

Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ingenierías

Departamento de Química e Ingeniería Química



TRABAJO DE DIPLOMA

Obtención de vinagre a partir de almidón de plátano

(Musa paradisiaca) y residuos de la industria

cervecera.

Autora

Daily Hernández García

Tutores

Msc.Ing. Milagros Beatón Berenguer

Dr.SCMarcelo Marcet Sánchez

“Matanzas, Julio 2011”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaro ser la única autora de este trabajo de diploma que lleva como título: “Obtención de vinagre a partir de almidón de plátano (*Musa paradisiaca*) y residuos de la industria cervecera”, y autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” a hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

FIRMA

Pensamiento

"La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado de un esfuerzo de la inteligencia".

John Ruskin

DEDICATORIA

A mi mami

A mis bebecitos

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias a la ayuda que me han brindado muchas personas.

A mi mamá por cuidar de mí y de mis bebés y por estar siempre presente.

A mi papá por educarme para que me convirtiera hoy en lo que soy y por su apoyo a pesar de estar lejos.

A mis hermanos porque me ven como un ejemplo y eso me ha impulsado para llegar hasta aquí.

A mi esposo por soportarme las malcriadeces y por apoyarme en todo momento.

A Milagro mi tutora por la paciencia y el apoyo.

A mi familia por confiar en mí, en especial a mi tía Mary por quererme y apoyarme como si fuera su niña.

A Justi por no decir nunca que no.

A mis suegros, a Fara, a Dayrena, Isabel, por la ayuda.

A mí querido grupo por todos los momentos vividos y por todo el apoyo en estos dos últimos años tan difíciles para mí.

A mis profesores por la formación que me dieron y por el apoyo en todo y para todo durante estos cinco años.

A mis bebés por todas las alegrías que me han dado y por ser mi inspiración para seguir adelante cada día.

Muchas gracias.

RESUMEN

El almidón extraído del fruto del plátano (*Musa paradisiaca*), puede ser transformado en azúcares fermentables, estos junto con una mezcla de residuales de la producción de cerveza (Extracto de Afrecho y Trub), son convertidos en vinagre, por doble fermentación (fermentación alcohólica y acética). Después de extraer el almidón se logró un rendimiento de 1,5 kg de almidón en base seca para tres kg de plátano. En la etapa de maceración del almidón se analizan tres variantes para determinar cuál es la más factible económicamente, donde la variante para el menor consumo de enzima resultó ser la más viable. La concentración de etanol durante la fermentación alcohólica resultó ser mayor (5,4 g/L) para la variante que más enzima consumió. Se realizó un diseño de mezcla mediante el software "StatGraphics Plus 5.0" donde se obtuvo que el modelo que más se ajusta es el lineal, con un nivel de confianza mayor de un 95 % y que la combinación de variables en las corridas 5 y 7 son las que mayor acidez contienen. El vinagre obtenido a escala de laboratorio fue caracterizado como vinagre de calidad en el Instituto de Investigación Alimenticia ubicado en La Habana. La propuesta de un esquema tecnológico para la producción de vinagre a escala de Planta Piloto, partiendo de las mismas materias primas, conllevó al diseño de dos equipos (Bomba peristáltica y Intercambiador de placas PHE), teniendo en cuenta dos parámetros fundamentales, la carga para la bomba y el área de transferencia de calor para el intercambiador. Se realizó una valoración económica para el costo de adquisición de los equipos diseñados y el costo de elaboración del vinagre que producimos.

ABSTRACT

Starch from banana can be converted to fermentable sugars in a mix of residuals from beer production (Bran and Trub) to produce vinegar by double fermentation (alcoholic and acetic). After the extraction of banana starch the yield of starch was 1.5 kg (DM) by 3 kg of banana. Three alternative of in maceration step were analyzed, corresponding the best results to the less consumption of enzymes. The concentration of ethanol in the alcoholic fermentation was high (5.4 g/L) in the alternative with a higher consumption of enzymes. A mix design using Statgraphics 5.0, was made where a linear model was fitted with a confidence intervals equal to 95% and the combination of the studied variables in experiments 5 and 7 has a higher acidity. The obtained vinegar in a lab scale was characterized as high quality vinegar by Food Investigation Institute place in Havana, Cuba. The technologic scheme for vinegar production for a Pilot Plant was proposed, from the same raw matters and involve the design of two equipment's (a peristaltic pump and a Plate Heat Exchanger), taking into account two parameters the Head of the pump and the Heat Transfer Area. An economic evaluation including the acquisition cost of the equipments and the production cost of the vinegar was made.

Índice

Introducción.....	1
1-Capítulo 1. Análisis bibliográfico.....	4
1.1-El vinagre.....	4
1.1.1-Clasificación del vinagre.....	4
1.1.1.2-Reacciones típicas para la obtención del vinagre.....	6
1.1.1.3-Producción de vinagre en Cuba.....	6
1.1.1.3.1-Composición de los vinagres en Cuba.....	7
1.2-Ecencia del proceso de fermentación.....	7
1.2.1-Tipos de fermentación.....	7
1.3-Generalidades sobre las levaduras.....	9
1.3.1-Factores de crecimiento de las levaduras.....	11
1.3.2-Nutrientes necesarios para la reproducción de las levaduras.....	11
1.4-Características de los residuales de la industria cervecera.....	12
1.5-Etapas de degradación del almidón y factores que influyen en la misma.....	14
1.6-Las enzimas α -amilasa.....	15
1.6.1-El almidón de plátano y los métodos de aislamiento.....	15
1.7-Origen de los plátanos.....	17
1.7.1-Características de los plátanos.....	17
1.7.2-Clima y suelos para el cultivo de los plátanos.....	18
1.8-Conclusiones parciales.....	
2-Capítulo 2. Materiales y Métodos.....	20
2.1-Extracción y preparación de la materia prima.....	20
2.2-Characterización del almidón de plátano.....	20
2.3-Elaboración de vinagre a partir de almidón de plátano y residuos de la industria cervecera a escala de laboratorio.....	21
2.3.1-Maceración.....	22
2.3.2-fermentación alcohólica.....	24
2.3.3-Destilación del licor fermentado.....	27
2.3.4-Obtención de vinagre.....	28

