bacterias acéticas oxidan al etanol contenido en el sustrato alcohólico a ácido acético, bajo estrictas condiciones de aerobiosis.

Las condiciones óptimas de fermentación se refieren a la ventaja de conocer la información acerca de la cinética de crecimiento bacteriano y de los procesos automatizados de fermentación. Para que la fermentación acética ocurra se deben cumplir una serie de requisitos que incluyen el suministro de oxígeno, la temperatura óptima y las características de la materia prima. (Llaguno, 1991).

3.4.2 Característica química

3.4.2.1 Valor de pH

El pH del vinagre está típicamente en la gama de 2 a 3.5, dependiendo de la concentración de ácido acético. El vinagre disponible en el mercado tiene generalmente un pH de cerca de 2 (Labbe, 2007).

3.4.3 Característica Física

3.4.3.1 Densidad

El vinagre tiene una densidad de aproximadamente 1.0056 g/cm³. El nivel de la densidad depende de la acidez del vinagre (Labbé, 2007).

3.4.4 Tipo de Vinagre

Existen muchos tipos de vinagres según el uso que se les vaya a dar y según la materia prima que se utilice para su elaboración. La principal diferencia entre uno y otro está en la concentración de ácido acético, sustancia que determina el carácter del producto.

3.4.4.1 Vinagre de Frutas

Vinagre hecho de varias frutas por la fermentación alcohólica y subsiguiente acetificación. Aunque el jugo de manzana es el más usado para hacer vinagre en los Estados Unidos y otros países, hay muchos jugos de frutas satisfactorios como los de bananos, naranjas, piñas, zarzamora, etc. Cualquier fruta o vegetal que contenga bastante azúcar sirven para este propósito.

3.5 Fermentación

La fermentación es un proceso natural que juega un papel crucial en la elaboración de distintos productos alimenticios y de consumo diario. Esta tiene algunos usos exclusivos para los alimentos, se pueden producir nutrientes importantes o eliminar anti nutrientes, para la preservación de alimentos y crear condiciones que impiden la proliferación de microorganismos indeseables.

3.5.1 Tipos de Fermentación

Al igual que otros procesos metabólicos de obtención de energía, la fermentación comienza con el glucolisis. Esta reacción metabólica se basa en la degradación de moléculas de glucosas para obtener moléculas energéticas importantes. Durante este proceso la glucosa se degrada mediante oxidación y se generan moléculas de NADH y piruvato. Según los productos finales, existen diversos tipos de fermentación:

3.5.1.1 Alcohólica

Se lleva a cabo en ausencia del oxígeno a partir de la glucosa. Se da en distintos tejidos vegetales, aunque en la gran mayoría de las industrias se utilizan las levaduras para producir: dióxido de carbono, adenosin trifosfato (ATP) y alcohol etílico. La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares (levaduras) en ausencia de oxígeno para ello disocian las moléculas de glucosa y obtener la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO_2 como desechos de la fermentación.

3.5.1.2 Acética

El producto obtenido es el ácido acético también conocido como metilcarboxílico y etanoico, a partir del alcohol etílico. Este se da por un exceso de oxígeno en alcoholes como el vino, y, de hecho, es un fallo que trata de evitar en los viñedos. Se utiliza más comúnmente como vinagre en distintos platillos gastronómicos, siendo un proceso esencial para mejorar su sabor, sin embargo, su uso puede extenderse al campo de la medicina para detectar el VPH (Virus del Papiloma Humano), para tratar afecciones fúngicas, crear diversas cremas, en el champú anticaspa, entre otros.

La formación de ácido acético resulta de la oxidación de un alcohol por la bacteria del vinagre en presencia del oxígeno del aire. Estas bacterias, a diferencia de las levaduras productoras de alcohol, requieren un suministro generoso de oxígeno para su crecimiento y actividad. El *Acetobacter* es de particular importancia comercialmente, debido a que es usada en la producción de vinagre (convirtiendo el etanol del vino en ácido acético).

3.5.2 *Acetobacter*

Es un género de bacterias gram negativas que abarca una gran cantidad de especies, muchas de ellas de importancia comercial. Fue descrito por primera vez en 1898 por el microbiólogo holandés Martinus Beijerinck.

3.6 Método de Elaboración de Vinagre

3.6.1 Método Luxemburgués Modificado

La modificación al método luxemburgués consiste en la utilización de recipientes de fácil acceso como puede ser envases de plásticos o vidrios donde se les puede colocar una trampa de agua para la salida del dióxido de carbono de la fermentación alcohólica, preparado el equipo se agrega el jugo de frutas en el recipiente que servirá de reactor junto a la cantidad de azúcar y levadura determinada para la creación del mosto. Luego se mezclan para dejar reaccionar por el periodo de 15 días cuando se llega a la conversión a vino de frutas. Luego de concluir el periodo se extrae el vino procurando no mezclar con el fondo para no alterar el sabor.

Luego para la fermentación acética se introduce el vino obtenido en el paso anterior y la cantidad de Vinagre dentro del recipiente de plástico que servirá de reactor dejándolo reaccionar por 15 días que tiene una tela tapando la parte superior para dejar pasar el oxígeno necesario, pero impida la entrada a insectos u otros animales, objetos extraños que contaminen, para después pasarlo por un filtro de tela para retirar rastros de sólidos suspendidos.

Las condiciones de operación del método luxemburgués modificado para la elaboración de vinagres son el pH para la fermentación alcohólica y acética entre el rango de 3 a 5, el tiempo de estadía para cada fermentación es de 15 días.

3.7 Aplicaciones y usos del Ácido Acético

El ácido acético es utilizado como un conservante previniendo el crecimiento de las bacterias y los hongos. Así mismo, es agregado en la mayonesa para incrementar el efecto de inactivación contra la salmonella. Muestra su mayor actividad a niveles bajos de pH. Adicionalmente, puede ser utilizado como sustancia amortiguadora o buffer en los alimentos ácidos, o como un componente aromático en algunos productos.

En apicultura es utilizado para el control de las larvas y huevos de las polillas de la cera, enfermedad denominada Galleriosis, que destruyen el panal de cera que las abejas melíferas obran para criar o acumular la miel.

Sus aplicaciones en la industria química van muy ligadas a sus sales aniónicas, como son el acetato de vinilo o el acetato de celulosa (base para la fabricación de rayón, celofán).

3.9 Producción de Mimbro en Nicaragua

En Nicaragua la planta da frutos durante todo el año por lo cual se puede encontrar en todo momento en las fincas más antiguas de la zona especialmente en las comarcas que rodean los poblados de la Grecia, la Mora, la Bolsa, San Benito y la ciudad de El Viejo, también se encuentra como planta de jardín en los patios de las casas de las ciudades de Nicaragua siendo conservado como una planta reliquia, no posee uso comercial por el desconocimiento de sus cualidades alimenticias y nutritivas. El uso del mimbro en el país responde a las costumbres y conocimiento del mismo que tienen las familias.

3.10 Definición de Vinagre Crudo

También conocido como madre del vinagre se empleó habitualmente para acelerar la transformación del alcohol (como el de cervezas, sidras de manzana o el vino) en vinagre. Las bacterias presentes en la “madre” (pertenecientes a la familia de las acetobacterias) lo que hacen es agilizar todo el proceso de acetificación.

3.11 Descripción del Proceso de elaboración de Vinagre de frutas

3.11.1 Selección, Lavado y extracción del jugo de la fruta

Se utilizaron frutos que cumplieran con las siguientes características: grado óptimo de madurez y en buen estado. Para luego ser lavados con agua y jabón para reducir la carga microbiana inicial. Concluida la selección se pesaron las frutas para la elaboración del jugo, se utilizó un extractor de jugo para la obtención del Jugo de fruta.

3.11.2 Acondicionamiento del Mosto

Se efectuó los análisis fisicoquímicos como pH, brix y acidez del mosto para posteriormente realizar la corrección del mosto a fermentar. En el caso de obtener grados Brix menores de 20° se le añadió azúcar comercial según la formulación planteada.

