

Universidad de Matanzas
«Camilo Cienfuegos»
Facultad de Ingeniería Química y Mecánica



Trabajo de Diploma de Ingeniería Química

**Obtención de vinagre a partir de residuales de la industria cervecera y del
etanol obtenido del almidón del boniato a escala piloto en la Universidad
de Matanzas**

«Camilo Cienfuegos»

Autor: Carlos Daniel Acosta González

Tutores: Ms C. Milagros Beatón Berenguer

Dr. Marcelo Marcet Sánchez

Matanzas

2011

Pensamiento

El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable, para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad.

Víctor Hugo

Declaración de Autoridad

Yo, Carlos Daniel Acosta González, declaro ser el único autor de este Trabajo de Diploma con el fin de optar por el título de Ingeniero Químico. Por lo que según las facultades que están conferidas, autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” a hacer uso del mismo, tanto en ella como en cualquier otra institución del país con la finalidad que se estime necesario.

Nota de aceptación

Presidente del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del

Tribunal

Firma

Miembro del

Tribunal

Firma

Dedicatoria

Dedico este trabajo a:

- Toda mi familia, principalmente a mi mamá, mi papá y mi hermano, que no lo hubiera podido hacer sin su ayuda y dedicación.
- Todos mis amigos, que son más que amigos, mis hermanos y siempre estuvieron a mi lado apoyándome.

Agradecimientos

Agradezco:

- A mi tutora Milagros, que supo resistir hasta el final junto conmigo.
- A mi otro tutor Marcelo, que sin él no hubiese sido posible nada.
- A todos los profesores que a lo largo de todos estos cinco años supieron enseñarme todo lo que hoy sé.
- A todos los que han contribuido de una forma u otra en la realización de este trabajo.

Muchas gracias por todo.

Opinión del Tutor

Resumen

En este proyecto de investigación se propone una metodología para obtener vinagre, a partir de residuales de la industria cervecera y del etanol obtenido de la degradación enzimática del almidón del boniato. Los conocimientos necesarios para el logro exitoso de este proyecto se obtienen a través de una búsqueda bibliográfica en internet, bases de datos remotas, revistas de prestigio y literatura actualizada acerca del tema. Se propone un procedimiento para la obtención del almidón de boniato, se analizan las variables que influyen en el proceso de degradación enzimática del almidón aplicando un diseño de experimento con vista a optimizar dichas variables. Luego se realiza la fermentación del almidón de boniato, donde se investigan parámetros como crecimiento y desarrollo de las levaduras, variación de los grados brix, pH, pérdida de peso. También se analizarán las condiciones para la extracción de un extracto del afrecho lo más rico posible en nutrientes. A continuación se desarrolla el proceso de obtención de vinagre, analizándose parámetros como porcentaje de etanol, pH, aroma y desarrollo de las bacterias acéticas. Por último se realiza una valoración económica de la producción del proceso de obtención del vinagre.

Abstract

In this investigation project he intends the methodology to obtain vinegar, starting from residual of the industry brewer and obtained ethanol of the enzymatic degradation of the starch of the sweet potato. The necessary knowledge for the successful achievement of this project are obtained through a bibliographical search in internet, remote databases, magazines of prestige and literature modernized about the topic. He intends a procedure for the obtaining of the potato starch, the variables are analyzed that influence in the process of enzymatic degradation of the starch applying an experiment design with view to optimize this variables. Then he is carried out the fermentation of the potato starch, where parameters like growth and development of the yeasts are investigated, variation of the degrees brix, pH, lost of weight. The conditions were also analyzed for the extraction of an extract of the bran it but rich possible in nutritious. Next the process of obtaining of vinegar is developed, being analyzed parameters like percentage of ethanol, pH, aroma and development of the acetic bacterias. For I finish she is carried out an economic valuation of the production of the process of obtaining of the vinegar.

Índice	
Introducción.	1
Problema de investigación.	2
Hipótesis.	2
Objetivo.	2
Objetivos específicos.	2
Capítulo 1 - Revisión bibliográfica.	4
Vinagre. Definición e historia.	4
Características y propiedades del vinagre.	6
Tipos de vinagre.	6
Usos del Vinagre.	7
Métodos de elaboración del vinagre.	8
Adulteraciones en la producción del vinagre.	10
Aspectos generales de la fermentación alcohólica.	11
Reacciones típicas para la obtención de vinagre.	11
Características de las bacterias acetobacter.	12
Biosíntesis.	15
Licor Madre.	15
Factores que intervienen en la fermentación acética.	15
Características de los residuales de la producción de cerveza.	17
Producción de vinagre en Cuba.	19
Conclusiones del capítulo	21
Capítulo 2 Materiales y Métodos.	22
Composición química de las muestras para la obtención del vinagre.	22
Insumos microbiológicos y químicos.	24
Metodología para la elaboración del vinagre a escala piloto.	25
Obtención del extracto de Afrecho.	26
Tratamiento del trub.	27
Filtración de la crema de levadura.	27
Mezclado y reposo.	27

Separación del vinagre de la capa madre.	28
Embotellado y almacenamiento.	28
Pruebas de calidad.	28
Medición de pH.	28
Determinación de etanol.	29
Determinación de ácido acético en vinagre.	29
Determinación de densidad relativa, extracto seco y cenizas del vinagre obtenido.	30
Apariencia.	30
Olor.	30
Sabor.	30
Propuesta de una planta para la preparación del afrecho a escala piloto.	31
Esquema tecnológico para la obtención del extracto afrecho.	32
Balance de masa en los enfriadores.	32
Balance de masa en el filtro.	34
Balance de energía en el tanque.	35
Balance de energía en la bomba.	35
Balance de energía en el filtro.	36
Selección de la bomba	37
Diseño del sistema de enfriamiento.	39
Diseño del filtro.	45
Cálculos Económicos.	47
Capítulo 3. Análisis de los resultados.	48
Resultado del diseño de experimento	48
Análisis de pH.	49
Determinación del contenido de etanol.	49
Determinación de acidez.	50
Análisis de los resultados de la densidad relativa, extracto seco, cenizas y sólidos solubles del vinagre obtenido.	51
Apariencia.	52
Olor.	52

Sabor.	52
Comparación del vinagre obtenido con el producido industrialmente en Cuba.	52
Análisis de los resultados del diseño y selección de los equipos del esquema propuesto.	53
Selección de la bomba.	55
Diseño del Intercambiador de placas.	56
Diseño del filtro.	60
Cálculo del beneficio bruto.	61
Conclusiones.	63
Recomendaciones.	64
Bibliografía.	
Anexos.	

Introducción

El vinagre es un producto que actualmente tiene una amplia demanda debido a la gran variedad de usos y aplicaciones, principalmente en los hogares donde es empleado para dar sabor, preservar y encurtir; en este último caso se prefiere en forma concentrada.

El vinagre es esencialmente una solución diluida de ácido acético obtenido por fermentación, a la cual se le agregan sales y extractos de otras materias que le transmiten al producto una cualidad distintiva. El azúcar es la base en la producción del vinagre y cualquier solución diluida de un azúcar fermentable puede transformarse en vinagre en condiciones favorables.

El vinagre se obtiene mediante dos procesos bioquímicos que son el resultado de la acción de microorganismos. El primer proceso consiste en la acción de los fermentos que transforman el azúcar en etanol y en dióxido de carbono; esta es la fermentación alcohólica. El segundo, es el resultado de la acción de un amplio grupo de acetobácter que tienen el poder de combinar el oxígeno con el etanol para formar ácido acético; esta es la fermentación acética o acetificación.

En las condiciones económicas actuales es necesario encontrar vías que permitan la obtención de vinagre a partir de los residuales que se producen en los diferentes procesos de fabricación, y con ello reducir los costos y las posibles afectaciones de dichos residuales al medio ambiente.

En la planta piloto de bebidas fermentadas de la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» (PPUMCC) se obtienen residuos a partir del proceso de producción de cerveza, entre ellos, afrecho o bagazo de malta, trub y crema de levadura. Estos residuos contienen azúcares, aminoácidos, etanol, proteínas, minerales, componentes volátiles y otros elementos que sirven como nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las bacterias acéticas encargadas de producir el ácido acético, constituyente característico del vinagre.

Se debe señalar que en muchos países los residuales de la industria cervecera, por sus características nutritivas, son vendidos y utilizados para la alimentación del ganado. En la PPUMCC estos residuales son reciclados mientras tengan propiedades que los haga útiles, luego son desechados debido a que aún no se les ha encontrado otros usos. Si resultaran como materia prima para la obtención de vinagre, el proceso resultaría más económico al no tener que añadir sales ni extractos de otras materias para completar los nutrientes que requiere la producción de vinagre.

Ante esta situación se plantea como **problema de investigación** el siguiente:

¿Cómo obtener vinagre a partir de residuales de la industria cervecera y del almidón de boniato, de forma eficiente?

La **hipótesis** de trabajo es la siguiente:

Si se obtiene etanol a partir de la degradación enzimática del almidón de boniato, se podrá obtener vinagre empleando además residuales de la industria cervecera.

El **objetivo** que se plantea es:

Obtener vinagre de calidad a partir de residuales de la industria cervecera y del etanol obtenido del almidón de boniato.

Objetivos específicos:

- Realizar revisión bibliográfica para conocer los diferentes procedimientos para obtener etanol y vinagre; materias primas que se emplean; y tecnologías a nivel mundial.
- Obtención a nivel de laboratorio de etanol a partir del almidón de boniato.
- Realizar una serie de experimentos para obtener las condiciones óptimas de obtención del vinagre.

- Elaboración de una metodología o esquema tecnológico para la obtención de vinagre.
- Analizar económicamente la propuesta.
- Análisis de los resultados.

Capítulo 1

Análisis Bibliográfico

Con el objetivo de conocer la fundamentación teórica, métodos y tecnologías para la obtención de vinagre de calidad, y las características del almidón de boniato como posible materia prima para la producción de etanol y posteriormente vinagre; utilizaremos la revisión bibliográfica documental, basándonos en consultas a las páginas web y a las revistas de alta visibilidad a nivel mundial.

1.1-Boniato. Clasificación y variedades del boniato.

1.1.1-El boniato pertenece a los siguientes géneros

Género: *ipomoea*

Subgénero: *quamoclit*

Especie: *ipomoea batatas* (Lima, 1992)

La especie *ipomoea batatas* fue descrita por (Linneo, 1753) como *convolvulus batatas*. Sin embargo (Lamarck, 1791) clasificó esta especie dentro del género *ipomoea* en base a la forma del estigma y a la superficie de los granos de polen. Por lo tanto, el nombre fue cambiado a *ipomoea batatas*. (Lima, 1992)

Los nombres más comunes para esta planta en Latinoamérica son: boniato, camote, batata, papa dulce (*sweetpotato*), *apichu* y *kumara*. Es herbácea, rastrera, a veces con ápices volubles (de 1 a 4 mm), glabra o pubescente; sus tallos pueden alcanzar desde 1 hasta 5 m de longitud. Desde el punto de vista agronómico se considera anual.

Es una planta dicotiledónea, que pertenece a la familia *Convolvulácea*, la cual incluye aproximadamente 45 géneros y 1000 especies. Pero sólo la *ipomoea batatas* tiene importancia económica como alimento. (Lima, 1991)

1.1.2-Variedades

Existe un gran número de variedades americanas de batatas pero la mayor parte no ha sido estudiada todavía. En nuestro país, las variedades más corrientes son las siguientes:

Batata amarilla. Sin duda es la mejor. Sus tubérculos miden hasta 40 cm de largo y unos 5 de diámetro. Su piel es lisa, de color amarillo como la carne. Es muy dulce.

Batata rosa. - Su piel es rosada, con surcos. Su carne es amarilla.

Batata blanca. - De calidad inferior. Sus tubérculos son muy grandes, pudiendo llegar a pesar hasta seis kilogramos. Su piel es grisácea; su carne, blanca y harinosa. (Lima, 1992)

1.2-Origen, enfermedades y valor alimenticio del boniato.

1.2.1-Origen

El boniato se cultivaba ampliamente en América tropical a la llegada de los europeos. Irrumpió en la agricultura cubana, desde entonces constituye una de las viandas más importantes en la alimentación de la población. Su producción anual es de 160 000 toneladas aproximadamente. En la costa de Perú, han sido encontrados restos arqueológicos de más de 10 000 años. (Portieles, 2004)

Cuando los europeos llegaron a Polinesia, se cultivaba el boniato en todo el triángulo polinésico, que abarca Nueva Zelandia, Pascual y Hawai. En Polinesia, se aplicaba al camote, el término "kumara", del quechua o sus variantes. La presencia del boniato en Polinesia, no tiene una sola explicación, los estudiosos entienden que pudo ser llevado por indios americanos o por polinesios que vinieron a América. (Invit, 1997)

Por sus propiedades nutritivas puede incluirse en la dieta básica de cualquier persona, pero se recomienda específicamente para quienes padecen de adelgazamiento excesivo, también para los niños, los ancianos y para quienes tienen un estómago delicado. (Lima, 1992)

1.2.2- Enfermedades

Las principales enfermedades que afectan el boniato son: Tetuán, Pudrición del tallo o marchitez, Pudrición negra, Pudrición blanda, Pudrición negra de almacén o de Java y Roya blanca. De estas enfermedades la que menos pérdidas de almidón provoca es el Tetuán (Invit, 1996)

1.2.3-Valor alimenticio

El boniato, (*Ipomoea batatas*) constituye el séptimo cultivo alimentario en orden de importancia a nivel mundial, después del trigo, el arroz, el maíz, la papa, la cebada y la yuca. Debido a su naturaleza rústica, amplia adaptabilidad, corto ciclo de desarrollo y que su material de plantación puede ser multiplicado fácilmente; el boniato se planta durante todo el año y en todas las regiones del país. Su utilidad básica es para la alimentación humana. Aunque se ha probado que funciona como alimento para ganado porcino, bovinos, aves, ovinos y conejos en la forma de la raíz tuberosa y follaje fresco. La harina de boniato es utilizada en la confección de pan; se plantea que puede sustituir a la harina de trigo a razón del 25 al 35%. (Lima, 1992)

El boniato es una planta rica en carbohidratos, vitamina A y calcio, por lo que se considera un alimento altamente energético; con una producción de 30 t.ha⁻¹ puede reportar 35 millones de calorías en un período de 150 a 180 días. La proteína, como en casi todos los cultivos de raíces tuberosas, es baja y llega de 1,3 a 2,4 g por cada 100 g de porción comestible. (Morales, 2001)

En la actualidad, dentro de la producción de raíces y tubérculos tropicales en Cuba, el boniato suministra el 37 % del total, constituyendo una de las viandas más importantes en la alimentación de la población. (Invit, 1997)

1.3- Composición química del boniato

Las batatas poseen un 70 % de sales alcalinas, por lo que ha de considerarse como un alimento súper básico. Proporcionan unas 127 calorías por cada 100 gramos, por lo que su valor energético es ligeramente superior al de las patatas. (Morales, 1986)

Tabla 1.1. Composición química de boniato

Composición química	Valor (g)
Agua	45
Hidratos de carbono	51
Grasas	0,2
Proteínas	1,3
Hemicelulosa	0,5
Sodio	0,058
Potasio	0,482
Calcio	0,077
Magnesio	0,031
Hierro	0,005
Fósforo	0,088
Azufre	0,043
Cloro	0,120
Cobre	0,0003
Vitamina A	6. 000 U.I
Vitamina C	17 mg
Vitamina B1	0,098
Vitamina B2	0,088
Vitamina PP	0,600

1.4- Almidón

El almidón, es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por las plantas superiores. Por tanto constituye una fuente de energía esencial para muchos organismos, especialmente el hombre. El almidón representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas: en los cereales (maíz, trigo, arroz) el contenido de almidón va del 30 al 80 %, en las leguminosas (frijol, chícharo, haba) de un 25 a 50 % y en los tubérculos (papa, yuca) de un 60 y 90 % de la materia seca. La producción mundial total de almidón se estima en 18 millones de toneladas que se extraen principalmente de maíz (10 millones) y papa (3 millones), el resto se obtiene del trigo, arroz, yuca y sorgo. Aproximadamente el 50 % de esta producción se destina a la preparación de alimentos. (Guilbot, 1985)

Desde el punto de vista nutricional, el almidón es el principal componente de la dieta humana. Existe la tendencia a consumir alimentos más saludables reduciendo el consumo de azúcar refinada y grasa, y sustituyéndolos por productos derivados del almidón. (Morales, 1986)

El almidón es utilizado, también, para la fabricación de pegamentos, pinturas, como agente floculante, material de "relleno" y como materia prima en la industria farmacéutica. En los últimos años ha cobrado gran interés como materia prima en la producción de edulcorantes de alta intensidad y sustitutos de grasa, ya que este tipo de productos son utilizados en la elaboración de alimentos bajos en calorías (Guzmán-Maldonado, 1992).

En el ámbito ecológico, el almidón juega un papel importante en la fabricación de plásticos biodegradables (Janet, 1992). En fechas recientes se ha planteado el uso del almidón como un material que puede encapsular sustancias como proteínas, sabores y olores, entre otras, para su posterior liberación dentro de un producto alimenticio o farmacéutico (Zhao,1994).