2.4-Propuesta de un diagrama de un esquema tecnológico para la obtención de vinagre a partir de almidón del plátano y residuo de la industria cervecera a escala de laboratorio.....	31
2.4.1-Etapas del proceso.....	31
2.4.2-Diseño de equipos.....	31
2.5-Cálculos económicos.....	42
3-Capítulo 3. Resultados y discusión.....	45
3.1-Resultados obtenidos al aislar el almidón a escala de laboratorio.....	45
3.2-Resultados de la caracterización química del almidón del plátano.....	45
3.3-Resultados obtenidos en los muestreos realizados en la etapa de elaboración de vinagre, escala de laboratorio.....	46
3.4-Propuesta de un diagrama de un esquema tecnológico para la obtención de vinagre a partir de almidón del plátano y residuo de la industria cervecera a escala de laboratorio.....	56
3.5-Cálculos económicos.....	58
Conclusiones.....	60
Recomendaciones.....	61
Bibliografía.....	62
Anexos.....	67

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, **(Guerrero, E. 2008)**.

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, **(Conner y Allgeier, 1976)**. 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.

Nuestro país consta de tres plantas en tres provincias para la producción de vinagre, La Habana, Villa Clara y Camagüey que emplean como materia prima principal vino de azúcar. Los precios de la azúcar en el mercado internacional han aumentado en los últimos años lo cual ha provocado una disminución de los volúmenes de producción de este producto y por consiguiente su venta en los mercados nacionales con regularidad.

Investigadores pertenecientes al grupo de biotecnología se han dado a la tarea de buscar otras fuentes de materias primas para la elaboración de vinagre. Se ha determinado que se puede aprovechar el afrecho de cebada residual del proceso de obtención de cerveza, ya que contiene nutrientes suficientes para el desarrollo, crecimiento y multiplicación de las bacterias acéticas durante la respiración acética sin embargo necesita la adición de etanol para lograr considerables volúmenes de vinagre debido a que el rendimiento de etanol obtenido del afrecho de malta es bajo.

El almidón extraído de los frutos del plátano, degradado enzimáticamente resulta una fuente rica en azúcares fermentables, **(Kunze, 1999)**.

El plátano (*Musa paradisiaca*) se cosecha en diferentes países del mundo, y constituye un alimento de alta demanda poblacional. Según trabajo realizado en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos de México se ha determinado que en base seca se recupera entre 63 y 71% el almidón de plátano verde.

Los plátanos y bananos (*Musa spp*) se encuentran entre las principales plantas que se cultivan en las zonas tropicales y subtropicales de América Latina, Asia y África, lugares donde predominan temperaturas y humedades relativas altas, **(Faisant et al, 1995)**.

En Cuba, los bananos y plátanos constituyen un renglón de elevada prioridad dentro del programa alimentario nacional, debido a su capacidad de producir todos los meses del año, su elevado potencial productivo, arraigado hábito de consumo y diversidad de usos.

La producción de plátanos y bananos posee gran significación dentro de la producción de viandas en Cuba, pues representan más del 40% de este indicador anualmente, **(Kilcher, Lukas, 2001)**.

En nuestro país las producciones de plátanos, se ha visto considerablemente afectada desde el año 1990 por el ataque de plagas, la devastación de las plantaciones por fenómenos climatológicos y otros factores provocando que cada año se pierda de un 30 a un 50% de la cosecha de plátano.

Para darle un mejor uso al plátano que se pierde cada año, y con vistas a solucionar el problema del déficit de producción de vinagre en Cuba, se formula como **problema de investigación** el siguiente:

*¿Cómo aprovechar los residuos del proceso de producción de cerveza que se obtienen en la planta piloto de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, y el almidón del plátano (*Musa paradisiaca*), en la obtención de vinagre?*

Como vía para solucionar este problema se puede enunciar la siguiente **hipótesis**:

Si al almidón extraído del plátano se le realiza un tratamiento enzimático produciendo azúcares fermentables, se podrá obtener vinagre, junto con la adición de extracto de Afrecho y Trub.

El **objetivo general** que se plantea es:

Elaborar vinagre a partir del almidón del plátano (*Musa paradisiaca*) y extracto de Afrecho y Trub, residuales del proceso de producción de cerveza de la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos»

Objetivos específicos:

- Indagar sobre el estado del arte en el mundo y en Cuba, acerca de las tecnologías y procedimientos de extracción de almidón y obtención de vinagre.
- Extraer y caracterizar el almidón del plátano.
- Realizar la degradación enzimática al almidón extraído.