Previo a la inoculación del mosto se activó las levaduras a utilizarse, se siguieron los instructivos de las fichas técnicas; se empleó agua potable a 37 °C a la que se mezcló a la levadura y se dejó reposar por un máximo de 20 minutos que fue el tiempo suficiente para que se creara la espuma en la parte superior quedando comprobada su activación, luego se le agregó a cada tratamiento con la relación de 1 gr por cada litro de mosto.

El agua se le agregó a cada tratamiento con la relación de 3 litros de agua por cada litro de tratamiento. Con respecto al Azúcar se seguirá lo siguiente, el Brix es menor a 20 se agregó azúcar con la relación de 20 gr por cada litro hasta lograr el 20.

En el caso del pH del mosto se dividió en tres tratamientos los cuales se caracterizó tratamiento 1- pH de 3, tratamiento 2-pH de 4, tratamiento 3-pH de 5 se comenzó con la medición del mismo en el jugo obtenido y fue punto de partida para la caracterización de los tres tratamientos a elaborar.

3.11.3 Fermentación Alcohólica

La fermentación alcohólica se llevó a cabo en un recipiente del tipo bidón plástico vertical de 20 litros de capacidad, cerrado con una trampa de aire, para permitir un ambiente libre de oxígeno. Se colocó una manguera de plástico de 0.5x100 cm en un agujero practicado en el tapón del recipiente, conectada a una botella de plástico de 500 ml con agua limpia para observar la producción de CO_2 de las levaduras en actividad. El proceso de fermentación alcohólica se planteó de una duración de 25 días de actividad.

3.11.4 Descube y Filtrado del Vino

Esta etapa del proceso tuvo como objetivo la eliminación de impurezas que los vinos presentan tras la fermentación: materias en suspensión que no se han precipitado. También se evitó ciertas inestabilidades y mejora de las cualidades organolépticas del vino haciéndolo menos áspero. La filtración es una medida también dirigida a limpiar el vino, a librarlo de impurezas haciendo pasar el vino por un filtro. El objetivo fue conseguir limpidez sin alterar la calidad gustativa del vino.

3.11.5 Acetificación del Vino

Para la obtención de vinagre a partir del vino cosechado en la formulación ensayada, se utilizó una variante al método luxemburgués de acetificación consistió en la adaptación al balde reactor de una capa de tela en la parte superior donde se permitió que el aire atravesase y reaccione con las bacterias acéticas. El vino tuvo un tiempo de contacto de 15 días, el aire circulante, durante este periodo de tiempo el vino se esperó que adquiriera el grado de acidez y las características propias de la acetificación.

3.11.6 Cosecha del Vinagre

Pasados los 15 días de la acetificación del vino, las bacterias suspendidas el aire abastecido al reactor se realizaron mediciones de acidez para determinar el porcentaje de ácido acético alcanzado, para luego obtener el producto del reactor por medio de una cánula colocada en la parte inferior, se filtró con algodón y manta filtrante para la remoción de partículas luego se sometió al reposo con el fin de precipitar solidos suspendidos.

3.11.7 Filtración

La operación de filtración se obtuvo como finalidad la separación definitiva de las impurezas del vinagre mediante el empleo de un material filtrante. Para ello se utilizó una manta filtrante blanca sobre un colador de 20.3 cm donde paso el vinagre para la separación de solidos e impurezas.

3.11.8 Pasteurización

Es el tratamiento térmico mediante el cual se destruyen bacterias y se inactivan enzimas responsables de posteriores alteraciones del vinagre. La temperatura de pasteurización fue de 70°C, se procuró que el vinagre no se vea afectado en sus caracteres organolépticos.

3.11.9 Envasado

El envase de vidrio ofrece ventajas para la presentación del vinagre, pero se ha extendido el uso de botellas de plástico para su venta al consumidor. Para el envasado del vinagre resultante se usó envases de vidrio con tapa metálica con rosca.

IV.HIPÓTESIS

H_i : La cantidad de jugo de mimbro y volumen de vinagre crudo no tienen un efecto significativo en la producción de vinagre.

H_o : La cantidad de jugo de mimbro y volumen de vinagre crudo tienen un efecto significativo en la producción de vinagre.

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de Investigación

Investigación Experimental

La investigación experimental en primera instancia consistió en realizar las formulaciones correspondientes, que nos permitieron encontrar la mejor propuesta que le confiase al vinagre las mejores características fisicoquímicas, todos los tratamientos fueron sometidos a análisis fisicoquímicos para determinar la eficacia del producto final.

5.2 Ubicación del estudio

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de Alimentos de la Universidad Nacional de Ingeniería sede UNI-RUSB, ubicada en la ciudad de Managua, Nicaragua, debido a cumplir las condiciones y equipos necesarios para llevar a cabo el estudio.

5.3 Diseño de Investigación

A partir de la característica experimental de cada tratamiento propuesto, se determinó la mejor formulación de vinagre mediante el uso dos factores, generando un total de 6 tratamientos, que le logro otorgar mejores características fisicoquímicas.

5.4 Metodología

Antes de presentar los diferentes procedimientos de los experimentos y ensayos realizados a lo largo de esta tesis, así como las discusiones y resultados, en esta sección se recopilaron y expusieron las muestras, los productos y materiales, la instrumentación, los métodos y normas de trabajos utilizados en la experimentación para alcanzar los objetivos planteados.

Todo el estudio estuvo enfocado en la búsqueda de un tratamiento con combinación que cumpla con los estándares de calidad necesarios para el consumo humano, según el REGLAMENTO TECNICO CENTROAMERICANO-RTCA 67.04.54:10.

Se determino que para alcanzar esta meta las variables que se evaluaron son la concentración agua-jugo de Mimbro y la variable % de Vinagre Crudo.

La concentración agua-jugo de Mimbro que fue la determinante de obtener vino, debido a que un excedente de agua disminuía el contacto entre las bacterias (levadura activada) y los azúcares en el mosto.

La variable % de Vinagre Crudo siendo necesaria para la producción de vinagre a partir del vino que junto a la anterior variable de estudio brindan la relación para que fueran determinantes si el método luxemburgués modificado y el mimbro como materia prima son factibles para un futuro escalamiento a nivel de industria.

5.4.1 Variables

5.4.1.1 Variables Independientes

- Concentración agua-jugo de Mimbro
- % de Vinagre Crudo

5.4.1.2 Variables Dependientes

- Propiedades fisicoquímicas (pH, Acidez (% ácido acético), °Brix)

5.5 Diseño experimental

La unidad experimental está representada por muestras de 50 ml de vinagre de cada tratamiento, a los que se les evaluaron las características fisicoquímicas (pH, Acidez (% ácido acético), brix). En la distribución experimental se aplicaron las combinaciones generando un arreglo factorial 3x2 como se muestra en la tabla 7.

5.5.1 Tratamientos

De acuerdo a la documentación teórica, en este experimento se evaluaron tres formulaciones de la combinación jugo de mimbro-agua como se detalla en la tabla 6.

Estas concentraciones se indican en la tabla 4 pero se optó por usar letras (Y1, Y2, Y3 para la cantidad de en litros de jugo de mimbro), la levadura se estableció como un valor único para cada tratamiento debido a la reducción de la complejidad del diseño experimental, en el caso del pH se eligieron valores entre el rango de 3 a 5 como mínimo y máximo. Para el caso de la cantidad de azúcar se determinó como un valor máximo de 10% sobre la cantidad de mosto.

Todo esto se realizó para facilitar el uso en otras cantidades, posteriormente se realizaron tres tipos de mezclas para la obtención de vino de mimbro detalladas en la tabla 2. Luego de la elaboración del vino se establecieron factores para la obtención del vinagre, donde el factor A estuvo representado por las mezclas de vino y el factor B la concentración de vinagre madre. La combinación de los factores permitió obtener un total de 6 tratamientos, los que se detallan en la tabla 7.