1.4.1-Estructura química del almidón

Las moléculas de almidón son de dos tipos: la amilosa, que constituye el 20% del almidón ordinario, donde los grupos $C_6H_{10}O_5$ están dispuestos en forma de cadena continua y rizada, semejante a un rollo de cuerda; y la amilopectina, la cual es un polisacárido ramificado (Kunze,1999).

Tabla 1.2.- Propiedades de los componentes del almidón (Biliaderis, 1991).

<u>Propiedad</u>	<u>Amilasa</u>	<u>Amilo pectina</u>
Estructura molecular	Esencialmente lineal	Ramificada
Longitud promedio de cadena	10^3 nm	20-25
Grado de polimerización	10^3 nm	10^4 a 10^5
Complejo con yodo	Azul (650 nm)	Púrpura (550 nm)
Afinidad del yodo	19-20 %	1 %
Estabilidad en solución acuosa	Retrograda fácilmente	Estable
β -amilasa	70%	55-60%
β -amilasa y dextrinasa	100%	100%
Propiedades de película	fuerte	Quebradiza

1.4.2-Amilosa

La molécula de amilosa contiene, en promedio, de 500 a 6000 unidades de D-glucosa repartidas en un número de cadenas que va de 1 a 20. Cada cadena presenta un grado de polimerización (GP) promedio de 500 (siendo GP el número de unidades de glucosa que se encuentran unidas en una cadena) (Moore, 1984).

Por su contenido de amilosa, los almidones se pueden clasificar en diferentes grupos como son los almidones cerosos con muy poca cantidad de amilosa, alrededor de 1-2 %; los normales que contienen entre 17-24 % de amilosa y los altos en amilosa con un contenido de 70 % o más de este polímero (Moore,1984).

1.4.3-Amilopectina

La amilopectina es el componente ramificado del almidón. Está formada por cadenas de residuos α -D-glucopiranosidos (entre 17 y 23 unidades) unidos principalmente por enlaces α -(1→4). También presenta entre un 5-6 % de enlaces α -(1→6) en los puntos de ramificación. La enzima β -amilasa ataca los enlaces α -(1→4) de la amilopectina para producir dextrinas β -límite (que son las cadenas residuales que contienen los puntos de ramificación), un ataque posterior con pululanasa o isoamilasa, que actúan sobre los enlaces α -(1→6) permite obtener maltosa. El peso molecular de la amilopectina varía entre 10^6 y 10^8 , esto depende del origen botánico del almidón, las condiciones del aislamiento de la amilasa y amilopectina y al método usado para determinar el peso molecular. (Mussato, 2007)

Dependiendo de la fuente, la amilopectina es el principal componente en la mayoría de los almidones (entre un 70-80 %), alcanzando en ciertos casos niveles de hasta un 98-99 % en los almidones tipo ceroso o "waxy". Por ello, la amilopectina, es quizás el componente con mayor importancia en términos de las propiedades del almidón. (Moore, 1984)

1.4.4-Maceración del almidón

El almidón debe degradarse en azúcares y dextrinas por razones económicas, así como para evitar la formación de neblina (bruma) en los productos. (Kunze, 1999). La degradación de almidón ocurre en 3 etapas: gelatinización, licuefacción y sacarificación.

Gelatinización: en una solución caliente, se incorporan las moléculas del almidón, así aumenta el volumen e hincha los gránulos de almidón hasta que se revienten y se forma una solución viscosa.

Licuefacción: las cadenas largas de glucosa en el almidón (amilosa y amilopectina) se rompen rápidamente para formar cadenas más pequeñas por α -amilasa, y este causa una reducción rápida de la viscosidad de la solución gelatinizada. β -amilasa solo puede degradar lentamente las cadenas largas, por lo tanto la degradación por esta enzima solamente puede llevar varios días.

Resumiendo, en la licuación ocurre la reducción de la viscosidad del almidón gelatinizado por α -amilasa.

Sacarificación: α -amilasa rompe las cadenas de amilosa y amilopectina para formar dextrina, contiene de 7 hasta 12 residuos de glucosa. β -amilasa rompe 2 residuos (maltosa) formando cadenas más cortas. Este proceso lleva más tiempo que el proceso de α -amilasa. (Mesas, 1999)

Con la sacarificación se termina la degradación completa del almidón en maltosa y dextrina por las amilasas. Para verificar la presencia del almidón se realiza la prueba con iodo. (Kunze, 1999).

1.5-Producción de etanol a partir del almidón del boniato.

Uruguay, es un país desprovisto de reservas de combustibles fósiles por lo que es un importador neto de petróleo. Por tanto la incorporación de los biocombustibles a la matriz energética le permitiría reducir dicha dependencia y abrir la posibilidad de generar nuevas oportunidades en el sector agropecuario y agroindustrial, desarrollando cadenas específicas de producción de bioetanol. Por último, algunos productos intermedios o finales pudieran tener otros destinos comerciales de mayor valor que para uso como carburante (dextrinas, almidón, alcoholes).

Este país, planifica instalar destilerías en el norte y sur, con planes de producción específicos. Por lo tanto se hace necesario explorar distintas alternativas de cultivos para la producción a gran escala de estos biocombustibles. Para ello, se requiere de la generación de conocimiento acerca de los mismos. Existen programas para producción de Etanol en base a boniato en varios países como USA (Carolina del Norte), China (Sichuan) y Brasil.

El cultivo de boniato debe ser considerado y evaluado para cualquiera de los planes en producción de etanol combustible, en nuestro país. También podría complementar otros cultivos considerados, permitiendo diversificar opciones y ampliar la utilización de la capacidad industrial a instalar. Por lo tanto, se pretende cuantificar el rendimiento de alcohol a partir de producción local de

boniato, tendiendo a optimizar el proceso industrial, estimando costos. En base a esto y un precio probable del alcohol producido, se podrá estimar la rentabilidad del proceso global. (Morales, 1986)

El cultivo de boniato presenta un rendimiento muy alto de Etanol por hectárea, y su costo es muy competitivo. Existe una alta correlación entre contenido de materia seca y producción de alcohol. En promedio, el almidón representa de 60 a 70% de la materia seca. La mayor parte de la materia seca corresponde a almidón. (Collins, 1984).

Para la utilización del boniato como materia prima para la obtención de etanol se requiere un paso previo, a nivel industrial. La primera fase del proceso es lograr la sacarificación del almidón de la raíz mediante hidrólisis del mismo. Este proceso debería ser optimizado para las condiciones locales. Una vez obtenidos los azúcares reductores se inocula con levadura específica promoviendo la fermentación. Finalmente se realiza el destilado. Estas etapas finales no difieren mayormente entre los distintos cultivos.

Los cultivares difundidos actualmente en el país pueden alcanzar el 25% de materia seca en cosecha. Valores superiores al 30% de materia seca son considerados favorables para producción industrial y serían alcanzables con selección de material apropiado. Por lo general para consumo en fresco, se prefieren valores de materia seca inferiores al 30% y pulpa de color crema o naranja.

Con rendimientos alcanzados en producción mejorada a nivel local (40 ton/ha), se puede obtener un rendimiento en alcohol de hasta 5.000 lts /ha, en 4 meses de ciclo (Silveira, 2001).

1.5.1-Aspectos generales de la fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica constituye la primera etapa del proceso de obtención del vinagre. Paola (2005) define la fermentación alcohólica como el proceso bioquímico por el cual las levaduras transforman los azúcares del mosto en etanol y CO₂. Para que la fermentación tenga lugar, el mosto debe hallarse en condiciones de limitación de oxígeno (Alegre, 1999). Según (Querol

,2003) las levaduras que se utilizan pertenecen al género *saccharomyces* y a la especie *cerevisiae*.

➤ Reacción típica para la obtención de etanol.

Según Wood (1985), la transformación del azúcar por esta levadura puede ser representada químicamente en la siguiente reacción:



1.6-El vinagre, origen

El vinagre procede, etimológicamente, del latín “vinumacre”, de la que deriva la locución francesa “vinaigre” equivalente al vino agrio, pero en esta acepción su procedencia no queda relegada al vino, sino a cualquier sustrato amiláceo susceptible de ser utilizado. (Guerrero, 2008). En Europa, se entiende por vinagre al que se obtiene exclusivamente a través de la fermentación acética del vino, que presenta un grado de acidez total no inferior a 60 g/L, expresado en ácido acético (Tsfaye, 2002).

Existen varios criterios en cuanto a la llamada “Madre del vinagre”, por ejemplo en 1732, el holandés Boerhaave hace notar que era un organismo vivo, aunque sin precisar su papel en la acetificación. Lavoisier, por su parte, demuestra que la acetificación consiste en la oxidación del etanol, pero sin sospechar la presencia de bacterias acéticas. (Persoon, 1822) describe las películas grasas que se forman en la superficie del vino, la cerveza o el vinagre como sustancias de naturaleza vegetal.

En opinión de Kutzing, la débil película que recubre la superficie del líquido acidificado está formada por glóbulos seis veces más pequeños que los de la levadura. Se trata de bacterias acéticas observadas por el microscopio de Kutzing, quien lo denominó *acetobacter kutzingianum*. (Llaguno, 1991).

A principios del siglo XIX, el único medio de obtener vinagre era la acidificación espontánea del vino. Ya en 1864, Pasteur descubre unos microorganismos llamados *mycoderma aceti* y a raíz de esto se inventó un método llamado Método Pasteur o Método Orleans el cual consistía en llenar toneles de vino y vinagre, espontáneamente, en la misma proporción, y cada vez que se sacaba vinagre se le rellenaba con más vino. Era un método muy lento.

Posteriormente, Schuetzenbach, inventó el método rápido, adquirió una serie de barriles apilados con un doble fondo perforado y los llenó de virutas de madera, donde residían las bacterias. La perforación del fondo permite el paso del aire que se difunde por toda la viruta y por la parte de arriba se iba introduciendo el líquido alcohólico el cual corre entre las virutas hasta llegar al fondo y por esas perforaciones caen al barril siguiente. En cada paso se aumenta entre 1 y 2% de ácido acético. (D.A, 1990)

1.6.1- Características y propiedades del vinagre

El vinagre está compuesto por ácido acético (3 – 10%), componentes aromáticos (20%) y agua hasta un 90%, entre otros componentes. Los estudiosos afirman que el olor y sabor fuerte del vinagre se debe a su alta concentración de ácido acético (Blanch ,1992) refiere que el aroma del vinagre es una fracción compleja, contiene muchos componentes con un amplio margen de volatilidad, polaridad y concentración. Entre ellos, podemos encontrar tanto compuestos carbonílicos, como éteres, acetales, ácidos, fenoles volátiles y ésteres. Las propiedades químicas, organolépticas y composición del vinagre vienen determinadas por el sistema de acetificación y por la materia prima empleada.

1.6.2-Tipos de vinagre.

Los vinagres se clasifican de acuerdo a la materia prima empleada en los mismos y teniendo en cuenta el método de elaboración (Tejada, 2009).

Tabla 1.3: Clasificación del Vinagre por materias primas

Clasificado por Materia Prima			
Vinagres de vino	Vinagres de frutas	Vinagres aromatizados	Especialidades internacionales
De vino tinto	Vinagre de manzana	Vinagre de estragón	Vinagre de cerveza
De vino blanco	Vinagre de frambuesa	Vinagre de miel	Vinagre de arroz
Vinagre de Jerez	Vinagre de limón	Vinagre de ajo	Vinagre de cebada

1.6.3-Métodos de elaboración del vinagre.

Actualmente existen dos métodos de elaboración de vinagres. El primero se basa en la **fermentación o acetificación con cultivo superficial**, se caracteriza porque las bacterias acéticas se encuentran en contacto directo con el oxígeno gaseoso, situadas bien en la interface líquido / gas, también pueden estar fijadas a soportes de materiales tales como virutas de madera. Este método se realiza en un período de 7-10 días. Sin embargo, este sistema presenta una serie de desventajas, como la pérdida de sustancias volátiles por evaporación del orden del 10%, el material de soporte, se contamina fácilmente, por lo que se debe limpiar periódicamente y reemplazado cada año por material nuevo y por ser definitivamente un proceso demasiado lento (Llaguno , 1991).

El segundo método se basa en la **acetificación o fermentación con cultivo sumergido**, al cual constantemente se le introduce aire (sólo o enriquecido con oxígeno) en condiciones que permitan la máxima transferencia posible, desde

la fase gaseosa a la fase líquida. Es decir, en este caso no existe soporte alguno para las bacterias. A diferencia del procedimiento en superficie, las acetobácteres se encuentran inmersas en el líquido de fermentación, sin ningún soporte, pero en íntimo contacto con el oxígeno del aire. (Conner ,1976).

En la fermentación mediante cultivo sumergido, el reactor puede operar de tres modos diferentes: en discontinuo, semicontinuo, o continuo. La elección de uno u otro modo depende de muchos factores, aunque generalmente, el sistema discontinuo es el más utilizado. Entre las razones, podemos destacar que permite que parte de la biomasa producida, se pueda utilizar como “madre” en el siguiente ciclo (García, 2009). Este método ofrece un buen rendimiento industrial si la automatización es efectiva, sin embargo se pueden modificar o destruir algunos componentes, e incluso inhibirse los procesos de esterificación por acción de enzimas específicas. (Guzmán, 1998).

Según (Llaguno y Polo, 1991) entre las ventajas de este sistema se puede mencionar:

- La pérdida de componentes volátiles se reduce a 3 - 5%.
- Se facilita la incorporación de sistemas automáticos para la carga y descarga del fermentador.
- Se consiguen temperaturas más uniformes eliminándose las zonas de calentamiento.
- La limpieza y mantenimiento es más ágil y eficaz.
- Es un sistema mucho más rápido.

Los actuales métodos industriales de elaboración de vinagre se basan, esencialmente, en el aumento de la superficie de contacto entre el líquido y el aire.

Tabla 1.4: Métodos de elaboración del vinagre

Métodos	Modo Tradicional	Modo Industrial
Acetificación con cultivo superficial	El método luxemburgués, o proceso Michaelis	Método de Schützenbach
	El método francés, o método Orleanense	
<i>Acetificación con cultivo sumergido</i>	Método Alemán o Método rápido.	Método de tipo Frings

Desde principios de los años treinta del siglo XX, en que se patentó, el acetificador más ampliamente utilizado es el de **tipo Frings** el cual es usado en todo el mundo para la producción de vinagre. El Acetator Frings es totalmente automatizado y así garantiza una acetificación rápida y uniforme (Paola, 2005).

1.6.4-Producción de vinagre en Cuba.

En nuestro país se produce vinagre en tres fábricas ubicadas en las provincias como se ilustra en la figura 1.1

Fig1.1 – Ubicación de las fábricas de vinagres en Cuba



En nuestro país existen tres plantas para la producción de vinagre a escala industrial, una ubicada en Ciudad Habana, otra en Villa Clara y la tercera en

Camagüey. Estas abastecen a las redes de tiendas del CIMEX y los puntos de venta en moneda nacional.

1.6.5-Materias Primas para la producción del Vinagre en Cuba.

Industrialmente el vinagre en Cuba se obtiene a partir de la mezcla que se muestra en la tabla 1.5.

Tabla 1.5– Composición de los vinagres de Cuba

Mezcla	Contenido
Aguardiente de Caña	75%
Vino de Azúcar	24.99%
Fosfato de Amonio	0.01%

1.6.6-Características de las bacterias acetobacter.

(Paola, 2005) expresa que el organismo involucrado en la producción de ácido acético crece usualmente sobre el sustrato como una masa espesa gelatinosa, comúnmente conocida como sustrato madre.

Los microorganismos que oxidan el etanol a ácido acético son comúnmente llamadas bacterias ácido acéticas. Estas bacterias son polimorfas. Son células Gram, que van de la forma elipsoidal a la alargada, recta o ligeramente curvada de 0,6 a 0,8 μm de largo, encontrándose aisladas, en parejas o en cadenas (Ebner, 1999).

Las bacterias acéticas son aerobias estrictas, por lo que tienen un metabolismo respiratorio en el cual el oxígeno es el aceptor final de electrones. Forman colonias pálidas. Catalasa positiva, oxidasa negativa. No licuan la gelatina y no forman indol o H_2S . Oxidan el etanol a ácido acético y el acetato y el lactato a CO_2 y H_2O . El pH óptimo para su crecimiento es de 5,4 a 6,3. La acetobacter se encuentra en flores, frutas, vino de uva, sidra, cerveza, vinagre, virutas de madera de generadores de vinagre y acetificadores, entre otros (De Ley, 1984).

1.6.7-Licor Madre.

El licor madre es el iniciador de la actividad bacteriana, responsable de la producción del gel celulósico o nata. Un aspecto importante a considerar, es la sanidad del licor, por lo tanto frente a cualquier sospecha de contaminación o manejos inadecuados del proceso, es conveniente que el material sea destruido térmicamente y eliminado de inmediato para evitar propagar la contaminación (Nicole , 2005).