- Analizar el proceso de fermentación.
- Elaborar extracto de Afrecho y Trub.
- Obtener vinagre a escala de laboratorio.
- Presentar la propuesta de un esquema tecnológico para la obtención de vinagre a escala de Planta Piloto.
- Analizar económicamente la propuesta.

Capítulo 1. Análisis Bibliográfico.

En este capítulo se realiza el análisis y la revisión de una serie de bibliografías relacionadas con el tema del Trabajo de Diploma. El análisis está dirigido hacia la revisión del estado actual de la producción de vinagre en Cuba y el mundo, teniéndose en cuenta las materias primas para su producción y las principales etapas del proceso de obtención de este.

1.1- El vinagre

La palabra vinagre procede etimológicamente del latín “vinum acre”, de la que deriva la locución francesa “vin aigre” equivalente al vino agrio, pero en esta acepción su procedencia no queda relegada al vino, sino que cualquier sustrato amiláceo es susceptible de ser utilizado **(Guerrero, E. 2008)**.

Según la Reglamentación Técnico Sanitaria correspondiente **(Presidencia del Gobierno, 1993)** con la denominación genérica de vinagre se designa: “el líquido apto para el consumo humano resultante de la doble fermentación, alcohólica y acética de productos de origen agrario que contengan azúcares o sustancias amiláceas, con una riqueza mínima de 50 g/L”. Se entiende por grado de acidez de los vinagres su acidez total expresada en gramos de ácido acético por 100 mL, a 20°C. El contenido permitido por la norma para los vinagres, expresado en ácido acético, no será inferior a 50 g/L; excepto para el vinagre de vino, que será, al menos, de 60 g/L.

Clasificación del vinagre

Cualquier sustrato azucarado o amiláceo puede ser utilizado en la elaboración de vinagres. Asimismo los métodos de elaboración serán diferentes. Por tanto, los vinagres se pueden clasificar en función del tipo de sustrato empleado o del método usado en su elaboración.

Según la materia prima originaria se establecen los siguientes tipos **(Presidencia del Gobierno, 1993)**:

- Vinagre de vino: Es el producto obtenido exclusivamente por fermentación acética de vino. A mayores vulnerabilidades, mayor exposición al riesgo: Así como hay una lista creciente de vulnerabilidades, se reduce rápidamente el lapso de tiempo que transcurre desde que se descubre una vulnerabilidad hasta que

se produce el ataque, lo que se conoce como la “Ventana de amenazas a las vulnerabilidades”.

- Vinagre de frutas: Es el producto obtenido a partir de frutas o bayas.
- Vinagre de alcohol: Es el producto obtenido por la fermentación acética de alcohol destilado de origen agrario.
- Vinagre de cereales: Es el producto obtenido sin destilación intermedia por el procedimiento de doble fermentación alcohólica y acética, de cualquier cereal en grano, cuyo almidón se ha desdoblado en azúcares mediante un procedimiento distinto de la diastasa de la cebada malteada.
- Vinagre de malta: Es el producto obtenido sin destilación intermedia por el procedimiento de doble fermentación alcohólica y acética a partir de la cebada malteada, con o sin adición de grano, cuyo almidón se ha desdoblado en azúcares mediante la diastasa de la cebada malteada.

De acuerdo al método de elaboración se clasifican en vinagres obtenidos por el método de fermentación superficial o fermentación sumergida.

- Fermentación superficial: 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 reemplazarlo cada año por material nuevo y por ser definitivamente un proceso demasiado lento **(Llaguno y Polo, 1991)**.
- Fermentación sumergida: 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 hasta la fase líquida. Es decir, en este caso no existe soporte alguno para las bacterias. A diferencia del procedimiento en superficie, las acetobacter se encuentran inmersas en el líquido de fermentación, sin ningún soporte, pero en íntimo contacto con el oxígeno del aire **(Conner y Allgeier, 1976)**.

En la fermentación mediante cultivo sumergido, el reactor puede operar de tres modos diferentes: en discontinuo, en semicontinuo, o continuo. La elección de uno u otro modo depende de muchos factores, pero, generalmente, el sistema discontinuo es el más ampliamente utilizado. Entre las razones, podemos destacar que permite que parte de la biomasa producida, se pueda utilizar como “madre” en el siguiente ciclo (**García et al, 2009**).

Reacciones típicas para la obtención de vinagre

Según (**Wood, 1985**), normalmente las levaduras usadas en la fermentación alcohólica, pertenecen al género *saccharomyces* y a la especie *cerevisiae*, y la transformación del azúcar por esta levadura puede ser representada químicamente en la siguiente reacción:



La oxidación del etanol por la *acetobacter* se realiza en dos etapas, en la primera etapa se oxida el etanol a acetaldehído y en la segunda el acetaldehído a ácido acético (**LLaguno y Polo, 1991**).



Producción de vinagre en Cuba

Como se puede observar en la figura 1.1.3.1 en nuestro país existen solo tres plantas para la producción de vinagre a escala industrial, una ubicada en Ciudad de La 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, (**Sanders, 2010**).

Fig. 1.1 – Ubicación de las fábricas de vinagres en Cuba



1.1.3.1 Composición de los vinagres en Cuba

Industrialmente el vinagre en Cuba se obtiene a partir de la mezcla que se muestra en la tabla 1.1 (Sanders, 2010).

Tabla 1.1 – Composición de los vinagres de Cuba

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

Esencia del Proceso de Fermentación

La etapa de fermentación en la producción de vinos, vinagres y otros es la más importante, porque es donde se transforman los azúcares de la pulpa en alcohol etílico (etanol). Se considera como un proceso catabólico de oxidación incompleta siendo el producto final un compuesto orgánico. Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentación. (Mesas y Alegre, 1999).