Tabla 4. Formulación de los mostos

Componente	Mosto1	Mosto 2	Mosto3	Unidad
Concentración de Jugo	Y1/3L	Y2/3L	Y3/3L	Litros de jugo/Litros de agua
Levadura	0.5	1	1.5	Gramos de levadura/litro de mosto
pH	3-5	3-5	3-5	-
Azúcar	Max. 10	Max. 10	Max. 10	% de azúcar con respecto al volumen de mosto

Nota: Elaboración Propia

5.5.2 Obtención de Vino de frutos del árbol de Mimbro

Para la fermentación alcohólica se determinaron 3 mezclas que se evaluaron siguiendo la tabla 5 donde muestra el porcentaje de jugo de mimbro (J1, J2 y J3) y estuvieron basados a 3 litros de agua (A1, A2 y A3) para cada una. En la tabla 6 se muestran en porcentaje del jugo con agua (X1, X2 y X3), para la cantidad de azúcar se usaron cantidades entre el máximo y mínimo. En el caso de la levadura utilizada se eligió 1 valor para cada tratamiento entre el máximo y mínimo dependiendo el valor del mosto.

Tabla 5. Tratamientos a evaluarse

Formulación	T1	T2	T3
% Jugo de mimbro	J1%	J2%	J3%
% Agua	A1	A2	A3

Nota: Elaboración Propia

Tabla 6. Formulación vino de mimbro

Formulación	Mosto1(M1)	Mosto2 (M2)	Mosto3 (M3)
% Mezcla de jugo de Mimbro-Agua	X1%	X2%	X3%
%Azúcar	(18-20) %	(18-20) %	(18-20) %
%Levadura	(0.5-1.5) %	(0.5-1.5) %	(0.5-1.5) %

Nota: Elaboración Propia (X=70 a 85%)

5.5.3 Obtención de Vinagre de frutas del árbol de Mimbro

Para la obtención de vinagre a partir del vino cosechado en la formulación ensayada, se utilizó una variante al método luxemburgués de acetificación que consistió en la adaptación al balde reactor de una capa de tela en la parte superior donde se permitió que el aire atravesase y reaccione con las bacterias acéticas.

El vino tuvo un tiempo de contacto de 24 horas, entre las virutas inoculadas con el material biológico y el aire circulante, durante este periodo de tiempo el vino adquiere el grado de acidez y las características propias de la acetificación. Se formularon 6 combinaciones donde se dividieron a la mitad cada mezcla resultante del vino de mimbro para ser comenzada la fermentación alcohólica, se introdujo el porcentaje de Vinagre crudo que se especifica en la tabla 7.

Utilizando el método luxemburgués con modificación que consiste en el uso de recipientes plásticos donde se depositara la mezcla/Vino y el porcentaje de la combinación, se le coloco una manta para evitar la introducción de materias ajenas al proceso que perjudiquen o alteren la fermentación acética.

Tabla 7. Combinaciones factoriales para la elaboración de vinagre

N°	Niveles del Factor A (Mezcla/Vino)	Niveles del Factor B (Vinagre Crudo)	Combinaciones
1	a_1 : Mezcla1	b_1 : VINAGRECRUDO 2%	a_1b_1
2	a_1 : Mezcla1	b_2 : VINAGRECRUDO 4%	a_1b_2
3	a_2 : Mezcla2	b_1 : VINAGRECRUDO 2%	a_2b_1
4	a_1 : Mezcla2	b_2 : VINAGRECRUDO 4%	a_2b_2
5	a_3 : Mezcla3	b_1 : VINAGRECRUDO 2%	a_3b_1
6	a_3 : Mezcla3	b_2 : VINAGRECRUDO 4%	a_3b_3

Nota: Elaboración propia

5.5.4 Determinación de la influencia de la cantidad de mezcla jugo de mimbro-agua y el volumen de Vinagre crudo en la obtención de Vinagre.

Los °Brix se obtuvieron de la investigación tomando una muestra diaria a lo largo del proceso de obtención de vino como de vinagre, se utilizó esta variable para la comparación entre la cantidad de mezcla de jugo de mimbro-agua y el volumen de vinagre crudo debido a que esta variable muestra la cantidad de azúcar consumido por las bacterias. En el caso del vino el valor inicial de 20 muestra que se puede iniciar la fermentación alcohólica y su disminución con el tiempo demuestra que la levadura está consumiendo el azúcar que junto la medición del grado alcohólico con un densímetro demuestra que el proceso es el adecuado. En la fermentación acética tiene como valor inicial 13 de grado Brix para que sea apropiado para agregar las bacterias acéticas (vinagre crudo) y la disminución con el tiempo hasta el día 15 que se determinó como ultimo día que la variable de % de acidez también determinado con una muestra diaria.

5.5.5 Materia Prima:

- Frutos del árbol de Mimbro

5.5.6. Insumos:

- Azúcar
- Agua potable
- Levadura de Panificación
- Bacterias Acéticas.

5.5.7. Materiales:

- Cuchillos de Acero Inoxidable
- Tablas para picar
- Coladores de Acero inoxidable
- Mangueras de plástico de 0.5x100 cm
- Mangueras de plástico de 0.2 x 400 cm
- Baldes de 20 Litros
- Bidones plásticos de 20 Litros
- Probetas de 1000ml
- Probetas de 100mL
- Erlenmeyer de 250 ml
- Bureta de 250 ml
- Goteros
- Manta filtrante
- Reactor de acetificación modificado
- Refractómetro Analógico/ Medidor de Brix (0-30)

Equipos de protección personal:

- Guantes
- Mascarilla
- Mandil

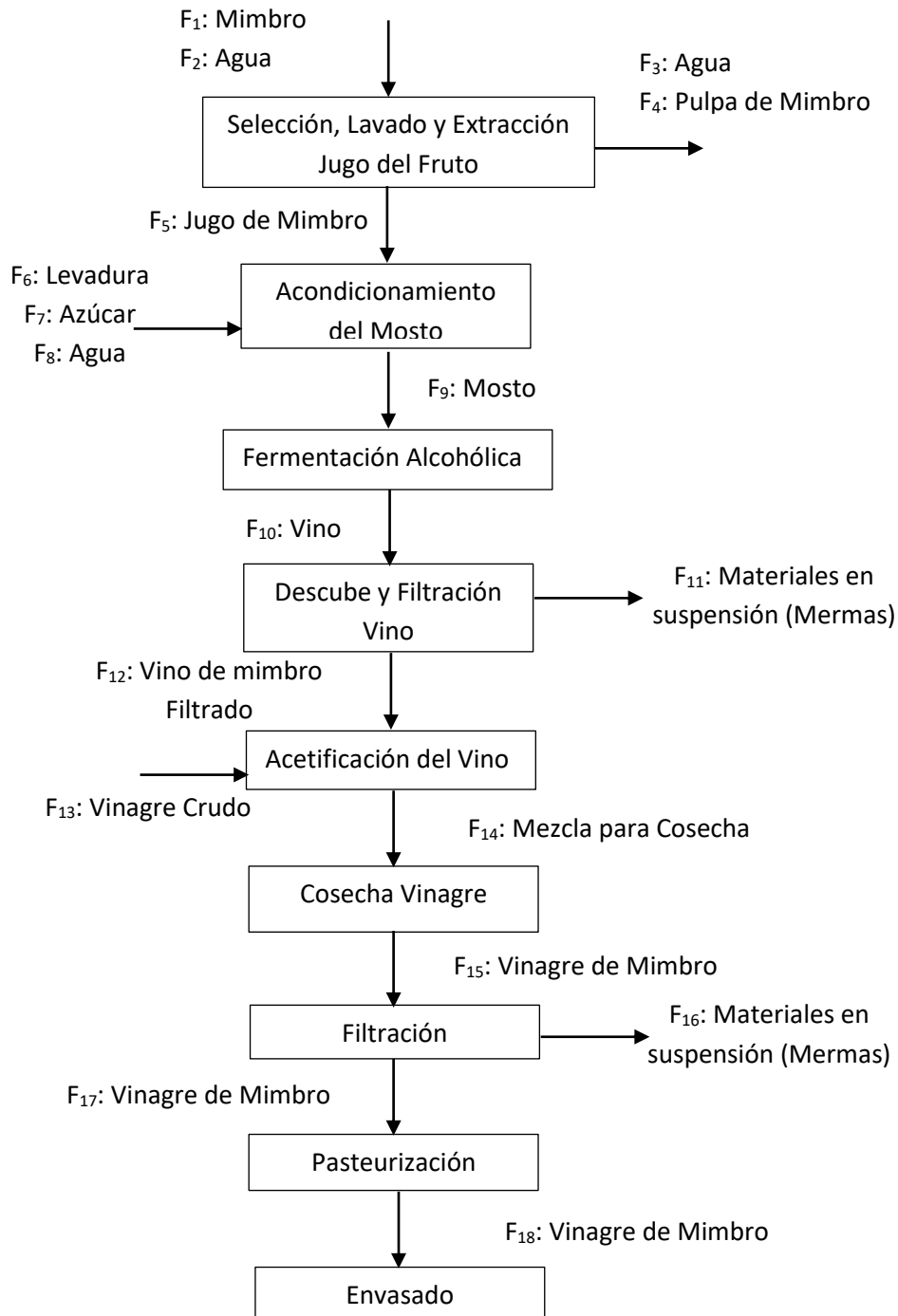
5.5.8 Reactivos:

- Hidróxido de Sodio 0.1 N
- Fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)

VI. Presentación y Discusión de Resultados

El siguiente diagrama se describe cómo se desarrolla un proceso de elaboración de vinagre de frutos de mimbro.