1.6.7-Factores que intervienen en la fermentación acética.

Según (Paola,2005) los principales factores que intervienen en la fermentación acética son el tipo y la densidad de bacterias presentes, la temperatura, la concentración de etanol, de ácido acético y la de oxígeno disuelto. Otro posible factor que puede afectar la acetificación es la presencia de nutrientes. Las óptimas condiciones de fermentación se refieren a la adquisición de información sobre el crecimiento bacteriano y los procesos de fermentación automatizados (Tesfaye, 2002).

El mismo autor señala, que **la evaporación de los componentes volátiles**, es una de las causas de disminución del rendimiento durante el proceso de fermentación acética, incluyendo el sustrato (etanol), el intermediario (acetaldehído), así como el producto final (ácido acético).

La **incorporación de aire** es un proceso esencial, dado el carácter aerobio de las bacterias acéticas. Esto significa que el proceso debe realizarse bajo condiciones de abundancia de oxígeno y ello se asegura dejando suficiente espacio entre las bandejas de fermentación (en caso de utilizarse el método de fermentación superficial) y cubriéndolas con papel permeable al aire.

Además de la cantidad de aire suministrado, se debe considerar la pureza y calidad de éste, las bacterias acéticas son sensibles a contaminantes presentes en el aire (Llaguno, 1991). Las condiciones del inóculo, es un parámetro importante para una óptima fermentación. El cultivo selectivo de bacterias acéticas debe estar en fase exponencial de crecimiento, con una concentración de biomasa total, del orden de 500×10^6 ufc / mL, de acuerdo a (De Ory, 2002).

La temperatura de operación óptima que se utiliza para la fermentación acética, se encuentra entre el rango de 30-31° C, la cual puede ser suministrada, en la mayoría de los casos por un intercambiador de calor interno, conectado a un termostato (De Ory, 2004).

Temperaturas menores a 26° C favorecen a una fermentación más lenta, altas temperaturas, sobre 34° C aceleran la evaporación del etanol, ácido acético y sustancias volátiles que contribuyen a las características del sabor y aroma del vinagre (Weiser, 1962). El efecto del **pH** es muy importante en la producción, debido a su efecto en el desarrollo de las bacterias acetobacter. Este microorganismo requiere valores de pH entre 6.5 y 5 (Danesi y Wosiacki, 1999) Según (Embuscado, 1994) cuando el medio de fermentación tiene un pH bajo 3,5 y sobre 4,5 la nata que se obtiene es de un espesor muy fino, es por esto que se debe tener un control estricto y preciso sobre el nivel de acidez del medio. Cabe destacar que un aspecto muy importante para el éxito del proceso es la **concentración de las bacterias acéticas** en el licor madre, debido a que si este número es muy bajo, se debe aumentar el tiempo de fermentación para que la bacteria se desarrolle, pero este aumento de tiempo implicaría que un gran porcentaje de los microorganismos envejecerían (Nicole , 2005).

1.7-Características de los residuales de la industria de cerveza.

Los residuales del proceso de elaboración de la cerveza, son ricos en elementos nutritivos y se comercializan como alimento animal. Como se puede observar en la figura 1.6 el afrecho es un residual que se extrae de la tina de extracción y el trub es el que se sedimenta en el Whirlpool (Separador)

El afrecho de cerveza, contiene gran cantidad de vitaminas, en especial de las pertenecientes al complejo B (Solange, 2007). La mayoría de vitaminas del grupo necesitan unas de otras; así la levadura de cerveza aporta el grupo entero de vitaminas B. El número de vitaminas que contiene son más de diecisiete, además de vitaminas del grupo B, aporta un gran número de minerales, aminoácidos (sobre todo glutación) y oligoelementos.

Tabla 1.6 – Composición química del afrecho

Componente	(%p/p)
celulosa (glucana)	16.78
<i>hemicelulosa</i>	28.42
xilana	19.94
arabinosa	8.48
<i>lignina total</i>	27.78
lignina Klason	22.96
lignina soluble en ácido	4.82
cenizas	4.60
grupos acetil	1.35
proteínas	15.25
extractivos(por diferencia)	5.82
Minerales	(mg/kg)
calcio	3515,0
sodio	309.3
potasio	258,1
magnesio	1958
aluminio	36,0
hierro	193,4
bario	13.6
estroncio	12.7
manganeso	51.4
cobre	18.0
zinc	178
fósforo	5186.0
azufre	1980
cromo	5.9
silicio	10740

También presenta otras vitaminas como *biotina* (0.1), *ácido fólico* (0,2), *niacina* (44), *ácido pentanóico* (8.5), *riboflavina* (1.5), *tiamina* (0.7) y *vitamina b6* (0.7) (Huige, 1994)

El trub que también forma parte de los residuos de la producción de cerveza está compuesto por proteínas (20%), azúcar fermentable, polisacáridos, gomas en menores porcentajes, fenoles, poli fenoles y taninos (Solange, 2007).

Conclusiones del capítulo

1. El contenido de almidón en el boniato oscila entre 50-90% según la variedad del cultivo.
2. Toda fuente que contenga etanol y nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las bacterias *acetobacter* sirven como materia prima para la producción de vinagre.
3. El afrecho residual de la producción de cerveza contiene nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las bacterias acéticas
4. Se puede utilizar el método superficial o sumergido para la producción de vinagre a partir de cualquier materia prima.

Capítulo 2

Materiales y Métodos

El azúcar es la base para la producción de vinagre, por lo que cualquier solución diluida de azúcar fermentable puede transformarse en vinagre en condiciones favorables. En nuestro país la producción de vinagre a partir de azúcar, ha disminuido debido a los altos precios del azúcar. Este trabajo está encaminado a buscar una fuente de sustitución del azúcar cruda para lo cual se propone el almidón. Para ello se acometieron las siguientes tareas:

- Elaboración de vinagre a partir de almidón de boniato y residuos de la industria cervecera.
- Propuesta de un esquema tecnológico para la obtención, a escala de planta piloto, de vinagre a partir de almidón de boniato y residuos de la industria cervecera.
- Propuesta de diseño de equipos para obtener vinagre.
- Cálculos económicos de la planta.

Los experimentos se realizaron empleando los equipos y cristalería existente en los laboratorios de Operaciones Unitarias y Biotecnología Ambiental ubicado en la planta piloto.

2.1- Metodología para la elaboración de vinagre a partir de almidón de boniato y residuos de la industria cervecera a escala de laboratorio

Para la obtención de vinagre a escala de laboratorio se aplicará el método superficial, en bandejas de 1L y con la adición de 5ml de bacterias acéticas a cada bandeja.

La metodología para elaborar el vinagre se resume en el esquema mostrado en el Anexo 1.

2.1.1- Extracción del almidón de boniato a escala de laboratorio.

Este proceso se llevará a cabo según los siguientes pasos:

- Lavado de los frutos con agua para eliminarles restos de tierra, insectos, probables pesticidas y así reducir la carga microbiana autóctona del fruto que puede perjudicar los procesos siguientes.
- Pesada de los frutos.
- Molienda en guayo casero y tamizado (0, 043 mm) para obtener una pulpa.
- Secado de la pasta resultante a 40⁰C en estufa (Estufa - incubadora digital AASET YLD-6000 Alemana, con control térmico, de 0,1 °C de sensibilidad) por espacio de 24 h.
- Pesada del producto seco (materia prima almidón de boniato) en balanza técnica y envasado en bolsas de polietileno a temperatura ambiente hasta el momento de ser usado.

Para llevar a cabo este proceso, a escala de laboratorio, se utilizaron 3.5Kg de boniato (**ipomoea batatas**).

2.1.1.1- Caracterización del almidón del boniato

A esta materia prima se le realizó un análisis químico con el propósito de determinar el contenido de humedad y cenizas. Estos se realizaron según las normas NOM-116-SSA1-1994 y NMX-F-066-S-1978 respectivamente.

Humedad

La muestra previamente evaporada es secada a 100° ± 2°C durante cuatro horas en estufa – incubadora digital con control térmico AASET YLD-6000, alemana, posteriormente es pesada en balanza analítica digital Sartorius BS 124 S. El contenido de humedad en la muestra se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \cdot 100$$

ec.2.1

donde:

M₁-peso de la cápsula con gasa (g).

M₂-peso de la cápsula con gasa más muestra húmeda (g).

M₃-peso de la cápsula con gasa más muestra seca (g).

Cenizas

Son determinadas luego de la incineración del material a 550°C en horno mufla analógica con control térmico AASET YLD-6000, alemana, durante cuatro horas, posteriormente se enfriaron en una desecadora y se pesaron con exactitud de 0,1 mg. El contenido de cenizas se calculó haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P - p)}{M} \cdot 100 \quad \text{ec 2.2}$$

donde:

P- masa del crisol con las cenizas (g).

p- masa del crisol vacío (g).

M- masa de la muestra (g).

2.1.2-Maceración

Se realizarán tres experimentos, donde se analizará la influencia del contenido de enzimas a añadir y el consumo energético las cantidades de enzima añadidas para cada experimento fueron:

Experimento 1- 1L de suspensión, con 200g de almidón y 0.5 ml de enzimas α-amilasa.

Experimento 2- 1L de suspensión, con 200g de almidón y 1 ml de enzimas α-amilasa.

Experimento 3- 1L de suspensión, con 200g de almidón y 1.5 ml de enzimas α -amilasa.

➤ **Procedimiento:**

1-Pesar en balanza técnica 200 g de almidón y disolver completamente en 1000 ml de agua de la llave.

2-Medir los $^{\circ}$ Brix en un refractómetro manual de Abbe.

3-Calentar y remover la disolución suavemente de manera constante hasta obtener una temperatura de 75°C .

4-Medir nuevamente los $^{\circ}$ Brix.

5-Añadir las diferentes cantidades de enzima α -amilasa según corresponda a cada experimento.

6-Medir los $^{\circ}$ Brix, realizar la determinación de almidón (yodometría) cada tres minutos controlando a su vez el tiempo que se mantiene encendida la hornilla y que la temperatura se encuentre entre 85 y 90°C para que no se desnaturalice la enzima. Todo esto hasta que desaparezca el almidón.

7-Hervir por 10 min. para desnaturalizar la enzima.

8-Enrasar a 1000 ml de nuevo.

Aparatos, utensilios y medios de medición:

- Refractómetro de Abbe.
- Vasos de precipitado de 100 ml
- Balanza analítica digital Sartorius BS 124 S. Máx 120g, con una precisión de 0.1mg.
- Resistencia.
- Termómetro.
- Cronómetro.
- Micropipeta.
- Plaquita de la prueba del almidón

- Agitador.
- Caldero.
- Plancha eléctrica IKA C-MAGHP7 con una potencia de 1005 Watt

Reactivos químicos:

- Enzima alfa amilasa termoestable.
- Solución de yodo.

Las mezclas resultantes de la maceración deben ser enfriadas para lograr la temperatura óptima, que necesitan las levaduras que se encuentran entre 25 a 30 °C.

2.1.2.1- Caracterización de los productos de la maceración

Una vez concluida la etapa de enfriamiento, se procede a determinar los parámetros iniciales para realizar la fermentación alcohólica y ajustar aquellos que así lo requieran, para que el proceso no se vea afectado, los mismos son:

➤ **Determinación de la densidad**

La determinación de la densidad se realizó según la norma RTCR-109:1991.

La ecuación para calcular la densidad relativa es la siguiente:

$$d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \tag{ec 2.3}$$

- Donde:
- d- Densidad relativa.
- m₁- Masa del picnómetro vacío (g).
- m₂- Masa del picnómetro lleno con agua (g).
- m₃- Masa del picnómetro lleno con muestra (g).
- La ecuación para calcular la densidad absoluta a 15⁰C es:

$$D_{15} = \rho_{H_2O} \cdot d$$

ec 2.4

- Donde:
- D_{15} - Densidad absoluta a 15⁰C.
- d- Densidad relativa.
- ρ_{H_2O} - Densidad del agua a 15⁰C.

➤ **Determinación de los azúcares reductores totales**

Se realiza según lo planteado por (Miller, 1959). Este método se basa en un análisis colorimétrico.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

Micropipetas de 10, 250, 500 y 1000 microlitros.

- Tubos de ensayo.
- Baño de María, Midingen / Sitz Freital, Alemania.
- Espectrofotómetro UV – 4200.

➤ **Reactivos químicos:**

- Ácido 3,5-dinitrosalicílico.
- Disoluciones patrón de glucosa.

➤ **Procedimiento:**

La determinación se realiza utilizando ácido 3,5 dinitrosalicílico como desarrollador de color. Se preparan patrones de glucosa a 0.1, 0.25, 0.4, 0.6, 0.7, y 1.0 mg/ml de concentración, se realizan las lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 546 nm, para la confección de una curva de calibración. El contenido de ART se determina contra la curva patrón y los resultados son expresados en g / L.

➤ **Determinación de los ⁰Brix**

La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en el zumo de frutas, vino o bebidas suaves, y en la industria del azúcar. Para las bebidas un grado Brix indica cerca de 1-2 % de azúcar por peso ya que los grados Brix se relacionan con la concentración de los sólidos disueltos (sobre todo sacarosa) en un líquido y tienen que ver con la gravedad específica del líquido.

➤ **Procedimiento:**

Limpiar y secar cuidadosamente la tapa y el prisma del refractómetro antes de comenzar la medición.

Colocar una o dos gotas de la muestra en el prisma.

Cerrar la tapa del refractómetro teniendo en cuenta que no se formen burbujas para que la medición no se vea afectada.

Leer los °Brix donde se encuentre la línea que divide una zona clara oscura.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

➤ Refractómetro de Abbe.

➤ Gotero.

➤ **Ajuste del pH**

El pH de la muestra era de 2,5 por lo que se procede a ajustar el pH a 5, utilizándose ácido fosfórico. El ajuste del pH se realizó según lo planteado por (RODEWALD)

➤ **Procedimiento:**

La disolución obtenida de la maceración se adicionan en un beaker 100 ml y se coloca el electrodo combinado conectado al equipo una vez calibrado con las disoluciones buffer correspondientes. Se enciende el equipo y se realiza la lectura. Luego se le va adicionando el ácido fosfórico a la disolución gota a gota hasta que el pH se ajuste a 5.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

- pH metro MV 88 con electrodo de combinado.
- Vasos de precipitado de 100 ml
- Gotero.
- Papel de filtro.

➤ **Reactivos químicos.**

- Disolución buffer de pH 4.
- Disolución buffer de pH 7.
- Disolución buffer de pH 9.
- Disolución de ácido fosfórico.
- Yodo (I₂)
- Enzima alfa – amilasa termoestable BIALFA – T (Temamil 120)

2.1.3-Fermentación alcohólica.

Los azúcares que se obtienen del proceso de degradación enzimática del almidón son fermentados con el objetivo de obtener etanol, necesario en otras etapas del proceso de elaboración de vinagre. Para un mejor análisis de este proceso a cada experimento se le realizarán tres réplicas, quedando planificadas de la siguiente forma:

Experimento 1: 1A, 1B, 1C, 1D

Experimento 2: 2A, 2B, 2C, 2D

Experimento3: 3A, 3B, 3C, 3D

A los frascos A, B, y C solo se le realizarán pesadas cada 24h. Al contenido del frasco D se le medirá pH, conteo de microorganismos, azúcares reductores y °Brix.

➤ **Procedimiento:**

- 1- Esterilización de frascos de 500 ml y tapones para evitar una posible contaminación que pueda perjudicar el proceso.

- 2- Pesar los frascos vacíos con su tapón correspondiente en balanza técnica. Los tapones son de gasa rellenos con algodón para permitir la salida de CO₂.
- 3- Adicionar a 1000 mL de disolución 10mL de levadura de la industria cervecera.
- 4- Adicionar la disolución en 4 frascos a razón de 250 mL por frasco.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

- Frascos de 500mL.
- Tapones.
- Beaker de 250mL.
- Pipeta
- Balanza analítica digital Sartorius BS 124 S. Máx 120g, con una precisión de 0.1mg.
- Roto - evaporador analógico, IKA RV 05 Basic. Baño de agua, IKA HB4 Basic.
- Durante el proceso de fermentación alcohólica se muestrean diferentes parámetros para determinar el momento en el cual concluye la fermentación y garantizar que esta ocurra en condiciones óptimas. Dichos parámetros son muestreados cada 24 h.

2.1.3.1- Pesada de las muestras

Este análisis nos permite determinar el tiempo de fermentación.

➤ **Procedimiento:**

Pesar los frascos en balanza técnica hasta que las pesadas sean prácticamente constantes.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

- Balanza analítica digital Sartorius BS 124 S. Máx 120g, con una precisión de 0.1mg.

Medición del pH

El pH debe ser medido continuamente debido a que es necesario que se mantenga en los niveles apropiados para que el crecimiento y desarrollo de las bacterias no se vea afectado, en este caso el valor óptimo de pH debe ser de 5. (H. M. Aurelio, 1997)

El pH de la muestra era el siguiente:

<i>Especificación</i>	<i>0,5 ml enzima</i>	<i>1 ml enzima</i>	<i>1,5 ml enzima</i>
<i>pH antes del ajuste</i>	<i>7,89</i>	<i>7,36</i>	<i>7,21</i>

La medición de pH se realiza siguiendo la norma mexicana para la determinación de pH por método potenciométrico (NMX-AA-25).