Tipos de fermentación

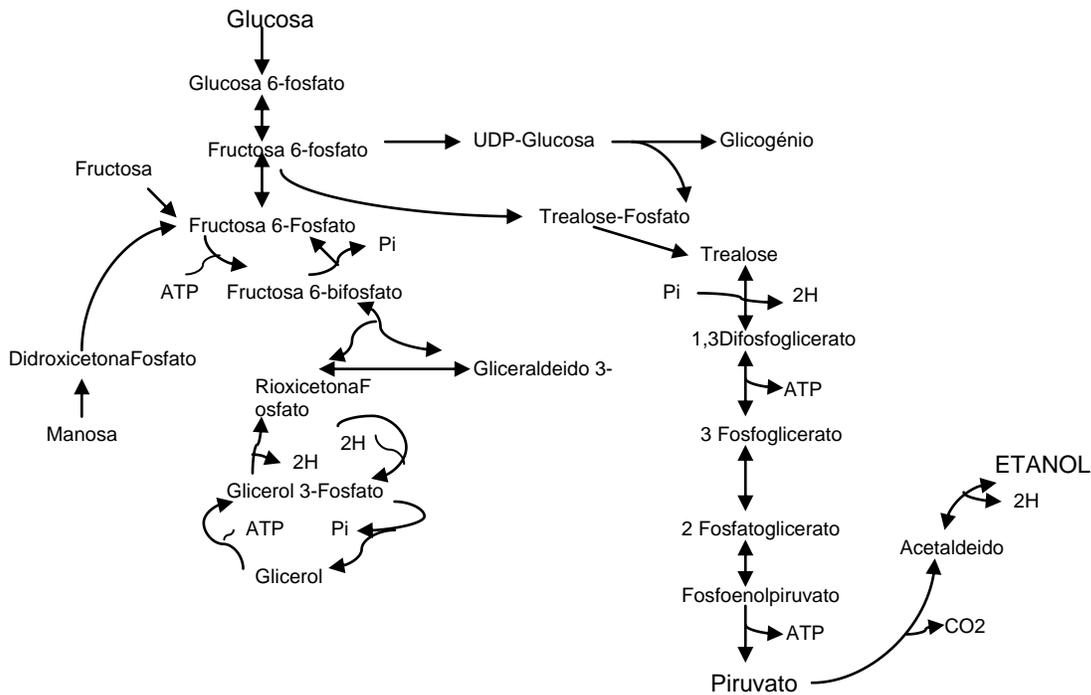
Existen varios tipos de fermentación, los mismos son:

- Fermentación acética
- Fermentación alcohólica
- Fermentación butírica

- Fermentación de la glicerina
- Fermentación láctica
- Fermentación pútrida

La fermentación acética es la más importante de las fermentaciones oxidativas. Se realiza aprovechando el mecanismo enzimático de determinadas bacterias del género *acetobacter*. Se trata de un proceso de tipo respiratorio en el que el alcohol etílico, mediante la intervención del oxígeno, se deshidrogena, oxidándose y dando ácido acético. Entre los productos intermedios el más importante es el aldehído acético, que se transforma finalmente en ácido acético, bien por ulterior deshidrogenación, o a través de una reacción de desproporción de dos moléculas de aldehído en una de alcohol y otra de ácido acético, (**Mesas y Alegre, 1999**).

Figura 1.2- Esquema simplificado de la formación de compuestos en el proceso fermentativo.



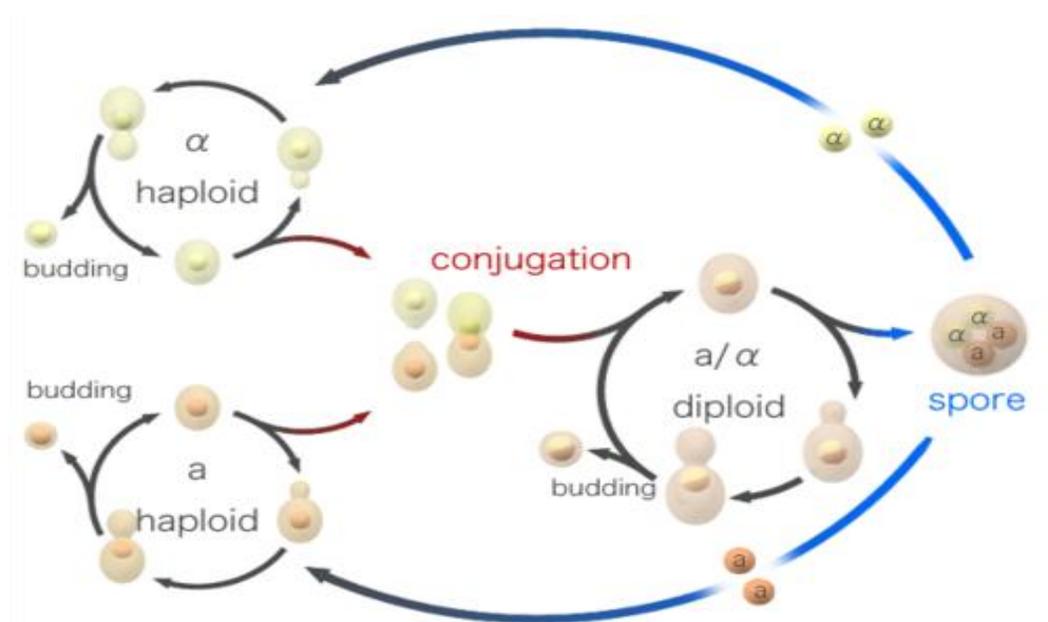
Generalidades sobre las levaduras

Se denomina levadura a cualquiera de los diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la fermentación de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias, **(Pérez, 2001)**.