Figura 5.1. Diagrama de flujo de elaboración de Vinagre de Mimbro.



Nota: Elaboración Propia

6.2. Descripción del Proceso Luxemburgués Modificado para elaboración de Vinagre de Mimbro.

6.2.1 Selección, Lavado y extracción del jugo de la fruta de mimbro.

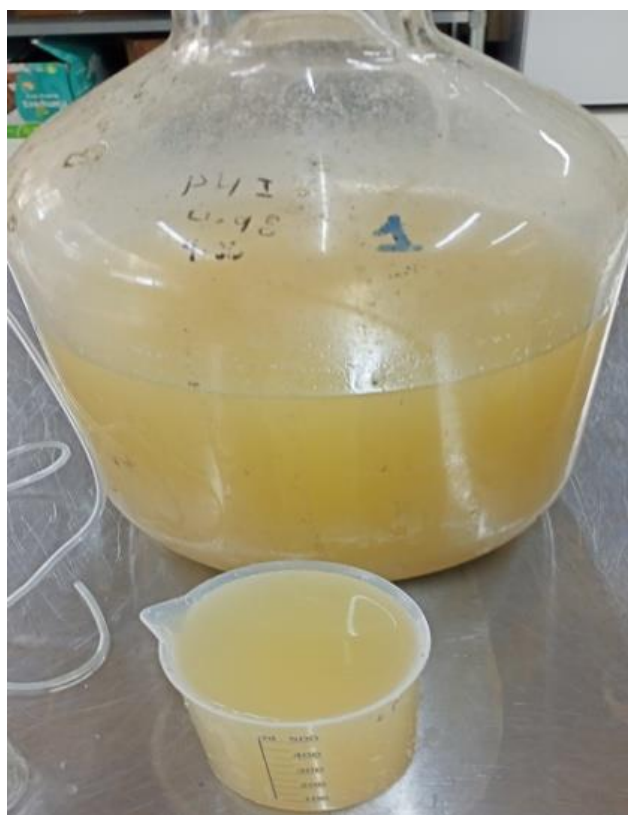
Se utilizaron frutos que cumplan con las siguientes características: grado óptimo de madurez y en buen estado. Fueron lavados con agua y jabón para reducir la carga microbiana inicial. Concluida la selección como se muestra en la fotografía (Figura 5-1), luego se pesaron las frutas para la elaboración del jugo, se utilizó un extractor de jugo para la obtención del jugo de fruta como se muestra en la fotografía (Figura 5-2).

Figura 5.2 Selección del mimbro después de ser lavado.



Nota: Elaboración Propia

Figura 5.3 Extracción del jugo de Mimbro.



Nota: Elaboración propia.

6.2.2 Acondicionamiento del Mosto

Se controló los parámetros iniciales en la pulpa de mimbro que fueron el pH y °Brix. Para obtener el mosto se vio por conveniente usar un extractor de jugos, no se necesitó agua ya que la fruta posee un porcentaje de humedad que hace sencillo este proceso. Mediante este método se obtuvo un mosto bastante líquido y homogéneo como se puede ver en la Figura 5-3.

Prevía a la inoculación del mosto se deben activar las levaduras a utilizarse, si seguirán los instructivos de las fichas técnicas; se emplea agua potable a 37 °C a la que se mezcla a la levadura y se dejara reposar por un máximo de 20 minutos que será el tiempo suficiente para que se crea la espuma en la parte superior quedando comprobada su activación, luego se la agregara a cada tratamiento con la relación de 1 gr por cada litro de mosto.

El agua se le agregó a cada tratamiento con la relación de 3 litros de agua por cada litro de tratamiento. Con respecto al Azúcar, debido a obtener valores menores a 20 mezcla de Jugo de Mimbro-Agua (5,6,5) se siguió lo siguiente, se agregó azúcar con la relación de 20 gramos de azúcar por cada litro hasta obtener el valor de 20.

En el caso del pH del mosto se dividió en tres tratamientos los cuales se caracterizan por tener el nivel de 3,4 y 5 de pH, se comenzó con la medición del mismo en el jugo obtenido y será punto de partida para la caracterización de los tres tratamientos a elaborar.

Figura 5.4 Acondicionamiento del mosto



Nota: Elaboración propia

6.2.3 Fermentación Alcohólica

La fermentación alcohólica se llevó a cabo en un recipiente del tipo bidón plástico vertical de 20 litros de capacidad, cerrado con una trampa de aire, para permitir un ambiente libre de oxígeno. Se colocó una manguera de plástico de 0.5x100 cm en un agujero practicado en el tapón del recipiente, conectada a una botella de plástico de 500 ml con agua limpia para observar la producción de CO_2 de las levaduras en actividad. El proceso de fermentación alcohólica se llevó a cabo en 15 días de actividad.

6.2.4 Descube y Filtrado del Vino

Esta etapa del proceso tiene como objetivo la eliminación de impurezas que los vinos presentan tras la fermentación: materias en suspensión que no se han precipitado. También se evita ciertas inestabilidades y mejora de las cualidades organolépticas del vino haciéndolo menos áspero. La filtración es una medida también dirigida a limpiar el vino, a librarlo de impurezas haciendo pasar el vino por un filtro. El objetivo es conseguir limpidez sin alterar la calidad gustativa del vino. El vino que posteriormente se filtró con ayuda de un filtro de tela debe de presentar un grado alcohólico de 9% a 12% y un pH de 3 a 4.

6.2.5 Acetificación del Vino

Para la obtención de vinagre a partir del vino cosechado en la formulación ensayada, se utilizó una variante al método luxemburgués de acetificación que consistió en la adaptación al balde reactor de una capa de tela en la parte superior donde se permitía que el aire atravesase como se observa en la figura 5-5 y reaccione con las bacterias acéticas. El vino tuvo un tiempo de contacto de 15 días, entre el aire circulante, durante este periodo de tiempo el vino se logró adquirir el grado de acidez y las características propias de la acetificación.