El pH óptimo para el desarrollo microbiológico está en el rango de 4 a 5 cuando el vinagre se encuentra a una temperatura entre los 25 y 30 °C.

2.1.3.2- Determinación de los °Brix

La determinación de los °Brix en esta etapa nos mostrará el contenido de azúcar que contiene nuestra muestra y que será potencialmente fermentable.

➤ Procedimiento:

Limpiar y secar cuidadosamente la tapa y el prisma del refractómetro antes de comenzar la medición.

Colocar una o dos gotas de la muestra en el prisma.

Cerrar la tapa del refractómetro teniendo en cuenta que no se formen burbujas para que la medición no se vea afectada.

Leer los °Brix donde se encuentre la línea que divide una zona clara oscura.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

- Refractómetro manual de Abbe.
- Gotero.

2.1.3.3- Azúcares reductores totales (ART)

Se realizó por método colorimétrico utilizando ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) como desarrollador de color y espectrofotómetro UV – 4200, según lo planteado por (Miller ,1959).El contenido de ART se calculó usando la siguiente expresión:

$$ART = \frac{A}{1,001} \cdot F \quad \text{ec 2.5}$$

Donde:

A- Absorbancia medida.

F- Factor de dilución.

2.1.4-Destilación.

La destilación se realizó según la norma NC 83-26:87. Determinación del grado alcohólico en bebidas alcohólicas, con algunas modificaciones

➤ **Procedimiento:**

1. Verter 250 mL de la muestra en una probeta.
2. Adicionar en un balón de destilación.
3. Conectar el balón a la columna de destilación provista de perlas de vidrio y conectada al refrigerante mediante el adaptador.
4. Calentar la muestra.
5. Recoger 50 ml de destilado en una probeta.

➤ **Aparatos, utensilios y medios de medición:**

- Balón de destilación.
- Torre de relleno con anillos de cristal.
- Condensador de espiral o serpentín.
- Trampa de vapor.
- Plancha de calentamiento.
- Probeta de 250 ml
- Alcoholímetro con escala hasta 10% de alcohol y referido a 15⁰C (288⁰K).
- Termómetro.

2.1.4.1-Fermentación acética.

Para la determinación de la cantidad de experimentos a realizar, se aplicó un diseño que nos permita ahorrar tiempo, recursos materiales y obtener un mayor rendimiento del producto se realizará un diseño de experimentos para mezclas, ya que este nos dice la cantidad de corridas experimentales a realizar, teniendo en cuenta la influencia del nivel de una variable en el nivel de la otra cuando se trabaja con una mezcla de compuestos. Se utilizará el software Staphgraphics Plus 5.1.**anexo17**

La fermentación se realiza en 7 bandejas de un litro de capacidad cada una.

➤ Tratamiento del Afrecho

Las bacterias acetobacter presentes en la etapa de fermentación acética necesitan determinados nutrientes necesarios para realizar dicha fermentación. Durante el proceso de elaboración de cerveza se generan distintos residuos entre los que se encuentran el Afrecho y el Trub, los cuales contienen de un 15 a un 20% de proteínas que pueden ser utilizadas como nutrientes por las bacterias acéticas.

Procedimiento

Colocar 3 kg de afrecho en un recipiente metálico y añadir agua hasta un volumen de 15L.

Calentar hasta una temperatura de 80 °C, agitando constantemente.

Añadir enzimas **papaína y Alfa - amilasa**, las cuales se mantiene a 80°C durante media hora.

Hervir a 100°C durante 20 minutos, para eliminar todos los microorganismos indeseables que pueden contaminar el producto.

Enfriar hasta una temperatura de 30°C.

Filtrar para obtener el extracto.

Nota: Se le añade las enzimas **papaína y alfa - amilasa** al afrecho para ayudar a la formación de los nutrientes y sustratos necesarios para la formación del vinagre como aminoácidos y azúcares.

➤ **Tratamiento del Trub**

El Trub está compuesto por lúpulo residual y un licor rico en componentes nutritivos. La eliminación del lúpulo residual se realiza mediante el proceso de filtración.

Debido a que la cantidad de residuo Trub que se obtiene es pequeña la eliminación del sólido presente en él se realiza empleando un embudo Buchner acoplado a una bomba de vacío.

➤ **Procedimiento**

Mezclar el etanol producto de la destilación con el extracto de Afrecho y Trub.

Adicionar la mezcla a las bandejas de fermentación junto con 5ml de bacterias acéticas.

Durante esta etapa se muestrea cada 24 h el contenido de ácido acético

2.1.4.2-Determinación de ácido acético

La determinación de ácido acético en vinagre se realizó según lo normado en NC/ISO 8334.

2.1.4.3-Separación del vinagre de la capa madre

En esta fase se procede a extraer el vinagre mediante la decantación. La capa madre del vinagre se conserva para su posterior uso.

2.1.4.4-Envasado y almacenamiento del producto

El vinagre obtenido se envasa en pomos y posteriormente es almacenado en un lugar fresco siguiendo lo normado en NMX-F-122-1968. Alimentos para uso humano. Calidad para vinagre envasado para consumo público.

Según las normas internacionales y cubanas de calidad, al vinagre se le realizan las siguientes pruebas.

2.1.4.5-Determinación de ácido acético en vinagre

La determinación de ácido acético en vinagre se realizó mediante la Norma Cubana: Vinagre. Determinación de acidez (NC/ISO 8334).

Pruebas de calidad

Según las normas internacionales y cubanas de calidad al vinagre se le realizan las siguientes pruebas.

Ácido acético y densidad

Físicas

Al vinagre se le realizó la siguiente prueba física:

Apariencia

El vinagre debe ser limpio, brillante, transparente sin presentar turbidez (NMX-F-122).

Organolépticas.

Al vinagre se le realizaron las siguientes pruebas organolépticas.

Olor.

Será el característico del producto, de acuerdo con la materia prima usada o los aromatizantes naturales empleados (NMX-F-122)

Sabor.

El característico de la materia prima de la que provenga (NMX-F-122).

Estas fueron realizadas por el especialista Oscar Queris Hernández doctor, especialista principal del instituto de investigación de la industria alimenticia en La Habana, teniendo en cuenta lo planteado en la norma NMX-F-122.

Cuando se realizaron los análisis a las muestras y productos se tuvo en cuenta que los mismos:

1. Deben estar exentos de microorganismos que puedan desarrollarse en condiciones normales de almacenamiento en cantidades que representen un riesgo para la salud.
2. No deberán contener anguílula del vinagre o cantidades sustanciales de otras materias y sedimentos en suspensión, y deben estar exentos de la turbiedad causada por microorganismos (madre del vinagre).
3. No deberá contener ninguna sustancia originada por microorganismos en cantidades que puedan representar un riesgo para la salud.

2.2- Propuesta de un esquema tecnológico para la obtención, a escala de planta piloto, de vinagre a partir de almidón de boniato y residuos de la industria cervecera

El proceso de la obtención de vinagre esta compuesto por las siguientes etapas:

2.2.1- Etapas del proceso

Extracción del almidón: El fruto es sometido a un proceso de extracción del almidón mediante molienda húmeda.

Maceración: El almidón obtenido se degrada con el objetivo de obtener azúcares fermentables.

Fermentación alcohólica: Los azúcares son transformados en etanol como consecuencia de la acción de levaduras.

Obtención de vinagre: El etanol conjuntamente con una mezcla de Afrecho y Trub es transformado por las bacterias *acetobacter* en ácido acético

2.3-Para el diseño de los equipos necesarios se tienen en cuenta dos etapas:

1-Realización del balance de masa para determinar los flujos a procesar.

2-Diseño de los equipos

2.3.1-Balance de masa

Para determinar la masa de boniato inicial se empezó a partir de que se tiene que conocer la cantidad de ácido acético en treinta litros de vinagre, la cantidad de etanol para obtener el ácido acético, la cantidad de glucosa para obtener el etanol, la cantidad de almidón para obtener esa glucosa

Según (Plessietal, 1989) 1litro de vinagre contiene un 5% de ácido acético equivalente a 0, 05ml)

Según (Woob,1999) el proceso de conversión de etanol a ácido acético tiene una eficiencia de un 95%.

Según (Weiser, 1997) el proceso de conversión de glucosa en etanol es de 85%.

Por datos de literature se conoce que durante el proceso de tratamiento enzimático del almidón se logra un 80 % del almidón dado el alto contenido presentes en las amilo pectinas que no se degradan por las enzimas alfa amilasas.

Según (Vilaró, 1998) un kg de boniato contiene un 0.8kg de almidón.

Lo que se toma como base es la producción de 30L de vinagre

- La primera condición es que 1L de vinagre tiene un 5% de ácido acético equivalente a 50ml de ácido acético.

$$V_{\text{HAC}30\text{L}} = \frac{V_{\text{pro}} * V_{\text{hac}}}{V_{\text{vinegre}}} \quad \text{ec2.7}$$

$V_{\text{HAC}30\text{L}}$ = Volumen de ácido acético a 30L

V_{pro} = Volumen del producto

V_{vinegre} = Volumen del vinagre

$$M_{\text{HAC}30\text{L}} = V_{\text{HAC}30\text{L}} * \rho_{\text{HAC}} \quad \text{ec2.8}$$

$M_{\text{HAC}30\text{L}}$ = Masa de ácido acético a $M_{\text{HAC}30\text{L}}$

$V_{\text{HAC}30\text{L}}$ = Volumen de ácido acético a 30L

ρ_{HAC} = Densidad del ácido acético

Para determinar que cantidad de etanol se produce a partir de la masa de ácido acético calculado anteriormente se realizan los siguientes cálculos.

En el proceso de fermentación por estequiometria:



$$\frac{M_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}}{M_{\text{C}_3\text{COOH}}} = \frac{N_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} * MM_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}}{N_{\text{CH}_3\text{COOH}} * MM_{\text{CH}_3\text{COOH}}} \quad \text{ec2.9}$$

$M_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$ = Masa de etanol

$N_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}$ = Cantidad de etanol

$MM_{C_2H_5OH}$ = Masa molar de etanol

M_{C_3COOH} = Masa de ácido acético

N_{CH_3COOH} = Cantidad de ácido acético

MM_{CH_3COOH} = Masa molar de ácido acético

$$M_{C_2H_5OH} = \frac{n_{C_2H_5OH} * MM_{C_2H_5OH}}{n_{CH_3COOH} * MM_{CH_3COOH}} * M_{CH_3COOH} \quad \text{ec. 10}$$

La segunda condición es:

El proceso de conversión de etanol en ácido acético es de un 95% por lo que para un 100% se obtiene 1g de CH₃COOH y para un 95% es 0,95

$$M_{C_2H_5OH} \text{ 30L} = \frac{m_{CH_3COOH} * m_{C_2H_5OH}}{m_{CH_3COOH}} \quad \text{ec2.11}$$

Fermentación por estequiometria



$$\frac{M_{C_2H_5OH}}{M_{C_6H_{12}O_6}} = \frac{N_{C_2H_5OH} * MM_{C_2H_5OH}}{N_{C_6H_{12}O_6} * MM_{C_6H_{12}O_6}} \quad \text{ec2.12}$$

$M_{C_6H_{12}O_6}$ = Masa de glucosa

$N_{C_6H_{12}O_6}$ = Cantidad de glucosa

$MM_{C_6H_{12}O_6}$ = Masa molar de glucosa

$$M_{C_2H_5OH} = \frac{N_{C_2H_5OH} * MM_{C_2H_5OH}}{N_{C_6H_{12}O_6} * MM_{C_6H_{12}O_6}} * M_{C_6H_{12}O_6} \quad \text{ec2.13}$$

Tercera condición: Para una conversión del 85% de glucosa en etanol.

$$M_{C_2H_5OH 85\%} = \frac{\text{ConvdeGluc en Etanol} * M_{C_2H_5OH}}{100\%} \quad \text{ec2.14}$$

$$M_{C_6H_{12}O_6} 30L = \frac{M_{C_6H_{12}O_6} * M_{C_2H_5OH}}{M_{C_2H_5OH}}$$

ec2.15

➤ Maceración

Cuarta consideración 80% de conversión en el proceso enzimático . de glucosa
Para un 100%de conversión 1g de almidón se transforma en 1g entonces para un 80% la glucosa es 0,80g.

$$m(\text{ almidón}) = \frac{M(\text{ almidon}) * M_{C_6H_{12}O_6}(30L)}{M_{C_6H_{12}O_6}(80\%conv)} \quad \text{ec2.16}$$

Quinta consideración: Para un kg de boniato 0,9kg de almidon.

$$\text{Masa de boniato } 30L = \frac{m \text{ 1kg de boniato} * M \text{ almidón para } 30L}{m(\text{ almidon}) \text{ en } 1 \text{ kg boniato}} \quad \text{ec2.17}$$

Según (Steincraus, 1997) se conoce que la cantidad de agua necesaria para el lavado es de 4L de agua por cada kg de boniato, el 1% de la masa inicial de boniato lo constituyen las materias inertes y que la masa de boniato lavada sale con un 2% de humedad.

$$V \text{ agua para } 16 \text{ kg de boniato} = \frac{M \text{ 1kg}(\text{ boniato}) * V \text{ 3L}(\text{ agua})}{m \text{ 1kg}(\text{ boniato})} \quad \text{ec2.18}$$

$$M \text{ agua lavado} = V \text{ agua} * \rho \text{ agua}$$

$$\text{Masa de material inerte} = 0,01 * \text{Masa boniato inicial}$$

M boniato lavado = M boniato inicial - M agua en el boniato + M residual

Para 1kg de boniato se añade a la molienda 3.5kg de agua.

M agua molienda = M boniato húmedo * M agua

Por bibliografía el residuo que se obtiene en el proceso de molienda de boniato para la extracción del almidón constituye un 20 y un 30% del peso inicial del boniato tomándose un 25% y sale con 5 a un 6% de humedad.

Masa residuo = 0,25 * M boniato húmedo

M agua pulpa de boniato = M agua inicial - M agua residuo

M pulpa boniato = M boniato sin residuo + M agua pulpa

M boniato sin residuo = M pulpa boniato - M agua pulpa

➤ Balance de energía

Considerando que no hay pérdidas de calor al medio ambiente ya que el equipo está aislado correctamente y se encuentra en buen estado técnico.

Q cedido licor = Q absorbido agua

$M C_p \Delta t = M C_p \Delta t \text{ agua}$ ec2.19

$M L C_p L (T_2 - T_1) = M A C_{pa} (T_2 - T_1) \text{ agua}$ ec2.20

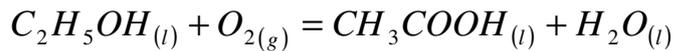
$$M a = \frac{M L C_p L (T_2 - T_1)}{C_{pa} (T_2 - T_1) a}$$

ec2. 21

Según la Ley de acción de masas

$$\frac{m_{e \text{ tanol}}}{m_{\text{ácidoacético}}} = \frac{n_{e \text{ tanol}} * M M_{e \text{ tanol}}}{n_{\text{ácidoacético}} * M M_{\text{ácidoacético}}} \quad \text{ec2.22}$$

Por estequiometria se conoce que:

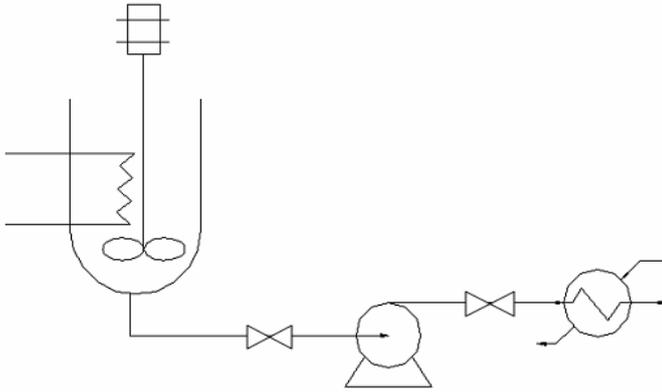


2.3.2- Propuesta de diseño de equipos para obtener vinagre.

Se emplearán equipos que están en la planta piloto y que tienen capacidad de 30 litros por ejemplo:

- Molino de Martillo: Según plantea **(Alarcon, 1993)** éstos son los más utilizados en los procesos de extracción del almidón. El equipo tiene acoplada una criba con una granulometría de 40 µm. Los molinos son utilizados con el objetivo de separar los gránulos de almidón.
- Tanque de maceración: Tiene una capacidad de 30 L. Este consta con un sistema de agitación y una resistencia que son los encargados de homogeneizar la muestra y lograr que esta adquiera la temperatura deseada.
- Torre de destilación: Tiene como objetivo destilar el producto que viene del macerador y obtener un licor fermentado con el mayor porcentaje de etanol posible. Ésta se encuentra acoplada a un condensador.
- Bandejas perforadas: tienen una capacidad de cuatro litros. En ellas es donde ocurre la fermentación acética y por tanto la formación de nuestro producto.