A veces suelen estar unidos entre sí formando cadenas. Producen enzimas capaces de descomponer diversos sustratos, principalmente los azúcares, **(Pérez, 2001)**.

Una de las levaduras más conocidas es la especie (*Saccharomyces cerevisiae*). Esta levadura tiene la facultad de crecer en forma anaerobia realizando la fermentación alcohólica. Por esta razón se emplea en muchos procesos de fermentación industrial, de forma similar a la levadura química, por ejemplo en la producción de cerveza, vino, vinagre, hidromiel, pan, producción de antibióticos, etc. **(Deak y Beuchat, 1996)**.

Figura 1.3- Ciclo sexual de *Saccharomyces cerevisiae*.



Los colores que presentan son blancos, beige o un poco más oscuros. Algunas son rosadas o rojas porque tienen carotenoides. La manipulación es muy similar a las bacterias. La siembra se hace igual que en bacterias **(Silva, 1987)**.

Figura 1.4- Levaduras en polvo



Factores de crecimiento de las levaduras

Los factores de crecimiento de las levaduras son los siguientes:

- Aqua: En términos generales, las levaduras necesitan un poco más de agua que los mohos, pero menos que las bacterias. Conviene insistir no obstante, que entre las levaduras hay gran variación; algunas especies crecen en medio que contienen incluso 40 por 100 de agua, por ejemplo en miel y jaleas o compotas. Los microorganismos que crecen en soluciones de gran presión osmótica se denominan osmófilos **(Walter, 2000)**.
- pH: Las levaduras crecen en límites amplios de pH, aunque sus requerimientos son más limitados que los de los mohos. Muchas especies se multiplican en soluciones con acidez de pH 3 y alcalinidad de pH 7.5. la reacción óptima suele localizarse entre pH 7.5 y 5.0. La mayoría de las levaduras toleran un rango de pH entre 3 y 10, pero prefieren un medio ligeramente ácido con un pH de 4,5-6,5 **(Walter, 2000)**.
- Temperatura: No hay crecimiento a temperaturas superiores a la del congelamiento, ni tampoco a temperaturas superiores a 47°C; las temperaturas máximas para algunas especies son algo menores. La temperatura más adecuada suele situarse entre 20 y 30°C. La incubación a 30°C suele ser satisfactoria **(Walter, 2000)**.
- Oxígeno: Las levaduras fueron los primeros microorganismos en que se encontró crecimiento en un medio sin oxígeno atmosférico. Pasteur se admiró

notablemente de este hecho, y observó que la utilización anaerobia de azúcar generaba principalmente alcohol y dióxido de carbono, en tanto que los productos aerobios eran dióxido de carbono y agua. La multiplicación de las levaduras es más rápida y la cosecha de células es mayor en condiciones aerobias que en anaerobias, en consecuencia, se necesita abundancia de oxígeno en la elaboración de levadura comercial, pero el oxígeno se excluye cuando se desea producir alcohol (en la fermentación de cerveza o en la producción de vino) **(Walter, 2000)**.

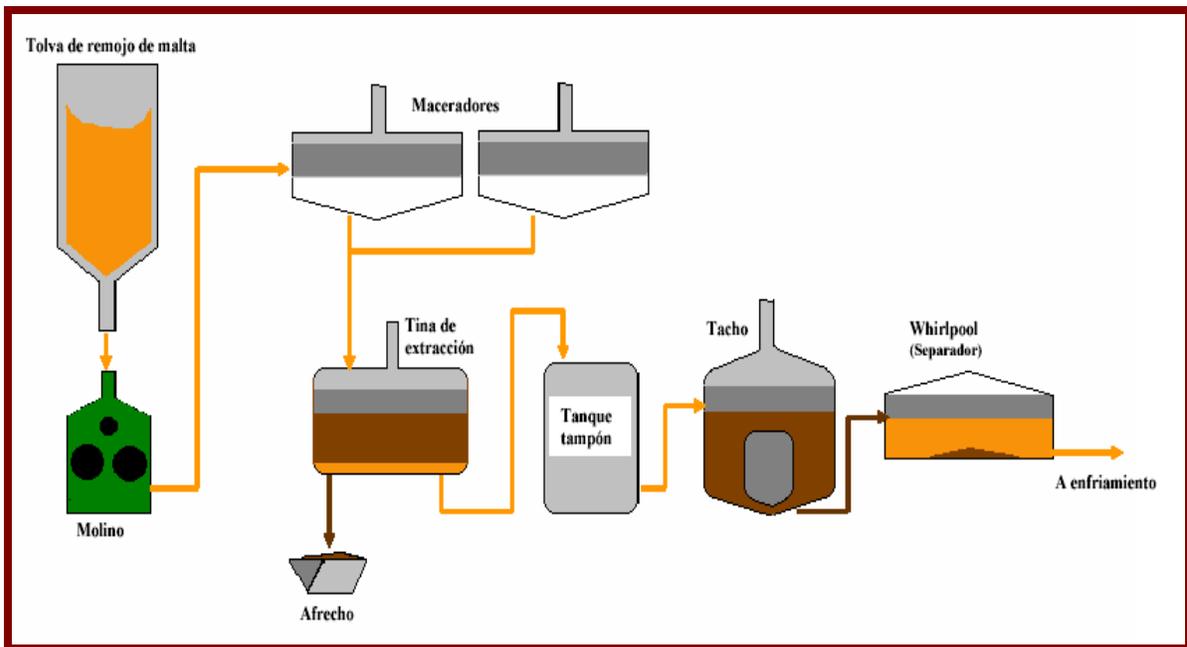
Nutrientes necesarios para la reproducción de las levaduras.