Figura 5.5 Introducción del Vinagre crudo

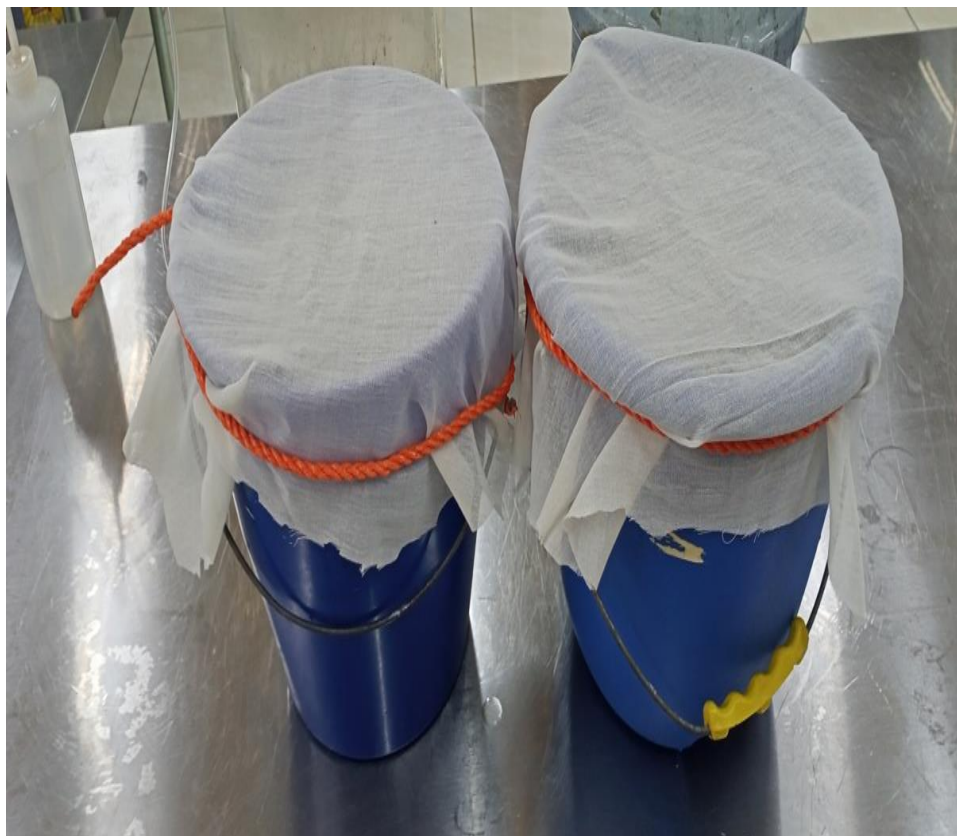


Nota: Elaboración Propia

6.2.6 Cosecha del Vinagre

Pasados los 15 días de la acetificación del vino, las bacterias suspendidas en las el aire abastecieron al reactor, se realizaron mediciones de acidez para determinar el porcentaje de ácido acético alcanzado, haciendo uso de la técnica de valoración Volumétrica acido-base. Luego se filtró con una manta filtrante para la remoción de partículas después se sometió al reposo con el fin de precipitar sólidos suspendidos.

Figura 5.6 Colocación de Tela protectora



Nota: Elaboración propia

6.2.7 Filtración

La operación de filtración tiene como finalidad la separación definitiva de las impurezas del vinagre mediante el empleo de un material filtrante. Para ello se utilizó una manta filtrante blanca sobre un colador de 20.3 cm donde se pasó el vinagre para la separación de sólidos e impurezas.

Figura 5.7 Filtración del vinagre



Nota: Elaboración propia

6.2.8 Pasteurización

Es el tratamiento térmico mediante el cual se destruyen bacterias y se inactivan enzimas responsables de posteriores alteraciones del vinagre. La temperatura de pasteurización puede variar dentro del intervalo de 50°C a 85°C, en este caso 70 °C se procuró que el vinagre no se vea afectado en sus caracteres organolépticos.

Para tal propósito se dejaron enfriar por 20 minutos. Como se muestra en la Figura 5-8 los envases fueron tratados térmicamente para luego ser depositado el vinagre obtenido.

Figura 5.8 Método de pasterización de envases



Nota: Elaboración propia

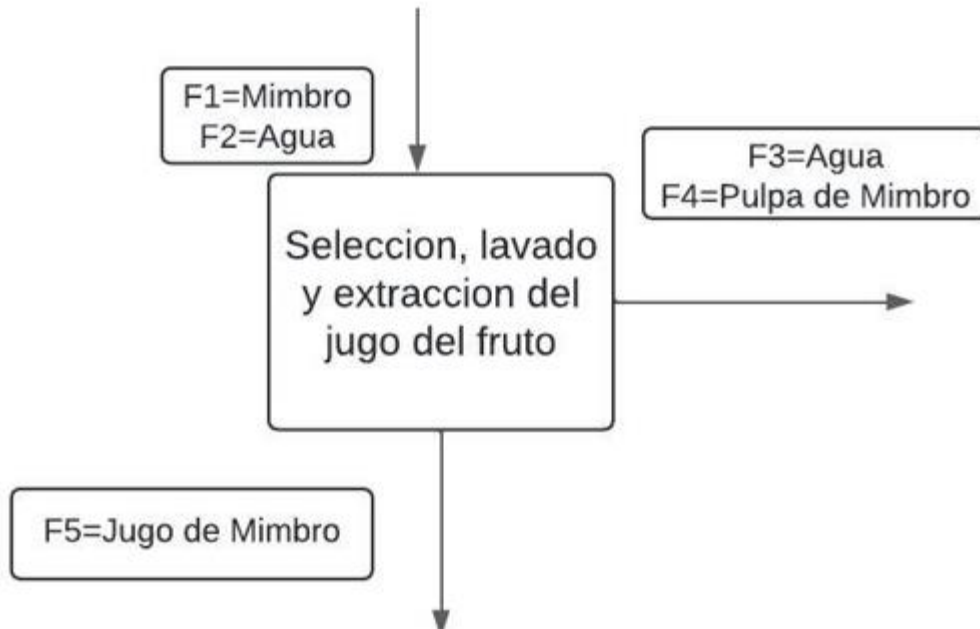
6.2.9 Envasado

En envase de vidrio ofrecía ventajas para la presentación del vinagre, pero se ha extendido el uso de botellas de plástico para su venta al consumidor. Para el envasado del vinagre resultante se usaron envases de vidrio con tapa metálica y tapa plástica con rosca.

6.3. Balance de Materia para el proceso de obtención de vinagre de mimbro.

Se realizó el balance de materia del proceso para una como se detalla a continuación.

Figura 5.9 Selección, lavado y extracción del jugo de la fruta



Dónde:

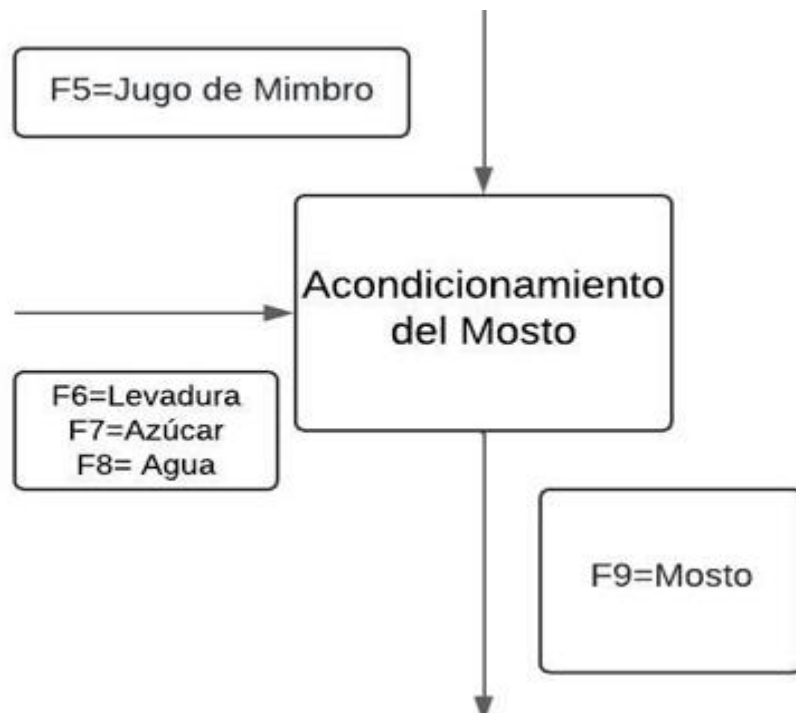
F1= 1 Kg de mimbro

F2=F3= 2.124 L de agua

F4= 0.29209 Kg Pulpa del Mimbro

F5= 0.70791 L de Jugo de Mimbro

Figura 5.10 Acondicionamiento del Mosto



Dónde:

F5=0.70791 L de Jugo de Mimbro

F6= 100 ml Levadura Activada (4 g Levadura + 100 ml Agua)

F7= 10% (Con respecto al volumen del mosto= $2.832 \times 0.10 = 0.2832\text{Kg}$)