- **Selección de la bomba.**



Se desea instalar una bomba capaz de mover el fluido desde el tanque agitado hasta las bandejas de fermentación por lo que primero se calcula la carga del sistema para posteriormente poder seleccionar la bomba adecuada para la planta.

Como se mencionó anteriormente a continuación se calcula la carga del sistema.

Para esto utilizaremos la ecuación de Bernoulli:

- En la planta piloto se dispone de un tipo de tubería de diámetro 1/8 de pulgadas la cual se instala en todo el proceso o sea antes y después de la bomba .
- Z_1 se encuentra a flote con el líquido en el tanque agitado y Z_2 se encuentra en el borde del tubo de salida del intercambiador 2 ambos a presión atmosférica por lo que se simplifican las presiones.
- El punto 1 (Z_1) tiene una altura de 0.5m y el punto 2 se encuentra al nivel de todo el proceso por lo que Z_2 es 0.
- Se dispone de tuberías 1/8 pulgadas.
- La $v_1 = 0$ por efecto piscina ya que el diametro del tanque es muy grande.

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{\alpha_1 (v_1)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{\alpha_2 (v_2)^2}{2g} + \sum Hf \quad \text{ec2.23}$$

Se calcula la velocidad que se calcula con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{q}{A} = \frac{4q}{\pi d^2} \quad \text{ec2.24}$$

Luego se tiene que conocer el valor del número de Reynolds para saber cómo es el régimen, y con este determinar el factor de fricción. Se calcula el número de Reynolds.

$$\text{Re} = \frac{vd\rho}{\mu} \quad \text{ec2.25}$$

El factor de fricción depende del resultado del número de Reynolds y (ϵ/d).

$\epsilon = 0.2$ tubo de acero sin costura (Rosabal,2006).

ϵ – rugosidad en tubos.

Las pérdidas por fricción se calculan por la siguiente ecuación:

$$\Sigma H_f = H_{f_{\text{tuberías}}} + H_{f_{\text{accesorios}}} + H_{f_{\text{enfriador}}}$$

ec – 2.26

Para este cálculo se debe saber que en el sistema existen:

4 codos de 90° ($K = 0,75$) (Rosabal,2006).

1 válvula de compuerta abierta ($K = 0,17$) (Rosabal, 2006).

Teniendo todo lo necesario para calcular las pérdidas se pasará a calcular por separado cada una de ellas:

Pérdidas en tuberías.

$$H_{f_{\text{tubería}}} = f \frac{Lv^2}{2gd} \quad \text{ec2.27}$$

Pérdidas en los accesorios.

$$H_{f_{\text{accesorios}}} = \frac{\Sigma K v^2}{2g} \quad \text{ec2.28}$$

Pérdidas en el enfriador.

$$H_{f_{\text{enfriador}}} = \frac{\Delta P}{\rho g} \quad \text{ec2.29}$$

ΔP En el enfriador se determina una vez diseñado el mismo.

∴ Despejando en la ecuación de Bernoulli nos queda:

$$H_b = \sum H_f - Z_1 + \frac{\alpha_2(V_2)^2}{2g} \quad \text{ec 2.30}$$

Con los valores de la carga y del flujo se selecciona la bomba en la gráfica del catálogo de bombas.

➤ **Diseño del sistema de enfriamiento.**

La etapa de fermentación alcohólica requiere que el producto que va a ser fermentado posea determinadas condiciones iniciales para que esta sea efectiva, una de los requerimientos es que dicho producto posea una temperatura entre 25 y 30⁰c . El producto que sale del macerador y pasa a la tolva de almacenamiento posee una temperatura de 90⁰C por lo que es necesario enfriarlo para poder fermentarlo.

Teniendo en cuenta esta condición se puede trabajar con varios intercambiadores entre los que se encuentran los intercambiadores de placa PHE y los intercambiadores de tubo y coraza. Para seleccionar el más adecuado se procede a realizar una comparación entre ambos.

Los intercambiadores de placas PHE son fácilmente desarmables en todos sus componentes para limpieza, inspección y mantenimiento. Su área de transferencia de calor puede ser cambiada o reajustada debido a la flexibilidad que existe en cuanto a número de placas, tipos de placas y arreglo de flujo. La alta turbulencia lograda en los platos reduce las incrustaciones entre un 10 – 25% de las incrustaciones en un intercambiador de coraza y tubos. El área de transferencia de calor de estos es de un medio a un tercio del área de un intercambiador de coraza y tubos para el mismo servicio, reduciendo así los costos y el volumen global del equipo. Además, el peso bruto de un

intercambiador de placas es un sexto del peso de un intercambiador de coraza y tubos. La fuga de un fluido a otro no puede tener lugar a menos que las placas se perforen. Como las juntas son entre placas, cualquier fuga a través de las juntas será hacia afuera del equipo. No existen lugares fríos ni calientes en el intercambiador que puedan provocar el deterioro de los fluidos sensibles al calor. El alto grado en que se alcanza el arreglo en contracorriente puro, permite una aproximación de temperaturas de hasta 1°C (2°F). La alta eficiencia térmica (hasta cerca de 93%) facilita una recuperación de calor económica. Las vibraciones provocadas por el flujo de fluidos, ruido, alto estrés térmico provocados en los intercambiadores de coraza y tubos no existen en los intercambiadores de placas. Son más apropiados para los servicios líquido – líquido donde se requiera de un enfriamiento o calentamiento rápido y uniforme. Las velocidades de escurrimiento promedio en los intercambiadores de placas (PHE) son menores que en los de tubos y coraza (THE). Ya que en ellos se encuentra un rango de velocidades entre 0.5 a 0.8 m /s contra los 1.2 a 2 m/s que se presentan en los intercambiadores de casco y tubos. Poseen coeficientes totales de transferencia de calor muy superiores a los de casco y tubos.

Todos estos equipos cuentan además con la aprobación de las más estrictas normas y códigos internacionales de construcción vigentes tales como: ASME, Sec.VIII, AD-Merkblätter, BS 5500 Bureau Veritas, TÜV, UL, etc.

Este conjunto de ventajas nos permite llegar a la conclusión de que el intercambiador apropiado es el de placas PHE.

Par poder seleccionar el modelo del intercambiador es necesario realizar el cálculo de varios parámetros. Dichos cálculos se pueden realizar siguiendo el método de Raju & Chand.

2.4- Cálculos Económicos.

Este cálculo consiste en determinar el costo de las materias primas a emplear en la obtención de 1 L de vinagre y compararlo con su precio (Información

Económica, 2009). Que no es más que el cálculo del Beneficio Bruto para cada tipo de vinagre.

$$B.B=VP-\Sigma CMP \quad \text{ec----2.30}$$

$$CMP= \text{pup} (MP)*m(MP) \quad \text{ec----2.31}$$

$$VP= \text{pup}*V(\text{ml}) \quad \text{ec - 2.32}$$

Vp = Valor del vinagre obtenido no considerándose la venta de los subproductos.

CMP= Costo de las materias primas consideradas en la producción.

PUP= Precio unitario de la materia prima.

Capítulo 3

Análisis de resultados

En este capítulo son analizados los resultados del estudio realizado para producir vinagre a partir de almidón de boniato y residuos de la industria cervecera, a escala de laboratorio y su propuesta de producción a escala de planta piloto.

En la primera parte de este capítulo se analizará los resultados del proceso de extracción y maceración del almidón. Concluida esta se procederá a analizar los datos obtenidos de los análisis realizados durante la fermentación. Luego se debatirán los resultados del proceso de elaboración de vinagre a escala de laboratorio, se elabora un esquema para la obtención de este producto a escala de planta piloto y se realiza el diseño de equipos necesarios. Finalmente se

hace una valoración de los costos incurridos en la producción de un litro de vinagre.

3.1- Análisis de los resultados del proceso de extracción del almidón a escala de laboratorio.

Se procesaron 3,5 kg de boniato de los cuales se obtuvo 1,75 kg de almidón, lo cual se corresponde con el contenido de almidón, reportado por la literatura, ver epígrafe 1.3.

De la caracterización realizada al almidón se obtuvo que tiene un porcentaje de cenizas del 19% y una humedad relativa del 2 % valores aceptables según (Mussatto, 2007)

3.1.1- Degradación enzimática del almidón

El contenido de azúcar en una muestra puede ser medido como la cantidad de azúcares solubles disueltos mediante la lectura refractométrica de los grados Brix. En el anexo 14 se muestra cómo a medida que se degrada el almidón aumenta el contenido de azúcar.

Todo proyecto que se lleve a cabo debe evaluar diferentes propuestas con el objetivo de seleccionar la variante más económica. Los resultados del proceso de maceración teniendo en cuenta la cantidad de enzimas empleadas y los gastos de energía eléctrica incurridos, se registran en la siguiente tabla 3,1. Los valores de los precios son 0,3\$/kW.h y 5\$/lb, estos datos fueron reportados por el Instituto de Investigación de los Alimentos, Ciudad Habana.

Tabla3.1: Resultados del proceso de Maceración.

Experimentos	Contenido de enzimas (ml)	Tiempo de maceración (min)	Costo de la energía \$	Costo de las enzimas \$	°Brix
1	0.5	39	0.392	2,5	10,3
2	1.0	33	0.331	5	10,4

3	1.5	19	0.191	7,5	10,5
---	-----	----	-------	-----	------

De esta tabla se observa que la variante más aceptable es el experimento 1, ya que los precios son menores y se obtienen valores muy semejantes de los °Brix. Estos resultados son los esperados ya que se parte de la misma masa inicial de almidón y las condiciones en que se realizaron los experimentos fueron las mismas.

3.1.2- Análisis y discusión del proceso de fermentación alcohólica

Durante el proceso de fermentación se muestrearon distintos parámetros arrojando los siguientes resultados.

➤ **Pesada de las muestras**

Los resultados de esta medición se muestran en el Anexo 4 . Como se observa los valores de las pesadas disminuyen, ya que es menor el volumen de CO₂ que se va formando en el proceso fermentación a medida que este transcurre. Permaneciendo casi constante a los 7 días el valor de la pesada, lo cual indica la culminación de este proceso.

➤ **Medición de pH**

Los valores de pH obtenidos se registran en el Anexo 7 y los valores oscilan entre 3-5, siendo los valores óptimos 4-5. Los valores 3 indican la contaminación del fermento por compuestos ácidos, debido a una incorrecta manipulación.

Medición de los °Brix

La determinación de los °Brix indica el contenido de azúcar que queda sin transformarse durante el período de fermentación. La data obtenida se recoge en el Anexo.5 Como se observa los °Brix durante el proceso de fermentación disminuyen comportamiento esperado, ya que los azúcares se deben convertir en etanol con la acción de las levaduras, en el transcurso del tiempo.

➤ **Medición de los azúcares reductores totales**

Los resultados de las mediciones realizadas se muestra en el Anexo14. Los resultados demostraron que a medida que avanza el proceso, este disminuye paulatinamente, lo que demuestra la transformación de estos azúcares en etanol.

➤ **Medición de las unidades formadoras de colonias (UFC)**

Para realizar el conteo de las UFC se tomó como referencia lo planteado por (Heinrich, 2003) que en una absorbancia medida a 600 nm, se obtienen $1,66 \times 10^7$ UFC para un mL de levadura *S. Serevisiae*.

Los datos obtenidos se recogen en el Anexo 10. Al comienzo del proceso los valores aumentan ya que los microorganismos encuentran en el medio los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, luego van disminuyendo por la disminución de estos.

Se obtuvo como resultados un porcentaje de alcohol de las muestras de 6,2-6,8y7.

3.1.3- Análisis del proceso de obtención de vinagre.

Los resultados de las corridas experimentales se muestran en la siguiente tabla3.2

Bloque	Afrecho trub, %	Etanol %	Acidez %
1	7,5	92,5	4,6
2	12,5	87,5	4,3
3	10	90	4,4
4	5	95	5
5	15	85	4
6	15	85	4,1
7	5	95	4,9

Los valores de acidez obtenidos están dentro del rango de 3-5 según lo reportado por (Tejada, 2009). Los resultados obtenidos del diseño de experimento realizado se ilustran en el Anexo 17, del cual se obtiene que el modelo que ajusta mejor los datos obtenidos es el lineal con un el p-valor para

este modelo inferior a 0.01, por lo que hay una relación estadísticamente significativa entre Acidez y los componentes al 99% de nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado obtenido indica que el modelo así ajustado explica el 96,6559% de la variabilidad en Acidez. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es inferior a 0.05, hay indicios de una posible correlación de serie.

Al vinagre obtenido se le realizaron distintas pruebas de calidad:

Análisis de pH.

El pH final de las muestras analizadas fluctúa entre 2,8 y 3.5, ver Anexo (8) los cuales indican la formación de ácido acético.

Como se observa en el gráfico 3.3, el pH va disminuyendo a medida que el vinagre se va formando, esto se debe a que el etanol se va convirtiendo en ácido acético.

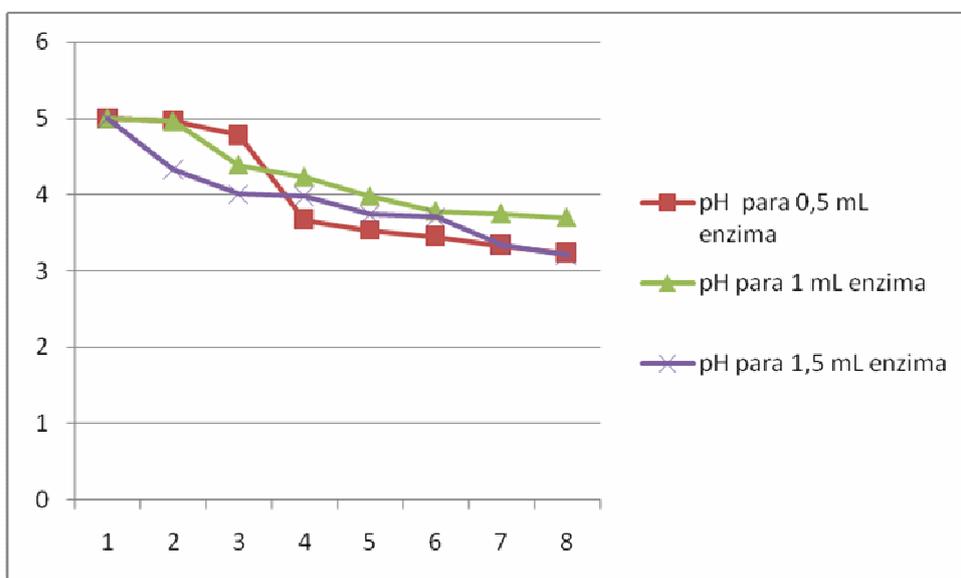


Figura 3.1 – Comportamiento del pH en el tiempo.

➤ **Determinación del contenido de etanol .**

En la figura 3.2 se observa que el contenido de etanol en todas las muestras disminuye, se aprecia una disminución a lo largo del proceso fermentativo con diferencias por bandeja, atribuyéndose esto último principalmente a la diferencia en la materia prima utilizada en las mismas. Al disminuir el contenido de etanol por bandeja indica que hay actividad bacteriana y formación de ácido acético. Las bandejas 3 (0.3), 5 (0.2), 6 (0.1), 7 (0.2) fueron la que tuvieron mayor consumo de etanol, mientras que las bandejas 1 (0.6), 2 (0.8), 4 (0.5) consumieron menos etanol al no lograr una buena formación del vinagre.



Figura 3.2 – Comportamiento del contenido de etanol en el tiempo

➤ **Determinación de acidez.**

Los datos de la acidez total de las nueve muestras se reflejan en la figura 3.3, los mismos presentan un comportamiento creciente, con valores máximos que oscilan entre 3.9 - 4.8 g/100ml, expresados como ácido acético. Las muestras 3 (4.6), 5 (4.5), 6 (4.8), 7 (4.7) contienen ácido acético según lo normado (4.5 – 10 g/100ml), mientras que las muestras 1 (4), 2 (3.9), 4 (4.1) se quedan por debajo de los valores establecidos.

Las diferencias significativas encontradas en los dos casos anteriores, pH y acidez, se atribuyen principalmente a la composición de las mezclas utilizadas en los siete tratamientos, con respecto a las cantidades de afrecho y trub.