Es necesaria la suplementación del medio de fermentación con nitrógeno y fósforo, pues el contenido de ellos en miel no es suficiente para el desarrollo del microorganismo. Se requiere el nitrógeno fundamental, como elemento básico en la formación de los aminoácidos, constituyentes de las proteínas, y el fósforo, como elemento esencial en los compuestos de alta energía necesarios para el metabolismo. El suministro de estos elementos se realiza mediante la adición de soluciones de sales, entre las que se utilizan con más frecuencia se encuentran: sulfato de amonio, urea, agua amoniacal, fosfato di-amónico o ácido fosfórico. La selección de ellos se acondiciona de manera principal, por sus características de manipulación y sus ventajas económicas. **(Rodríguez et al, 2001)**.

Características de los residuales de la industria cervecera

Los residuales del proceso de elaboración de la cerveza, son ricos en elementos nutritivos y se comercializan como alimento animal.

Figura 1.5- Residuales de la producción de cerveza (planta Tínima)



Como se puede observar en la figura 1.4.1 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, como son: (**Solange, 2007**).

Tabla 1.2- Composición química del afrecho

Componente	(%p/p)
<i>Celulosa (glucana)</i>	16.78
<i>Hemicelulosa</i>	28.42
<i>Xilana</i>	19.94
<i>Arabinosa</i>	8.48
<i>Lignina total</i>	27.78
<i>Lignina Klason</i>	22.96
<i>Lignina soluble en ácido</i>	4.82
<i>Cenizas</i>	4.60
<i>Grupos acetil</i>	1.35

<i>Proteínas</i>	15.25
<i>Extractivos (por diferencia)</i>	5.82
<i>Minerales</i>	(mg/kg)
<i>Calcio</i>	3515,0
<i>Sodio</i>	309.3
<i>Potasio</i>	258,1
<i>Magnesio</i>	1958
<i>Aluminio</i>	36,0
<i>Hierro</i>	193,4
<i>Bario</i>	13.6
<i>Estroncio</i>	12.7
<i>Manganeso</i>	51.4
<i>Cobre</i>	18.0
<i>Zinc</i>	178
<i>Fósforo</i>	5186.0
<i>Azufre</i>	1980
<i>Cromo</i>	5.9
<i>Silicio</i>	10740

También presenta otras vitaminas en partes por millón, como *biotina* (0.1), *colina* (1800), *ácido fólico* (0,2), *niacina* (44), *ácido pentanóico* (8.5), *riboflavina* (1.5), *tiamina* (0.7) y *vitaminab6* (0.7) (**Huige, 1994; Mariani, 1953**).

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**).

Todas las vitaminas, proteínas y minerales mencionadas anteriormente pueden ser utilizadas como sustrato por las bacterias acéticas, (**Solange, 2007**).

Etapas de degradación del almidón y factores que influyen en la misma

Para la degradación de los almidones es común el uso del método de conversión enzimático. Las enzimas más comúnmente usadas son $\alpha\beta$ -amilasas, glucoamilasas,

enzimas desramificadoras y ciclo-dextrin-glicosiltransferasa, **(Goñi et al., 2000; Okobo et al., 2000; Lin et al., 1998; Hamilton, 1999)**.

El almidón debe degradarse en azúcares y dextrinas totalmente debido a las razones económicas, y también 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 gran cantidad de agua se incorpora en las moléculas del almidón, 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. En resumen, 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. 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 Yodo, **(Kunze, 1999)**.

Los factores que influyen en la degradación de almidón son: temperatura, tiempo de maceración, pH y concentración de malta, entre ellos la temperatura es el factor más importante. Al aumentar la temperatura va aumentando la actividad enzimática hasta alcanzar la temperatura óptima. Cada enzima tiene su temperatura óptima diferente, por ejemplo la de α -amilasa está entre 62-65°C **(Kunze, 1999)**.

Las enzimas α -amilasa

Las enzimas α -amilasa tiene su óptimo de temperatura de 62 a 65 °C, se destruye si se mantiene 30 minutos a 65 °C rápidamente, y entre 70 a 75 °C inmediatamente. Su pH óptimo se sitúa a 5.0, a un pH superior de 5.7 su acción declina fuertemente, **(Potapov. V. M y Tatarinchik, 1983)**.

La α -amilasa es también incapaz de romper los enlaces α 1-6 de la amilopéctina, su misión consiste en cortar en un lugar cualquiera los enlaces α 1-4. Teóricamente la α -amilasa podría formar moléculas de maltosa cortando las cadenas hasta que queden dos unidades de glucosa, pero para llegar a esos extremos se tendría que dejar reaccionar mucho tiempo la enzima. Se observa que por la acción combinada de estas 2 enzimas el almidón será desdoblado en gran parte en maltosa y dextrinas, es decir, las zonas donde por la existencia de enlaces α 1-6 las enzimas en mención no han podido actuar; estas zonas son compuestas por tres glucosas como mínimo, es decir, maltotriosas, **(Potapov. V. M y Tatarinchik, 1983)**.