F8=3 L Agua

F9=Mosto = $F5 + F6 + F7 + F8 = 0.70791 + 0.100 + 0.2832 + 3 = 4.0911\text{ L}$

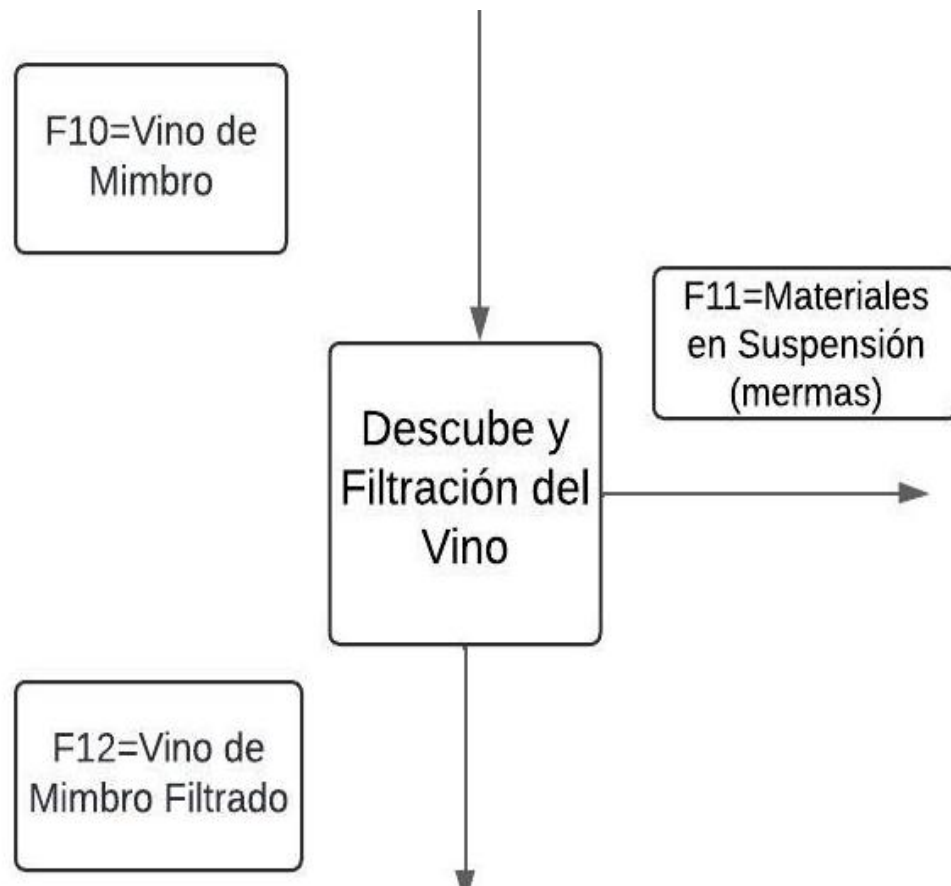
Figura 5.11 Fermentación Alcohólica



Donde

$F9=F10=4.0911 \text{ L}$

Figura 5.12 Descube y filtración del Vino



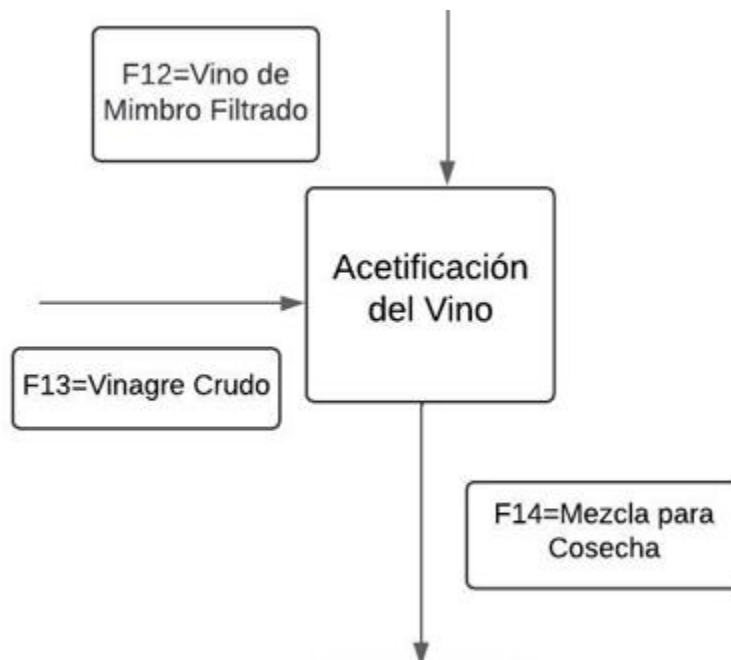
Donde,

F10=4.0911 L Vino de Mimbro

F11=0.1 L Materias en Suspensión (mermas)

F12=Vino de Mimbro Filtrado=3.9911 L

Figura 5.13 Acetificación del vino



Donde,

F12= Vino de Mimbro Filtrado=3.9911 L

F13=Vinagre Crudo

F14=Mezcla para cosecha

Utilizando la tabla 7, la combinación N°6 resulta en:

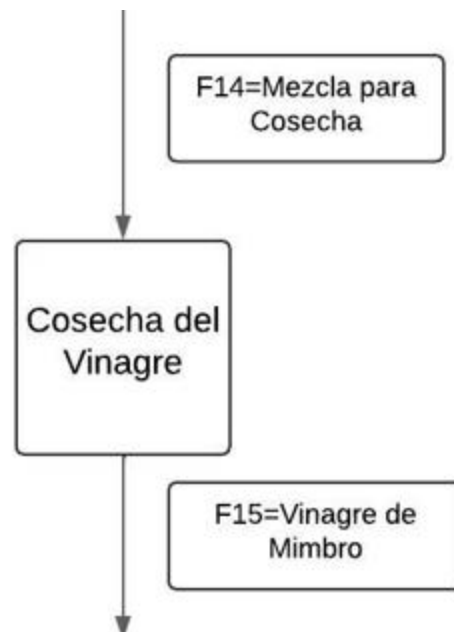
N°6

$a_3 = 3.9911 \text{ L}$

$b_{2a_3} = (4\%) \cdot (a_3) = (4\%) \cdot (3.9911 \text{ L}) = 0.1596 \text{ L}$

$a_{3b_2} = (a_3) + (b_2) = (4.95 \text{ L}) + (0.1596 \text{ L}) = 5.1096 \text{ L}$