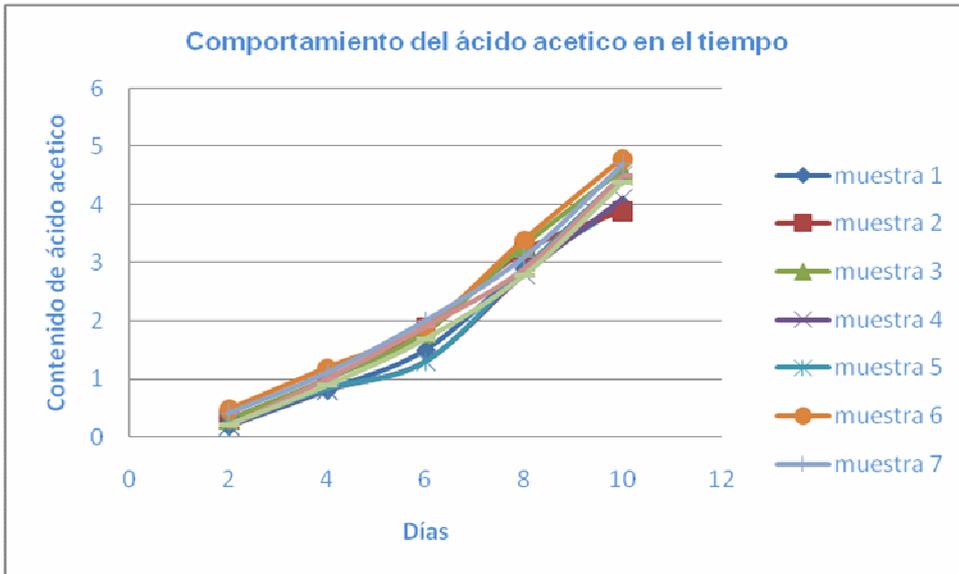


Figura 3.3 – Comportamiento del ácido acético.

Análisis de los resultados de la densidad relativa, extracto seco, cenizas y sólidos solubles del vinagre obtenido.

Se observa que las muestras 3, 5, 6, 7 presentan valores que se encuentran dentro de o los normados y las muestras 1, 2, 4 los valores son inferiores a los establecidos. Esto se debe a que no presentan el contenido necesario de extracto de afrecho y trub.

➤ **Tabla 3.1–Especificaciones del vinagre según (NMX-F-122-1968).**

Especificaciones	Mínima	Máxima
Densidad relativa a 15°C	1.014	1.024
Extracto seco %	1.7	4.51
Cenizas %	0.24	0.46

➤ **Apariencia.**

Las muestras 3, 5, 6, 7 tienen un aspecto semitransparente, libre de turbidez y partículas en suspensión. Presentan coloración carmelita oscura debido a la presencia de la cebada malteada en el afrecho.

➤ **Olor.**

Todas las muestras obtenidas presentan el olor típico del vinagre, acentuándose en las muestras 3, 5, 6, 7

➤ **Sabor**

Las muestras analizadas presentan el sabor característico del vinagre, siendo más agudo en las muestras 3, 5, 6, 7 las cuales presentan mayor contenido de ácido acético.

Comparación del vinagre obtenido con el producido industrialmente en Cuba.

Uno de los vinagres que se produce en Cuba a escala industrial se comercializa con el nombre "El Pinche". En la tabla 3.2 se comparan las características del mejor vinagre obtenido (muestra 6) con el comercializado en Cuba.

Tabla 3.2 – Resultados de las mediciones realizada al vinagre "El Pinche"

Vinagres	Mejor vinagre	El Pinche
Determinación de ácido acético en vinagre	4.8 g/100mL	5 g/100mL
Densidad relativa a 15°C	1.020	1.018
pH	2.7	2.6
Color	Pardusco, libre de turbidez	Semitransparente
Olor	Característico	Característico
Sabor	Característico	Característico

Se puede observar que el mejor vinagre obtenido presenta características muy similares a las de "El Pinche" por lo que se puede decir que nuestro vinagre tiene calidad.

3.3 – Análisis de los resultados del diseño y selección de los equipos del esquema propuesto.

3.3.1 Balance de masa

El balance de masa realizado a la planta propuesta trajo como resultado:

$$2.=,F-3.=,F-4.=88.78 ,kg/h.$$

$$6.=,F-7.=,F-8.=84.93,kg/h.$$

$$5.=4.54 ,kg/h. ,-1.=0.6$$

$$X-2.=0.36$$

$$X-3.=0.05$$

Después del filtro

$$X-1.=0.65$$

$$X-2.=0.37$$

X-3.=1

El extracto de afrecho sale del enfriador 2 con un flujo de 84.93 kg/h y con una composición de 0.65 de extracto de afrecho y 0.37 de agua

Balance de energía

El balance de energía realizado a la planta propuesta trajo como resultado:

,H-2.=,H-3.=,H-4.=,H-5.=,H-6.=-279600,Kj/Kgmole.

,H-7.=-292200,Kj/Kgmole.

,H-8.=-294500,Kj/Kgmole.

,-enfriador1.=-4400,kJ/kmol.

,Q-enfriador2.=-2400,Kj/kmol.

,-tanque.=5200,kJ/kmol. El calor es suministrado mediante una resistencia

eléctrica

,-agua.=0.34,m³/h.

El calor necesario para calentar el extracto de afrecho a 95 °C en el tanque es de 5200 kJ/Kmol, el calor necesario para enfriarlo hasta 60 °C en el enfriador 1 es de -4400 kJ/Kmol y para enfriarlo a 30 °C en el enfriador es de -2400 kJ/Kmol. El flujo de agua que utilizan ambos intercambiadores para enfriar es de 0.34 m³/h

Análisis del balance de masa

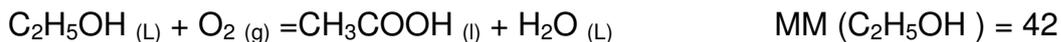
Se parte de un balance de masa para conocer la cantidad de vinagre para obtener 30 litros:

- 1 litro de vinagre → 5% ácido acético (según NC/ iso 8340. Determinación de la acidez.
Entonces en 30 litros de vinagre hay un volumen de 1500 ml de ácido acético.

$$\mu(\text{Hac}) = 1.0041 \text{ g/cm}^3 \qquad m(\text{Hac}) = 1500 \text{ cm}^3 * 1.0041 \text{ g/cm}^3$$

Entonces m (ácido acético) para 30 litros es de 1.51 Kg.

Cantidad de etanol para producir esa cantidad de ácido acético por estequiometría.



$$\text{g/mol} \frac{m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{m(\text{CH}_3\text{COOH})} = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot \text{MM}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot \text{MM}(\text{CH}_3\text{COOH})}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = \frac{n(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \cdot \text{MM}(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})}{n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot \text{MM}(\text{CH}_3\text{COOH})} \cdot m(\text{CH}_3\text{COOH})$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 1.53 \text{ g}$$

Cantidad de etanol para producir una masa de ácido acético de 1500g para 30 litros de vinagre.

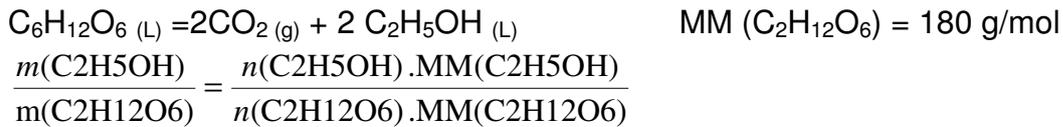
$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2204.41 \text{ g} \quad \text{Para una conversión de un 100 \% en ácido acético}$$

A escala de planta piloto según literatura el proceso de conversión de etanol en ácido acético oscila entre un 90 y 95 %.

Para un 95 % de conversión

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 2189.19 \text{ g}$$

Proceso de fermentación por estequiometría.



$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.51 \text{ g}$$

Para un 95 % de conversión de glucosa en etanol

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.48 \text{ g}$$

1 g de glucosa \rightarrow 0.46 g de $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Masa de glucosa = 4460.81 g = 4.6Kg

3.3.2 - Selección de la bomba

En la planta piloto las tuberías existentes son de 1/8 plg. Según Rosabal, (1988) el diámetro tabulado es 6.83mm.

$$v_2 = 0.7 \text{ m/s}$$

Resultados del cálculo del número de Reynolds.

$Re = 12856.91$ *Turbulento*

Este resultado indica que estamos en presencia de régimen turbulento.

Resultado del factor de fricción.

$$f = 0.056$$

α = Factor de corrección de energía cinética.

$$\alpha=1$$

Se escoge tubo de acero sin costura y tubos soldados no corroídos.

Resultados del cálculo de pérdidas en tuberías.

La longitud total de las tuberías es 3.7m.

$$Hf_{tubería} = 0.74m$$

$$Hf_{acesorios} = 0,093m$$

$$Hf_{enfriador} = 0,1m$$

Pérdidas en accesorios.

$$\sum Hf_{Total} = 0,8493m$$

$$Hb = 19 m$$

Tabla 3.4 – Modelo de bomba seleccionado

Bomba	Larox Flowsys
Serie	LPP-T25
Caudal Máximo	Hasta 1 m ³ /h
Hb (carga)	Hasta 22m
Temperatura del líquido	0 – 70°C
Presión Máxima	6 atm

Buscado en (Catálogo de Bombas Peristálticas; 2009).

Al no encontrar datos sobre el NPSH ni las revoluciones por minutos de la bomba en el catalogo no se pudo determinar si la bomba cavita o no con el flujo y la carga del sistema calculados previamente.

3.5 - Diseño del Intercambiador de placas

Para el diseño de este enfriador se tomó como equipo un intercambiador de placa ya que el flujo de licor a enfriar es muy pequeño y este garantiza una buena transferencia de calor. Se tuvieron que asumir una serie de parámetros para poder diseñar este equipo.

Parámetros y cálculos para el diseño.

Pérdidas de calor despreciables.

Medio de enfriamiento (agua).

La separación entre las placas es despreciable frente al ancho para el cálculo del D_e (diámetro equivalente).

Separación entre las placas (b) es de 5mm.

Espesor de las placas es de 1mm.

Ancho de las placas (W) es de 165mm.

Largo de las placas (L) es 372 mm.

Se asume flujos a contracorriente.

Las juntas que se eligieron son de Gomas Nitrilicas de temp. hasta 135 °C.

Datos para el diseño:

La temperatura de entrada del afrecho es de 90 °C.

La temperatura de salida del afrecho es de 30 °C.

La temperatura de entrada del agua de 25 °C.

La temperatura de salida del agua es de 50 °C.

El Cp. del agua a la temperatura media es de 228978 j/kmol°C.

La viscosidad del agua a la temperatura media (μm) es de 0.74 mPa.s.

La viscosidad del afrecho a la temperatura media (μm) es de 0.38 mPa.s.

Pr del agua a la temp. media es de 4.67.

Pr del afrecho a la temp. media es de 5.29.

Conductividad térmica del agua a la temp. media. (K) es de 0.6246 W/m.K.

Conductividad térmica del afrecho a la temp. media. (K) es de 0.6402 W/m.K.

Gravedad específica (ge) de una solución azucarada es de 1.06968.

Densidad (ρ) del agua a la temperatura media es de 992.9 kg/m³.

El flujo de afrecho a enfriar es de 0.09 m³/h.

Asumiendo todos estos parámetros, conociendo los otros y siguiendo la metodología de cálculo que da Raju & Chand (De ori, 2004) se arrojaron los resultados siguientes:

$$\Delta T_1 = 70 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = 10 \text{ °C}$$

$$\text{LMTD} = 14.65 \text{ °C}$$

$$C_{p_{\text{licor}}} 77.5 \text{ °C} = 156955.28 \text{ j/kmol °C.}$$

$$\Delta T_{\text{licor}} = 35 \text{ °C}$$

$$\Delta T_{\text{Agua}} = 25 \text{ °C}$$

$$q = -4300 \text{ kJ/h}$$

$$\rho_{\text{licor}} 77.5^{\circ}\text{C} = 980.9 \text{ kg/m}^3$$

$$G_{\text{licor}} = 89.82 \text{ kg/h}$$

$$R = 0.69$$

$$S = 0.56$$

$$F_t = 0.79$$

$$Re_{\text{licor}} = 710.5 \text{ Turbulento}$$

$$Re_{\text{Agua}} = 1378.38 \text{ Turbulento}$$

$$H_{\text{licor}} = 7520.43 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$h_{\text{Agua}} = 10736.35 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$A_t = 0.6 \text{ m}^2$$

$$N = 15 \text{ Placas.}$$

$$\Delta P_{\text{licor}} = 1428.4 \text{ kg/m}^2$$

$$\Delta P_{\text{Agua}} = 12632.15 \text{ kg/m}^2$$

$$NTU_{\text{licor}} = 2.39$$

$$NTU_{\text{Agua}} = 1.71$$

$$Je_{\text{licor}} = 5285.42 \text{ kg/m}^2$$

$$Je_{\text{Agua}} = 7387.23 \text{ kg/m}^2$$

El intercambiador diseñado tiene un área de transferencia de calor de 0.1 m^2 , un número de placas de 15 placas, una caída de presión por la parte del fluido frío que es el agua de 12532.15 kg/m^2 , y por parte del fluido caliente que es el afrecho de 1528.4 kg/m^2 .

Se eligen 1 intercambiadores de placas Comeval Tipo S1 - 9TLA.
Temperatura de diseño hasta 130°C

3.8 - Cálculo del beneficio bruto.

Para el cálculo del Beneficio Bruto se tuvo en cuenta solo el costo de las materias primas utilizadas para la producción del vinagre obtenido de la muestra 6 . Se utilizó la metodología ya referida en el Capítulo II.

Tabla 3.5 - Costo de las materias primas.

Costo del vinagre industrial (1L)			
Materia prima	PUP	M	CMP
boniato	0.8 \$/lb	0.35 lb	0.05\$
Agua	$3,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$	0.114 L	$8.11 \cdot 10^{-3} \text{ c}$
Levadura	1.25 \$/paquete 11g	1g	1.13
Bacterias acéticas	0.46 \$/ml	0.7 L	0.35 \$
Alfa amilasa	14,54 \$/kg	0.001 kg	$2.55 \cdot 10^{-5}$
Papaína	16,36\$/kg		

Tabla 3.6 – Costo del vinagre obtenido

Costo del vinagre obtenido (1L)			
Materia Prima	pup	M	CMP
Agua	63 c/m^3	0.4 L	$2.2 \cdot 10^{-4} \text{ c}$
Etanol	0.46 \$/L	0.4 L	0.15 \$

Tabla 3.7 – Resultado del BB

	CMP _{total}	Vp _{total}	BB
Vinagre de Cuba	\$ 0.65		
Vinagre propuesto	\$ 0.36	12,7	12.3 \$

Para producir 1L de vinagre en la industria se gasta \$ 0.55 mientras que el costo del vinagre propuesto es de \$ 0.36. El valor de BB es de \$12,3. Se obtuvo como resultado después de haber realizado todos los cálculos que la elaboración del vinagre obtenido es factible económicamente su producción.

Conclusiones

1. Se puede obtener vinagre a partir de residuales de la industria cervecera y etanol obtenido del almidón del boniato, obteniéndose mayor contenido de ácido acético en el vinagre, la mezcla con 5% de Extracto de Afrecho y Trub, y 95% de Etanol.
2. Para la extracción del almidón de boniato se debe emplear un molino de Martillo y cribas con tamaños de orificios de 1 mm y 0,043 mm.
3. Dado los precios de las enzimas y los costos de la energía eléctrica actualmente, la variante aceptable en la realización de la maceración fue el experimento 1, la de menor consumo de enzimas.
4. Como resultado del proceso de fermentación a escala de laboratorio se obtuvieron valores del grado alcohólico entre 6,2-7, aceptables para la realización de la respiración acética.
5. Para el transporte del licor macerado se recomienda una bomba Larox Flowsys y el intercambiador seleccionado es de placas Comeval.

Recomendaciones

- 1.** Tratar de llevar a cabo proceso propuesto de producción de vinagre a escala industrial para su futura implementación.
- 2.** Realizar VAN y TIR a todo el proceso de producción de vinagre con el objetivo de realizar un análisis económico riguroso del mismo, para su aplicación industrial.

Bibliografía

1. ALBORNOZ, C.E. 2008. *Estudio comparativo de la imposición de una cepa inoculada de acetobacter pasteurianus para la elaboración de vinagre de vino por método superficial y sumergido*. C. E : EU.
2. Albornoz, C. E. 2008. *Estudio comparativo de la imposición de una cepa inoculada de acetobacter pasteurianus para la elaboración de vinagre de vino por método superficial y sumergido*, Rovira.
3. Banco Central de Cuba, 2009. Información Económica, Año. 3, No. 250.
4. Blanch, G. P.; Tabera, J.; Sanz, J.; Herrainz, M.; Reglero, G.; Agric. J. 1992. Food Chem, No. 48, p70.
5. CISNEROS. 1995. *Control de plagas agrícolas*. Full Print : Lima.
6. CLARK. 1991. *Compendio de enfermedades de la batata*. CIP : Lima, Perú.
7. COLLINS, W. 1983. *Progress in developing sweet potato cultivars for fuel alcohol production*. CIP in Lima, : Lima.
8. D.A., M. 1990. *Fuel production potencial of several agricultural*. Timber Press, Pórtland, OR.
9. DE ORY I, R. 2004. *Operation in semi-continuous with a closed pilot plant scale acetifier for Vinegar production'*, *Journal of Food Engineering*.
10. DRUAUX. 1997. *'Bacterial bioconversion of primary aliphatic and aromatic alcohols into acids: effects of molecular structure and physico-chemical conditions*. Chemistry Technology Biotechnology : E.U.