La presencia de los componentes estructurales amilosa y amilopéctina se identifican mediante una reacción de complejamiento de estos con el Yodo, dando un color azul cuando hay presencia de amilosa, y color púrpura cuando hay amilopéctina, **(Filho, 2005)**.

El almidón de plátanos y los métodos de aislamiento

El plátano (*Musa paradisiaca*) se cosecha en diferentes países del mundo, y constituye un alimento de alta demanda poblacional. Según trabajo realizado en el Centro de desarrollo de Productos Bióticos de México se ha determinado que en base seca se recupera entre 63 y 71% el almidón de plátano verde, **(Flores-Gorosquera et al., 2004)**. Generalmente en todos los métodos estudiados, los lotes de plátanos se lavan para eliminar las impurezas, se pelan y son troceados. Luego se hidratan durante 24 horas a 5 °C. Las etapas posteriores se diferencian en el método de aislar los almidones de los sólidos que componen el plátano y se distinguen dos métodos: Método ácido y método neutro, **(Capurro, 2001)**.

En el método ácido se emplea una solución de Bisulfito de sodio 0,01% que se adiciona en una etapa de lavado con agua y además, la homogeneización del almidón se realiza con el uso de una mezcla de metanol-agua (1: 4) lográndose aproximadamente 50% de recuperación.

En el método neutro se utiliza una mezcla de solución de acetatos y HgCl 0.01M y para la homogeneización se emplea una mezcla de Tolueno-Cloruro de sodio 0.1M (1: 7) obteniéndose alrededor de 64% de recuperación.

Estos dos métodos anteriores utilizan como etapas de proceso: lavado, pelado, molienda, tamizado, centrifugación, homogeneización, centrifugado y secado.

El método neutro de Bello-Pérez se obtiene 44% de recuperación y un 98% de pureza empleando las mismas soluciones en el lavado y homogeneización de almidón. Como etapas del proceso se realizan pelado, molienda, tamizado, centrifugación, secado, pulverización y cribado, **(Flores-Gorosquera et al., 2004)**.

Teniendo en cuenta los porcentajes de recuperación del almidón, el método más conveniente es el método neutro de Hawkins y Greenwood e incorporando etapas finales del método de Bello-Pérez.

Tabla 1.3- Composición química de almidones de plátano

Contenido	Composición (%)
<i>Almidón total</i>	<i>96.1±1.8</i>
<i>Humedad</i>	<i>11.1±0.4</i>
<i>Proteína</i>	<i>1.95±0.2</i>
<i>Lípidos</i>	<i>2.3±0.07</i>
<i>Cenizas</i>	<i>0.43±0.06</i>

Origen de los plátanos

Los plataneros proceden del Sudeste Asiático. Luego, desde allí, se extendieron hacia la India, de donde tenemos noticias en el siglo VI. Posteriormente aparecieron en toda el África Ecuatorial, en Guinea y en Canarias, donde lo llevaron los navegantes portugueses. Entraron posteriormente en América, vía Santo Domingo, y en toda la América central y ecuatorial, donde hoy en día se encuentran las principales zonas productoras del mundo que exportan hasta el 80 % de la producción mundial (Brasil, Ecuador, Costa Rica, Colombia, Méjico, Panamá, Guatemala, Honduras y Nicaragua, siendo las tres primeras las principales) Otras zonas productoras las encontramos en África (Burundi y Camerún), en Asia (India, Indonesia, Filipinas y China), en el Caribe (Jamaica) y en Europa (España, Portugal y Grecia). Cualquier región del mundo que posea un clima cálido y húmedo es adecuada para cultivar esta planta, **(FAOSTAT, 2001)**.

El cultivo de la banana constituye el segundo cultivo del mundo después de la naranja. Es el cuarto alimento más importante en la alimentación de los países en vías de desarrollo después del arroz, el trigo y el maíz. Constituye el principal alimento de

algunas familias del mundo con ejemplos tan destacados como en Uganda o Ruanda donde el consumo anual por persona puede llegar a los 250 kg, **(FAOSTAT, 2001)**.

Características de los plátanos

Los plátanos son los frutos en forma de baya de los plataneros (*Musa ssp.*) Pertenecen a la familia de las musáceas que contiene unas 1000 especies. Los plataneros son "hierbas" perennes que pueden medir entre los 4 y los 15 metros de altura, siendo la especie más grande la *Musa ingens* que vive en los bosques tropicales de la isla de Papúa en Oceanía. En realidad los bananeros se podrían considerar como " las hierbas más grandes" porque sus troncos no son leñosos como los árboles los arbustos. Lo que parecen troncos están formados en realidad por un conjunto de vainas foliares que están dispuestas unas encima de las otras, constituyendo lo que sería un falso tallo o " pseudotallo ", que en el caso de la especie mayor llega a alcanzar los 2,5 m de grosor. Este falso tallo termina en una roseta de hojas elípticas u oblongas de tamaño muy considerable dado que pueden llegar a alcanzar los 3 metros de alto por medio metro de ancho. Cada árbol posee una inflorescencia con brácteas rojizas o violeta compuesta de numerosas florecitas que se sitúan al final de un gran pedúnculo que se inicia en el rizoma y atraviesa el falso tallo. Las flores masculinas están situadas en la parte superior de la inflorescencia, mientras las femeninas se sitúan en la inferior. Estas, al madurar, producen los plátanos. El conjunto de todos ellos forma los famosos racimos que contienen unos 200 frutos. Todo un racimo pesa entre unos 30 y 50 kg. El falso tronco se seca cuando maduran los frutos y es cortado a ras de tierra para rebrotar al año siguiente a partir de un rizoma subterráneo. Este puede dejarse en el mismo sitio o trasplantarse en otro lugar, **(Simmonds NW, 1997)**.