Figura 5.14 Cosecha del Vinagre



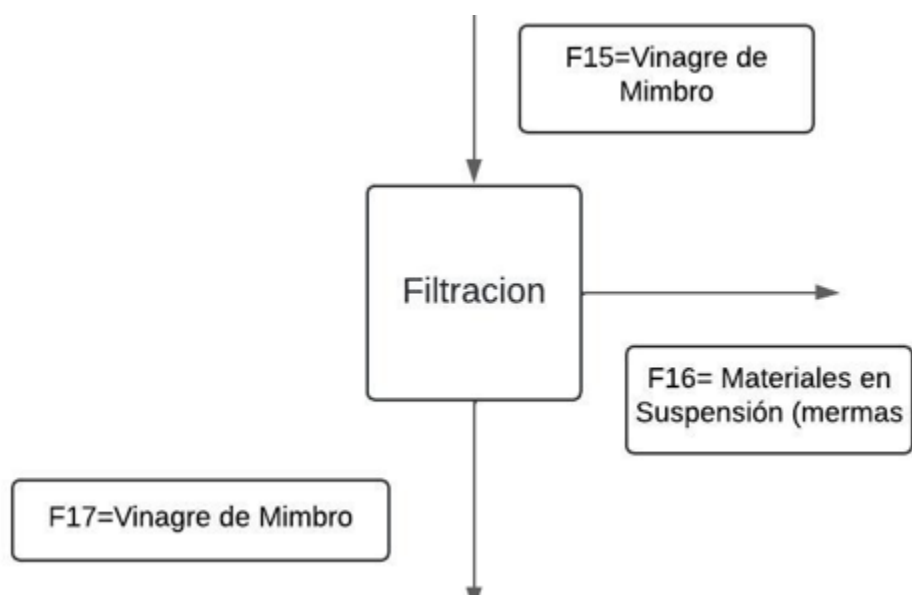
Donde,

F14= Mezcla para cosecha de la combinación N°6

F14= 5.1096 L

F15=5.1096 L=Vinagre de Mimbro

Figura 5.15 Filtración



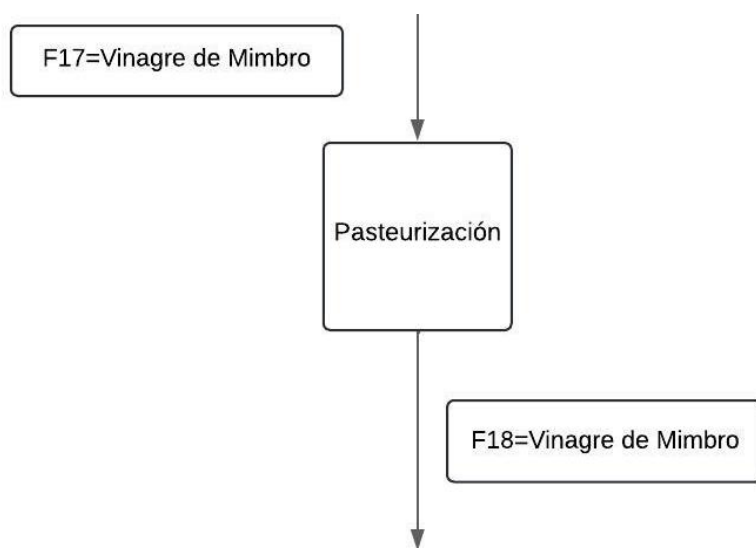
Donde,

$F15 = 5.1096 \text{ L} = \text{Vinagre de Mimbro}$

$F16 = 0.1 \text{ L (mermas)}$

$F17 = F15 - F16 = 5.1096 - 0.1 = 5.096 \text{ L} = \text{Vinagre de Mimbro}$

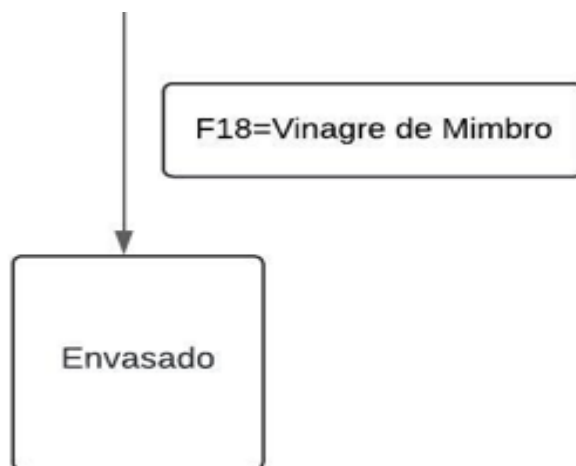
Figura 5.16 Pasteurización



Donde,

$F17=F18=5.096 \text{ L}$

Figura 5.17 Envasado



Donde,

$F17=F18=5.096 \text{ L}$

Los parámetros de operación necesarios dependieron de la etapa del proceso, como el caso de la fermentación alcohólica es el grado brix mayor a 20, pH entre 3 a 5, temperatura ambiente. Para la fermentación acida fue preciso que la concentración de alcohol sea entre el 10 al 13 % para una buena fermentación, si se llega a superar este rango el alcohol se oxida de forma incompleta a ácido acético. Por el contrario, si es menor al 10%, se genera perdida de vinagre debido a la oxidación de los esteres y del ácido acético.

Influencia de los °Brix en la cantidad de la solución de agua-jugo de mimbro y el volumen de vinagre crudo en la obtención de Vinagre. A pesar de iniciar los tres tratamientos con valores de °Brix cercanos se obtuvo grados alcohólicos °GL diferentes (T1 con 13, T2 con 11 y T3 con 12) que indico la necesidad de tener control con esta variable para futuras investigaciones o escalamientos a nivel industrial.

La cantidad de vinagre crudo en la combinación a2b2 del tratamiento 2 con una cantidad de % jugo de mimbro 25 % y agua 75% y un vinagre crudo del del 4%, teniendo un pH de 3.4 indica que es el más óptimo para la fermentación acética ya que se acerca al valor óptimo de 5.

Tabla 8. Datos obtenidos del Consumo del Sustrato (°Brix)

Tiempo	°BRIX		
Días	T1	T2	T3
1	21.1	21.2	21
2	20.3	20.7	20.1
3	19.0	20.4	19.3
4	18.2	20.3	18.5
5	17.0	17.8	17.5
6	16.4	16.2	16.1
7	14.3	14.8	14.5
8	13.0	13.5	13.2
9	12.6	12.7	11.4
10	11.2	11.6	10.4
11	10.4	10.3	8.8
12	8.5	8.8	7.9
13	7.7	7.9	6.4
14	6.4	6.4	5.9
15	5.7	5.8	5.6

Nota: Elaboración propia

Tabla 9. Resultados en la etapa de fermentación alcohólica

Tratamientos	°Brix inicial	°Brix final	PH inicial	PH final	Grado alcohólico °GL
T1	21.1	5.8	3	3.7	13
T2	21.2	5.7	4	3.4	11
T3	21.0	5.6	5	3.6	12

Nota: Elaboración propia

Tabla 10. Datos obtenidos del pH en la fermentación acética

Tiempo	pH						
Días	Combinaciones	A1b1	A1b2	A2b1	A2b2	A3b1	A3b3
1		3.6	3.4	3.5	3.7	3.5	3.3
2		3.6	3.4	3.5	3.7	3.5	3.3
3		3.6	3.4	3.5	3.7	3.5	3.3
4		3.6	3.4	3.5	3.6	3.5	3.3
5		3.6	3.4	3.5	3.6	3.5	3.3
6		3.5	3.3	3.4	3.5	3.4	3.3
7		3.5	3.3	3.4	3.5	3.4	3.2
8		3.5	3.3	3.4	3.5	3.4	3.2
9		3.4	3.2	3.3	3.5	3.3	3.2
10		3.4	3.2	3.3	3.4	3.3	3.2
11		3.4	3.2	3.3	3.4	3.3	3.2
12		3.4	3.2	3.3	3.4	3.3	3.2
13		3.3	3.1	3.2	3.4	3.2	3.1
14		3.3	3.1	3.2	3.4	3.2	3.1
15		3.2	3.1	3.2	3.4	3.1	3.1

Nota: Elaboración propia

Tabla 11. Resultados en la etapa de fermentación acética

Combinaciones	°Brix inicial	°Brix final	pH inicial	pH final	Acidez total (Expresado en ácido acético inicial)	Acidez total (Expresado en ácido acético final)	Grado alcohólico °GL / Inicial	Grado alcohólico GL / Final
a1b1	5.0	4.5	3.6	3.94	0.55%	4.51%	10.0	0
a1b2	6.0	5.4	3.4	3.86	0.79%	4.36%	12.0	0
a2b1	5.0	4.7	3.5	4.05	0.58%	5.56%	11.0	0
a2b2	6.0	5.3	3.7	3.90	0.98%	6.23%	13.0	0
a3b1	5.0	4.6	3.5	3.69	0.55%	4.56%	10.0	0
a3b3	6.0	5.6	3.3	3.69	0.75%	4.34%	11.0	0

Nota: Elaboración propia

Los análisis fisicoquímicos realizados a los 6 tratamientos resultantes de la combinación factorial axb, indican que los mismos cumplen con los valores establecidos por la normativa RTCA 67.04.54:10.

Tabla 12. Para el análisis de la hipótesis

Cantidad de Jugo de Mimbro (litro)	Volumen de Vinagre (Litro)	Vinagre Crudo (Litro)
0.5	3.5	
	3.51	0.01
	3.53	0.02
1	4	
	4.02	0.02
	4.06	0.04
1.5	4.5	
	4.53	0.03
	4.59	0.06

Nota: Elaboración propia

Tabla 13. Resultado de Formulación de los mostos

Componente	Mosto1	Mosto 2	Mosto3	Unidad
Concentración de Jugo	0.5 /3L	1/3L	1.5/3L	Litros de jugo/Litros de agua
Levadura	0.5	1	1.5	Gramos de levadura/litro de mosto
PH	3	4	5	-
Azúcar	10	10	10	% de azúcar con respecto al volumen de mosto

Nota: Elaboración Propia

Tabla14. Tratamientos a evaluarse

Formulación	T1	T2	T3
% Jugo de mimbro	14.28	25	33.33
% Agua	85.72	75	66.67

Nota: Elaboración Propia

Tabla 15. Formulación vino de mimbro

Formulación	Mosto1(M1)	Mosto2 (M2)	Mosto3 (M3)
% Mezcla de jugo de Mimbro-Agua	80%	80%	80%
%Azúcar	19%	19%	19%
%Levadura	1%	1%	1%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 16. Combinaciones factoriales para la elaboración de vinagre

N°	Niveles del Factor A (Mezcla/Vino, L)	Niveles del Factor B (Vinagre Crudo, L)	Combinaciones (L)
1	$a_1: 3.85$	$b_1: 0.077$	3.927
2	$a_1: 3.85$	$b_2: 0.154$	4.004
3	$a_2: 4.4$	$b_1: 0.088$	4.488
4	$a_2: 4.4$	$b_2: 0.176$	4.576
5	$a_3: 4.95$	$b_1: 0.099$	5.049
6	$a_3: 4.95$	$b_2: 0.198$	5.148

Nota: Elaboración propia

Para el estudio de la fermentación acética se realizaron 6 combinaciones, la distribución experimental con arreglo factorial 3x2, teniendo como muestra la tabla 16 donde se muestra la cantidad de cada componente, la repetición del factor A es de 2 a 2 y para el factor B es de manera intercalada de dos valores hasta completar los seis. Las combinaciones se muestran como la suma de cada factor en litros.