11. DU TOIT, W. and LAMBRECHTS, M. 2002. *The enumeration and identification of acetic acid bacteria from South African red wine fermentations*. International Journal of Food Microbiology : E.U.
12. EBNER, H. and SELLMER, S.y.F. 1999. *Vinegar, acetic acid production*. Bioprocess Technology : E.U.
13. EMBUSCADO, M. and MARKS, J. Y BEMILLER. 1994. *Factors affecting the production of cellulose by Acetobacter*. Hydrocolloids : E.U.
14. GARCIA. 1992. *Propagación "in vitro" del boniato (Ipomoea batatas)*. Edición CIDA : Ciudad de La Habana.
15. GREEN, R...P. 1999. *CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK*. McGraw-Hill Companies : Kansas.
16. HERNANDEZ. 1998. *Diagnóstico de enfermedades virales y micoplasmáticas en raíces y tubérculos tropicales*. PNUD-FAO-INIVIT.
17. HUAMAN. 1992. *Botánica sistemática y morfología de la planta de batata o camote*. Boletín de Información Técnica 25 : Lima.
18. INIVIT. 1996. *Metodología para el control integrado del tetuán (Ipomoea batatas (L.) (Lam.))*. Plegable : Santo Domingo.
19. INIVIT. 1996. *Uso de la feromona sexual para controlar el tetuán (Cylas formicarius Fab.) del boniato (Ipomoea batatas (L.) (Lam.))*. Plegable : -- Santo Domingo:.
20. Isla, M. A.; EFLUENTES DE CERVECERÍAS: ¿RESIDUOS O MATERIA PRIMA? II. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO ACÉTICO, [Online], Tesis y monografías, Available from: <<http://www.thesismonografias.com>>.
21. JANSSON, R.a.K.V.R 458 p. 1991. *Sweet potato pest management*.

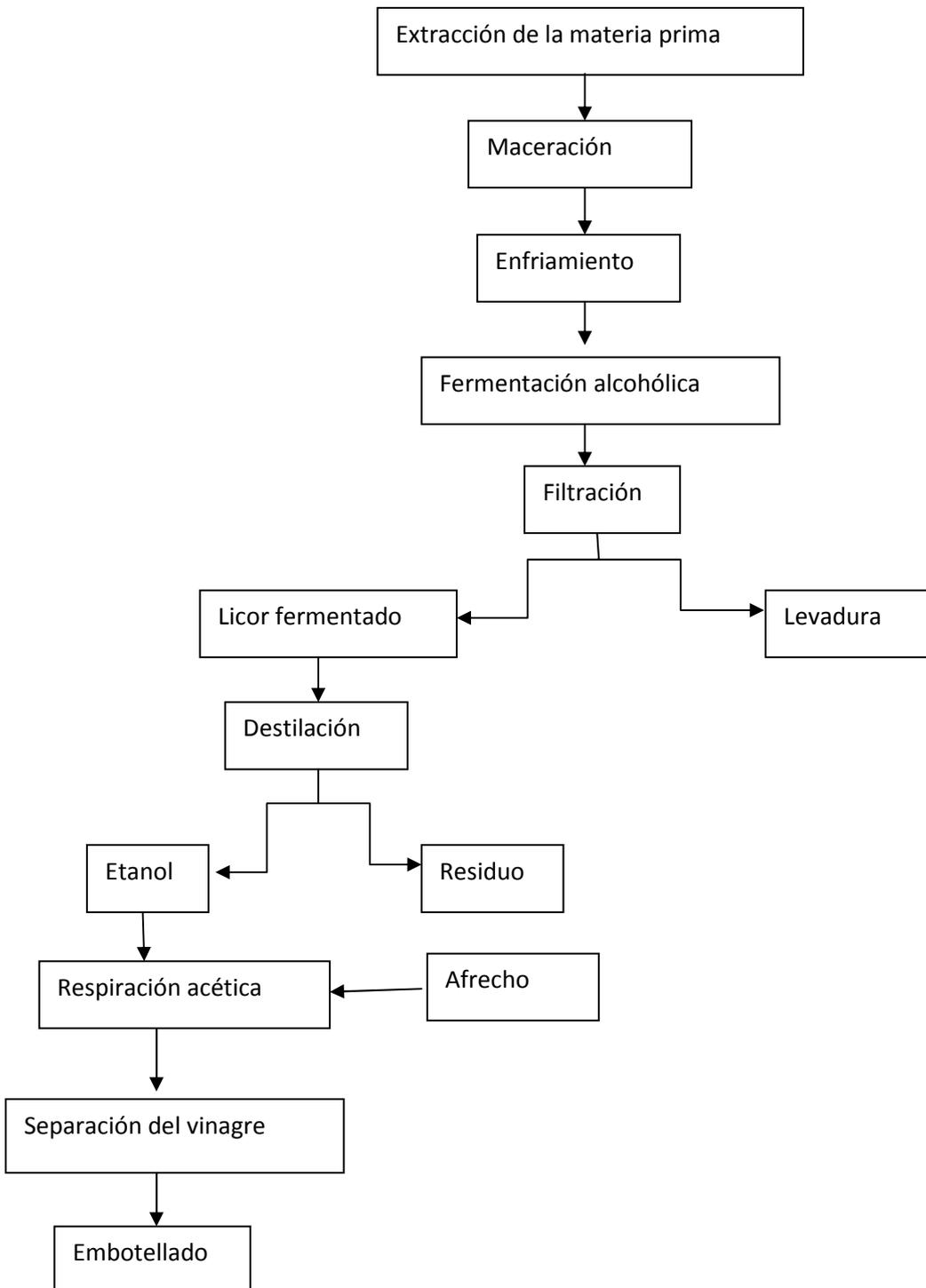
- Oxford: West, view Press : E.U.
22. LOPEZ J. (b., (L.) Lam.). . . , . 53 p. 1996. *Embriogénesis somática en clones de boniato*, UCLV.
 23. LOPEZ, M. and LOPEZ, E.V. 1984. *Raíces y Tubérculos. Capítulo III. Boniato*. Pueblo y Educación : La Habana.
 24. MENDOZA, F.y.J.G.S. 1983. *Principales insectos que atacan a las plantas económicas de Cuba*. Pueblo y Educación : La Habana.
 25. MORALES, A. 1986. *Estudio de varios parámetros genéticos y de estabilidad en clones de Boniato en la república de Cuba*. Disertación de Candidatura : Hungría.
 26. MORALES,A. 1992. *Estudios fisiológicos y su relación con el ataque de C. INIVIT : Santo Domingo*.
 27. MORALES,A. 1995. *Control Integrado del tetuán del boniato*. INIVIT : Santo Domingo.
 28. MORALES,A. 2003. *El cultivo del boniato (Ipomoea batatas), clones, tecnologías y su impacto en la agricultura cubana*. XV FORUM DE CIENCIA Y TECNICA : Cuba.
 29. MORALES,A. 2001. *Materia orgánica como fertilizante en el cultivo del boniato*. Plegable INIVIT : Cuba.
 30. MUSSATTO, S. 2007. *Aproveitamento integral de subproduto da industria cervejeira em procesos químicos e biotecnológicos*. Escuela de ingeniería de Lorena.
 31. PONS, C. and DELLY L. GONZALEZ, O.M., MARIA DEL C. CASTELLON, LILIAN MORALES, A. MORALES, F. PEREZ. 1997. *una*

- herramienta de gestión para la tecnología del Control Integrado del Tetuán del boniato. (Plegable). : Cuba.*
32. PORTIELES J. 2004. *Fertilización con humus y urea en el cultivo del boniato*, UCLV.
33. QUEROL, A. F.; OLMO, M.; BARRIO, E. 2003, 'Adaptative evolution of wine yeast.', *International Journal of Food Microbiology.*, No. 86, pp. 3-10.
34. Rosabal J, M. 2006. *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*, Félix Varela, La Habana, Cuba, Tomo 1.
35. RAJU, K. and CHAND, J. . *“Consider the plate heat exchanger”*, *Heat Transfer, the Chemical.*
36. RODEWALD N.G. 2005. *Elaboración de Gel Celulósico (nata) Producido por Acetobacter xylinum sobre jugo de arándano (Vaccinium corymbosum)*. VALDIVIA : CHILE.
37. S, D. 1982. *Biología, ecología y control de Cylas formicarius var. elegantulus*. Boletín de Reseñas : E.U.
38. SCHMUTTERER, H. 1991. *Plagas de las plantas cultivadas en el Caribe* : República Fe Llaguno.
39. STEINKRAUS. 1997. K., 'Classification of fermented foods: worldwide review of house hold fermentation techniques.', in *Food Control*.
40. TEIXEIRA, C.U. . *Quantificacao da produtividades de alcohol combustible a partir de clones de batata seccionados no estado do Tocantins.*

41. TEJADA, H.A. 2009. *El vinagre y su historia de la cocina Su uso data desde Babilonia.*
42. TEJADA, H.A. 2009. *El vinagre y su historia de la cocina Su uso data desde Babilonia.*
43. TESFAYE, W. and GARCIA - PARRILLA, A., TRONCOSO A., . 2002. *'Wine Vinegar: technology, authenticity and quality evaluation', Food Science and Technology.*
44. V.N. ERIJ, R., M.G. Rudin. 1988. *Química y Tecnología del petróleo y del gas.* Editorial Mir : Moscú. ISBN 5-03-000698-2.
45. VILARÓ, F. and RODRÍGUEZ, G., Vicente, E. 1999. *Producción de boniato con el cultivar INIA-Arapey.*
46. WEISER, H. 1962. *Practical food microbiology.* The Avi Publishing Company : USA.
47. WOOD, B. 1985. *Microbiology of fermented foods'.* Elsevier Applied Science Publisher : London y New York.

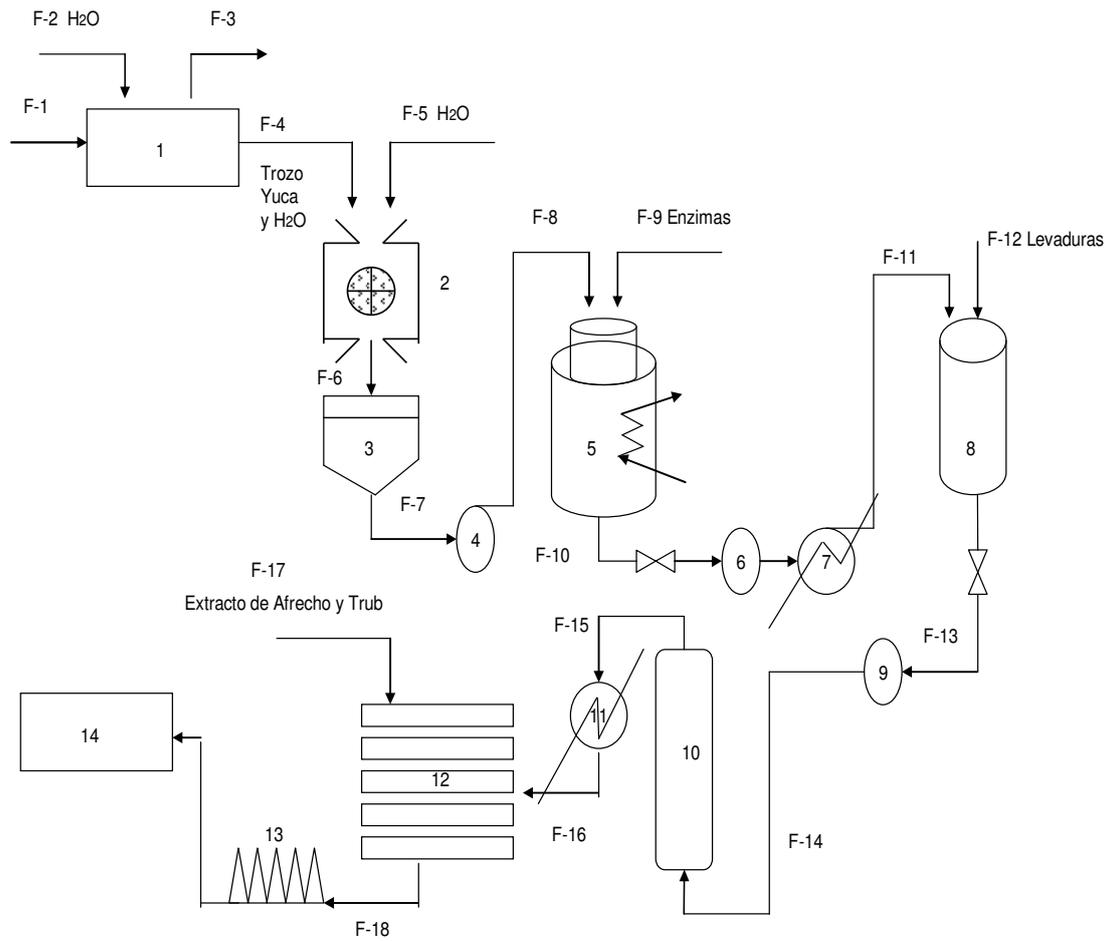
Anexo-1

➤ Esquema tecnológico del proceso



Anexo 2 .

- Esquema de diseño tecnológico de la planta, según metodología del Ulrich.

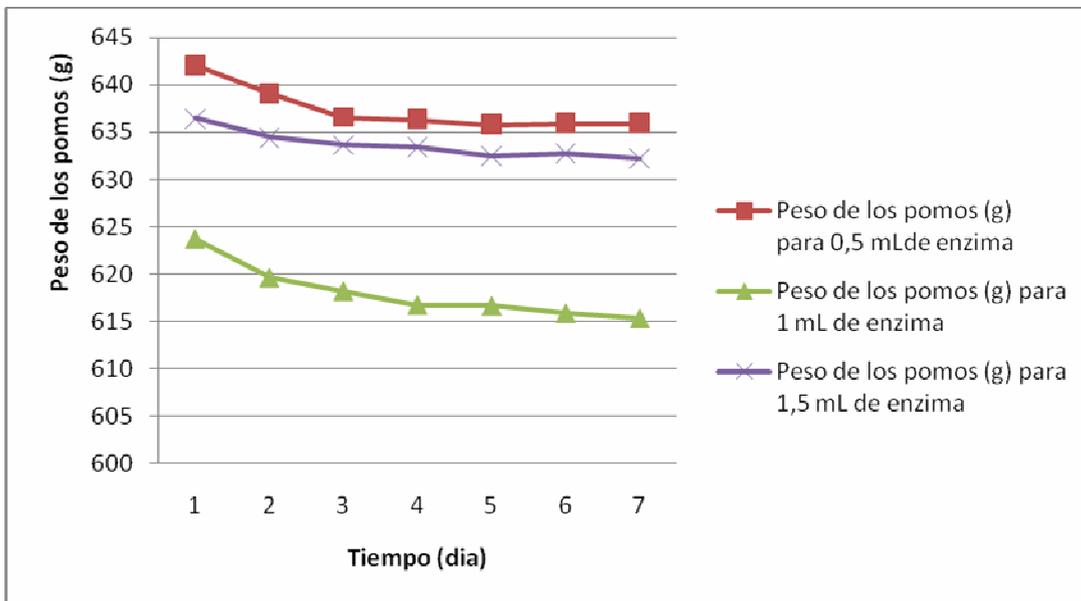


Anexo 3

Comportamiento de Pesadas de Pomos con (0.5ml), (1.0 ml), (1.5 ml).			
Tiempo (Días)	Pesadas de Pomos (g) para (0.5ml) Enzimas	Pesadas de Pomos (g) para (1.0ml) Enzimas	Pesadas de Pomos (g) para (1.5ml) Enzimas
1	642,06	623,78	636,48
2	639,08	619,66	634,45
3	636,55	618,23	633,67
4	636,34	616,76	633,45
5	635,78	616,67	632,56
6	635,94	615,89	632,78
7	635,91	615,34	632,23