El Factor A se refiere a la cantidad de Vino de mimbro producido que se utilizó para la elaboración de vinagre, el factor B son las cantidades de Vinagre Crudo donde b1 se refiere al porcentaje del 2% y b2 el 4% estos porcentajes se sacan a base de la cantidad del factor A. Para completar la tabla se utilizó la tabla 7, las combinaciones resultan en:

Nº1

$$a1=3.85 \text{ L}$$

$$b1=2\%(a1) = 2\%*(3.85) = 0.077 \text{ L}$$

$$a1b1= (3.85\text{L}) +(0.077\text{L}) = 3.927\text{L}$$

Nº2

$$a1=3.85\text{L}$$

$$b2=4\%(a1) = 4\%*(3.85) = 0.154 \text{ L}$$

$$a1b2= (3.85\text{L}) +(0.154\text{L}) = 4.004\text{L}$$

Nº3

$$a2=4.4\text{L}$$

$$b1=2\%a2= (2\%) *(4.4\text{L}) = 0.088\text{L}$$

$$a2b1= (4.4\text{L}) +(0.088\text{L}) = 4.488\text{L}$$

Nº4

$$a2=4.4\text{L}$$

$$b2=4\%(a2) = (4\%) *(4.4\text{L}) = 0.176\text{L}$$

$$a2b2= (4.4\text{L}) +(0.176\text{L}) = 4.576\text{L}$$

N°5

$$a_3 = 4.95L$$

$$b_2 = (2\%) * (a_3) = (2\%) * (4.95L) = 0.099L$$

$$a_3b_2 = (a_3) + (b_2) = (4.95L) + (0.099) = 5.049L$$

N°6

$$a_3 = 4.95L$$

$$b_2 = (4\%) * (a_3) = (4\%) * (4.95L) = 0.198L$$

$$a_3b_2 = (a_3) + (b_2) = (4.95L) + (0.198L) = 5.148L$$

VII. Conclusiones

Se logró desarrollar la formulación y el proceso de elaboración de vinagre obtenido a partir del jugo de mimbro utilizando el Método Luxemburgués Modificado, lo cual puede ser de gran interés para la industria alimentaria en busca de nuevas fuentes de producción.

Los parámetros de operación apropiados como la cantidad de °Brix en la solución de agua-jugo de mimbro se debe de mantener en valores menores a 21 para que no se sature la solución y que no se retrase la fermentación alcohólica. El volumen de vinagre crudo de la combinación 6 muestra que es la más adecuada frente las otras de 4% y 2% de volumen de vinagre crudo.

Se comprobó que la formulación que seleccionamos cumple con lo requerido para la elaboración de Vinagre, para el vino la mezcla de jugo de mimbro-agua entre el (70-85) % el azúcar entre el (18-20) % y la levadura entre el (0.5-1.5) % y para la fermentación acética se recomienda el uso entre el (2-4) % de Vinagre crudo a base del vino a fermentar a Vinagre.

Se determinó que los grados Brix no tienen influencia tanto en la cantidad de solución de agua-jugo de mimbro y el volumen de vinagre crudo al obtener el vinagre, independientemente de las cantidades siempre se obtiene vinagre del proceso llevado a cabo.

VIII. Recomendaciones

Se sugiere hacer un estudio de pre factibilidad para determinar la cantidad de mimbro que es necesaria para una planta piloto en el departamento de Managua.

La producción de vinagre de mimbro es una industria que requiere inversión de conocimiento y experiencia, la cual debe ser abordada de manera profesional utilizando el apoyo de nuevas técnicas como el caso de la modificación del método luxemburgués que pueden consolidarse como una alternativa para el desarrollo dentro en el departamento de Managua.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Davidse, G., M. Sousa Sánchez, S. Knapp & F. Chiang Cabrera. 2013. Vitaceae a Geraniaceae. 3(1): ined. In G. Davidse, M. Sousa Sánchez, S. Knapp & F. Chiang Cabrera (eds.) Fl. Mesoamer. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Duran Guerrero, Enrique. (2008). Control de los procesos de elaboración, calidad y trazabilidad del vinagre de Jerez. Universidad de Cádiz, España.

Hough, J. (2002). Biotecnología de la cerveza y la malta. Zaragoza-España: Acribia, S.A.

García Panduro, Laura Rosa. García Torres, Dora. Souza Najar, Rosa Isabel. Suarez Rumiche, Jorge Antonio. (2002). EVALUACION FISICO QUIMICA DEL Averrhoabilimbi (LIMON CHINO). Revista Amazonica de Investigación Alimentaria, v.2 n°2 p 31-34. UNAP, Iquito, Peru.

Labble M. (2007). Tratamientos post fermentativos del vinagre: conservación en botella, envejecimiento acelerado y eliminación de plomo. Barcelona, España. Universidad Rovira Mirgili.

Logan, N.A. and De Vos, P. (2015) Bacillus. In: Whitman, W.B., Ed., Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria, John Wiley & Sons, Inc., in Association with Bergey's Manual Trust, Hoboken, 1-164.

Llaguno, Concepcion.Polo, María. (1991). El vinagre de vino. Editorial CSIC-CSIC Press. Madrid, España

Madrid Vicente, Antonio. (1994). Nuevo Manual de Industrias Alimentarias (4ª ED). Barcelona, España.

Masilungan, G. (2012). Fruits of Bilimbi (Averrhoa bilimbi L.) as a New Natural Source of Ethylene for Ripening of 'Saba' Banana (Musa balbisiana BBB). Philippine: ThePhilippineagriculturist. Philippine.

Meza Chavarría, Pedro (2012). El mimbri o Bilimbí una planta que promete. Asociación para el Desarrollo Ecosostenible. ADEES. Managua, Nicaragua.

Paltrinieri, Gaetano. Figuerola, Fernando. Rojas, Loreto. (1993). Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. FAO, Santiago, Chile.

Polo Sánchez, Carmen. Llaguno, Concepción (1991). El vinagre de Vino. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España.

Puccio, P (7 de junio de 2024). Averrhoa bilimbí. Monaconatureencyclopedia. <https://www.monaconatureencyclopedia.com/averrhoa-bilimbi/?lang=es>.

Robles, L Reyna. Huaman, MA. (2010). Producción de vinagre de manzana por fermentación a escala piloto. Revista Peruana de Química e IngenieríaQuímica, 4(1), p 67-72. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.7 en línea]. <<https://dle.rae.es>> [2/09/2024].

Whitman WB. Bergey's manual of systematics of Archaea and Bacteria. New York, United States of America: Wiley; 2015.

Tan, San Chiang, "Vinegar fermentation" (2005). *LSU Master's Theses*. 1225. <https://repository.lsu.edu/gradschool_theses/1225> [2/09/2024].

IX ANEXOS

ANEXO 1

Resultados del Programa SPSS v.26

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Cntrlugomibro	Entre grupos	4	.219	1.750	.508
	Dentro de grupos	1	.125		
	Total	5			
CntrlmagreP	Entre grupos	4	.241	2.008	.481
	Dentro de grupos	1	.120		
	Total	5			

Elaboración Propia