Anexo4

- Peso de los pomos para diferentes valores de enzimas

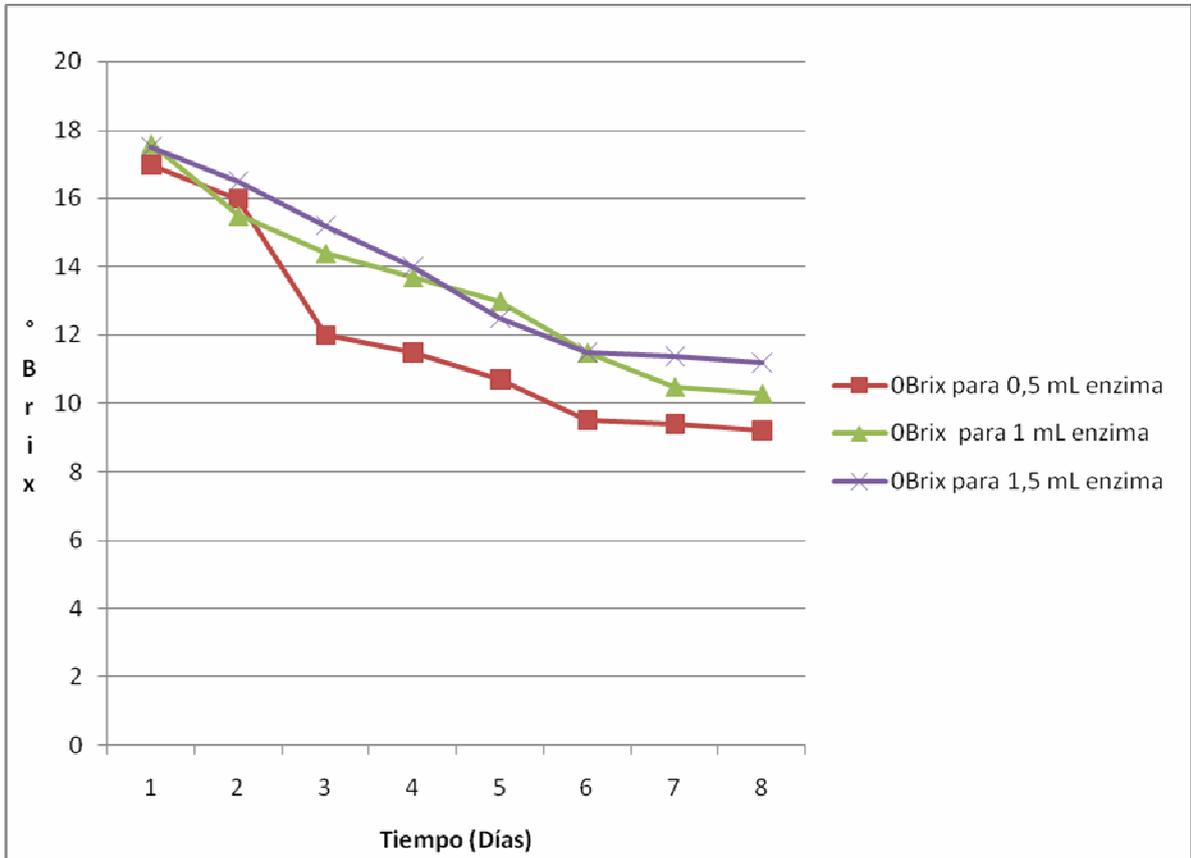


Anexo-5

Comportamiento de los ° Brix durante el proceso de fermentación.			
Tiempo (días)	Experimento 1 ° Brix	Experimento 2 ° Brix	Experimento 3 ° Brix
1	17	17,6	17,5
2	16	15,5	16,5
3	15	14,4	15,
4	14,5	13,7	14
5	12,7	13	12,5
6	11,5	11,5	11,5
7	10,8	10,5	9,9

Anexo6

Comportamiento de los °Brix

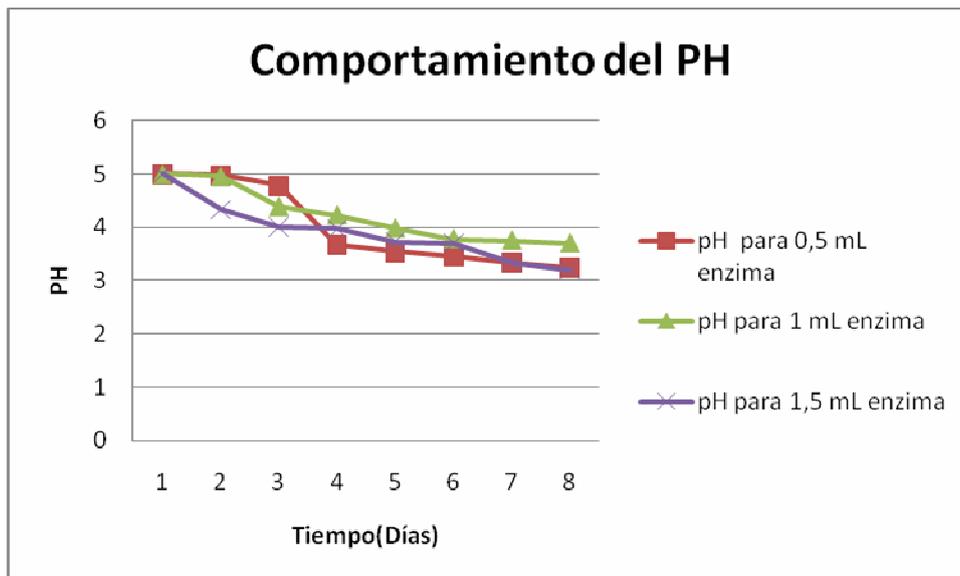


Anexo-7

Comportamiento del Ph			
Tiempo (Días)	pH para (0.5ml) Enzimas	Ph para (1.0ml) Enzimas	pH para (1.5ml) Enzimas
1	5	5	5
2	4,97	4,96	4,33
3	4,78	4,39	4
4	3,67	4,23	3,97
5	3,53	3,98	3,73
6	3,45	3,78	3,7
7	3,33	3,75	3,34

Anexo8

Comportamiento del PH



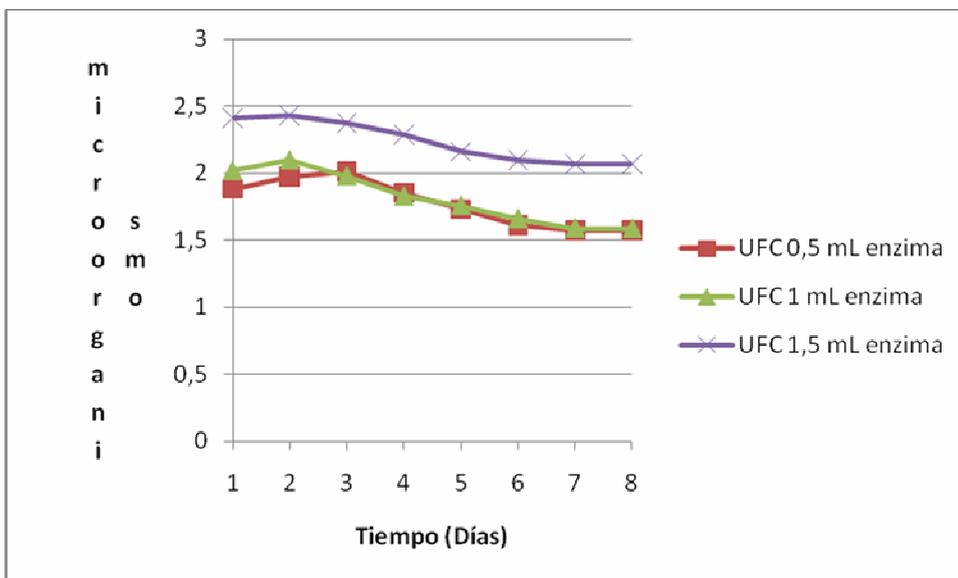
Anexo-9

Unidades Formadoras de Colonias

Unidades Formadoras de Colonias para (0.5ml), (1.0 ml), (1.5ml) Enzimas.			
Tiempo (Días)	UFC para (0.5ml) Enzimas	UFC para (1.0ml) Enzimas	UFC para (1.5ml) Enzimas
1	1.8800	2.1000	2.5500
2	1.7500	2.2300	2.6400
3	2.1100	2.0300	2.5500
4	1.7600	1.7300	2.4600
5	1.5700	1.6500	2.3800
6	1.5900	1.7800	2.0900
7	1.5400	1.4700	2.0600

Anexo10-

Unidades formadoras de colonias



Anexo11- Azúcares Reductores Totales

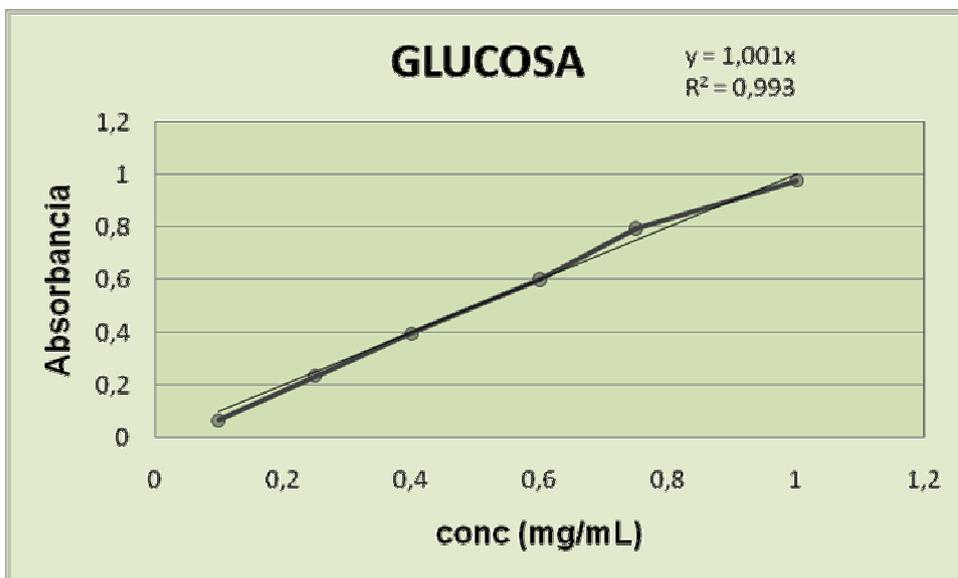
Azúcares Reductores Totales para (0.5 ml), (1.0ml), (1.5ml) de Enzimas.			
Tiempo (Días)	ART(g/l) para (0.5ml) Enzimas	ART(g/l) para (1.0ml) Enzimas	ART (g/l) para (1.5ml) Enzimas
1	56,51015651	50.5100	52.3300
2	64,9017649	64.3500	55.3000
3	39,37728938	45.6400	42.5000
4	22,17782218	28.7800	20.3600
5	8,075258075	16.3800	13.2800
6	12,37096237	14.5600	11.0100
7	56,51015651	11.3800	9.5000

Anexo12 - Comportamiento del ácido acético

Comportamiento del ácido acético							
Tiempo (Días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
1	2.2	1.7	1.8	2.1	2.0	2.3	2.0
2	2.3	2.4	2.5	2.3	2.3	2.5	2.3
3	2.7	2.5	2.6	2.5	2.7	2.6	2.7
4	2.9	2.6	2.6	2.8	2.9	2.8	2.9
5	4.2	3.8	3.7	3.6	3.6	3.6	3.7
6	4.9	4.9	4.9	5.0	4.6	4.6	4.9
7	6.0	6.4	6.4	6.5	5.8	5.7	6.5

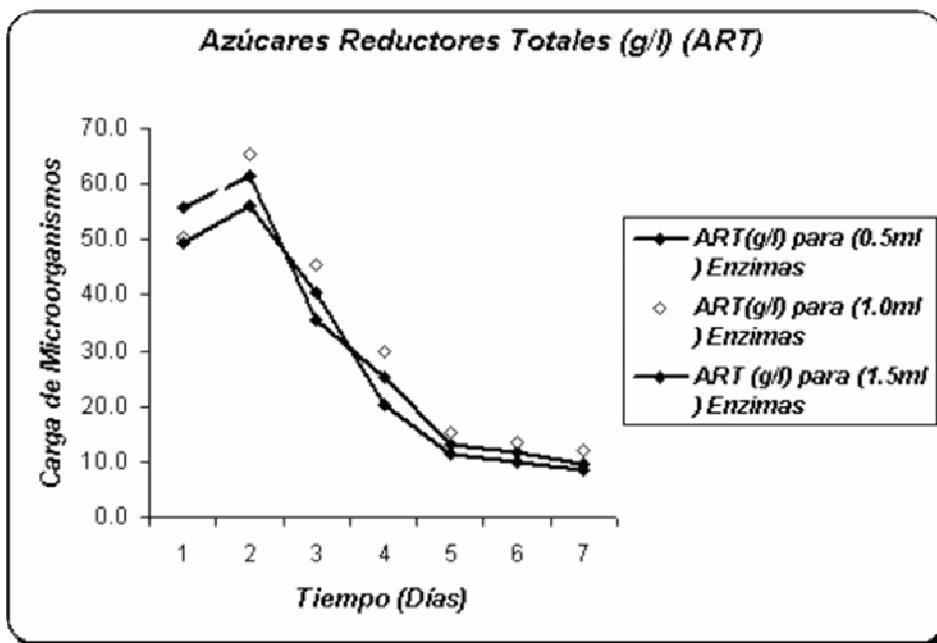
Anexo13

-Glucosa



Anexo14 –

Azúcares Reductores Totales



Anexo-15

Comportamiento del ph							
Tiempo (Días)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7
1	5.1	4.7	4.6	4.4	4.8	4.6	4.5
2	4.7	4.6	4.4	4.2	4.5	4.5	4.3
3	4.5	4.5	4.3	4.1	4.3	4.3	4.1
4	3.8	3.9	3.8	3.6	3.6	3.6	3.5
5	3.5	3.6	3.6	3.4	3.4	3.5	3.4
6	3.2	3.5	3.7	3.6	3.3	3.3	3.4
7	3.1	3.5	3.5	3.3	3.1	3.1	3.2

Anexo 16

Intercambiador de Placas



Anexo 17 . StatGraphics Plus 5.0

Resumen del análisis

Modelo Completo de Efectos Estimados para Acidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	270,321	1	270,321		
Lineal	0,568889	1	0,568889	144,52	0,0001
Cuadrático	0,00335404	1	0,00335404	0,82	0,4160
Cúbico	0,00111111	1	0,00111111	0,22	0,6717
Error	0,0152174	3	0,00507246		
Total	270,91	7			

Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-Cuadrado Ajust.
Lineal	0,0627416	96,66	95,99
Cuadrático	0,0638915	97,23	95,84

Cúbico 0,0712212 97,41 94,83

El StatAdvisor

Esta tabla muestra los resultados de haber adaptado modelos distintos a los datos en acidez. El modelo medio consta de una sola constante. El modelo lineal consta de términos de primer orden para cada uno de los componentes. El modelo cuadrático añade productos cruzados entre pares de componentes. El modelo cúbico agrega otros términos de tercer orden. Cada modelo se muestra con un p-valor que comprueba si ese modelo es estadísticamente significativo cuando se compara al cuadrado medio para el término más bajo. Normalmente, seleccionaría el modelo más complicado con un p-valor inferior a 0.05, asumiendo que está operando al 95% de nivel de confianza. Según este criterio, parece que el modelo de lineal es el adecuado para los datos. El actual modelo seleccionado es el modelo lineal.

En la parte inferior de la salida se ha tabulado, para cada uno de los modelos, el error normal de la estimación y el estadístico R-cuadrado. Algunos análisis prefieren seleccionar el modelo que aumenta al máximo el R-cuadrado adaptado.

ANOVA para Acidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo Lineal	0,568889	1	0,568889	144,52	0,0001
Error Total	0,0196825	5	0,00393651		
Total (corr.)	0,588571	6			

R-cuadrado = 96,6559 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95,9871 por ciento

Error Estándar de Est. = 0,0627416

Error absoluto de la media = 0,0471655

Estadístico Durbin-Watson = 1,34857

Autocorrelación residual Lag 1 = 0,167947

El StatAdvisor

Esta tabla muestra un análisis de varianza para el modelo lineal seleccionado actualmente. Dado que el p-valor para este modelo es inferior a 0.01, hay una relación estadísticamente significativa entre Acidez y los componentes al 99% de nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 96,6559% de la variabilidad en Acidez. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 95,9871%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,0627416. El error absoluto de la media (MAE) de 0,0471655 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es inferior a 0.05, hay indicios de una posible correlación de serie. Represente los residuos frente al orden de la fila para ver si hay cualquier modelo que pueda ser visto.

ANOVA para Acidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	F-Ratio	P-Valor
Modelo Lineal	0,568889	1	0,568889	144,52	0,0001
Error Total	0,0196825	5	0,00393651		
Total (corr.)	0,588571	6			

R-cuadrado = 96,6559 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95,9871 por ciento

Error Estándar de Est. = 0,0627416

Error absoluto de la media = 0,0471655

Estadístico Durbin-Watson = 1,34857

Autocorrelación residual Lag 1 = 0,167947

El StatAdviso

Esta tabla muestra un análisis de varianza para el modelo lineal seleccionado actualmente. Dado que el p-valor para este modelo es inferior a 0.01, hay una relación estadísticamente significativa entre Acidez y los componentes al 99% de nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 96,6559% de la variabilidad en Acidez. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 95,9871%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,0627416. El error absoluto de la media (MAE) de 0,0471655 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es inferior a 0.05, hay indicios de una posible correlación de serie. Represente los residuos frente al orden de la fila para ver si hay cualquier modelo que pueda ser visto.

Lineal Resultados del Modelo ajustado para Acidez

Parámetro	Error Estadístico		T	P-Valor
	Estimación	Estándar		
A:AfrechoTrub	5,85873	0,0379096		
B:Etanol	6,56984	0,0379096		

R-cuadrado = 96,6559 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 95,9871 por ciento

Error Estándar de Est. = 0,0627416

Error absoluto de la media = 0,0471655

Estadístico Durbin-Watson = 1,34857

Autocorrelación residual Lag 1 = 0,167947

El StatAdvisor

La ecuación del modelo ajustado es $\text{Acidez} = 5,85873 \cdot \text{AfrechoTrub} + 6,56984 \cdot \text{Etanol}$ donde los valores de los componentes son especificados en seudo componentes.