Clima y suelo para el cultivo del plátano

Exige un clima cálido y una constante humedad en el aire. Necesita una temperatura media de 26-27 °C, con lluvias prolongadas y regularmente distribuidas. Estas condiciones se cumplen en la latitud 30 a 31° norte o sur y de los 1.00 a los 2.00 m de altitud. Son preferibles las llanuras húmedas próximas al mar, resguardadas de los vientos y regables. En la cuenca del Mediterráneo es posible su cultivo, aunque no para producir frutas selectas, en las localidades donde la temperatura media anual oscila entre los 14 y 20°C y donde las temperaturas invernales no descienden por debajo de

2°C. El crecimiento se detiene a temperaturas inferiores a 18°C. Se producen daños a temperaturas menores de 13°C y mayores de 45°C. Es poco exigente en cuanto a suelo, ya que prospera igualmente en terrenos arcillosos, calizos o silíceos con tal que sean fértiles, permeables, profundos, ricos y bien drenados, especialmente en materias nitrogenadas. Prefiere, sin embargo, los suelos ricos en potasio, arcillo-silíceos, calizos o los obtenidos por la roturación de los bosques, susceptibles de riego en verano, pero que no retengan agua en invierno. La platanera tiene una gran tolerancia a la acidez del suelo, oscilando el pH entre 4.5-8, **(Faisant et al, 1995)**.

Tabla 1.4- Composición química del plátano (%).

Componentes	Verde	Maduro
Agua	69.58	75.12
Almidón	75.12	4.21
Celulosa	7.54	0.92
Sacarosa	9	36
Glucosa	0.58	5.19
Dextrosa	1.82	1.76
Gomas	0.67	1.60
Tanino	0.06	0.01
Proteínas	2	10
Cenizas	0.76	0.76

Conclusiones del Capítulo

Después de valorar las diferentes fuentes bibliográficas en relación con el objeto de la investigación, se llega a las siguientes conclusiones:

- El vinagre es una bebida alcohólica elaborada por fermentación.
- La multiplicación de las levaduras es más rápida y la cosecha de células es mayor en condiciones aerobias que en anaerobias, aunque se necesita abundancia de oxígeno en la elaboración de levadura comercial, pero el oxígeno se excluye cuando se desea producir alcohol.
- La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se emplea en muchos procesos de fermentación industrial, en la producción de cervezas, vinos, vinagres, pan,

antibióticos, etc., por tener la facultad de crecer en forma anaerobia realizando la fermentación alcohólica.

- El rango óptimo de pH para que las levaduras se multipliquen es entre 7.5 y 5.0, pero la mayoría toleran un rango de pH entre 3 y 10.
- Las levaduras no se pueden desarrollar a temperaturas inferiores a la de congelación, ni a temperatura superior a 47°C. La temperatura más adecuada suele situarse entre 20 y 30°C. La incubación a 30°C suele ser satisfactoria según **(WALTER, 2000)**.
- Los organismos más usados en la obtención de etanol por fermentación son las levaduras del género *Saccharomyces*.

Capítulo 2. Materiales y Métodos.

Con el objetivo de darle uso a productos que se convierten en residuos pero que poseen un alto valor alimenticio y de encontrar alternativas más económicas para producir vinagre, son acometidas las siguientes tareas.

1. Extracción y preparación de la materia prima.
2. Caracterización química del almidón del plátano.
3. Elaboración de Vinagre a partir del almidón del plátano y residuos de la producción de cerveza, a escala de laboratorio.
4. Propuesta de un esquema tecnológico para la producción de vinagre a escala de planta piloto, a partir del almidón del plátano y residuos de la producción de cerveza.
5. Cálculos económicos.

El trabajo experimental se desarrolla en el laboratorio de Biotecnología Ambiental, perteneciente a la Planta Piloto, ubicada en la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".

2.1 Extracción y preparación de la materia prima

Se utilizan como fuente para extraer la materia prima, (almidón de plátano) frutos de plátano que no se encontraban en estado óptimo para el consumo de la población (*Musa paradisiaca*) obtenidos en la Cooperativa "Antonio Maceo" perteneciente al poblado de Torriente ubicado en el municipio "Jagüey Grande" de la provincia de Matanzas.

Para aislar el almidón se usó el procedimiento descrito por **(Flores-Gorosquera et al. 2004)**. La cantidad de plátano utilizado para extraer el almidón fue tres kg. El almidón obtenido fue envasado en bolsas de polietileno a temperatura ambiente hasta el momento de ser usado.

2.2 Caracterización del almidón del plátano

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 $100^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 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:

$$\% \text{Humedad} = \frac{M_2 - M_3}{M_2 - M_1} \cdot 100 \quad (2.1)$$

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:

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

Donde:

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

p- Masa del crisol vacío (g).

M- Masa de la muestra (g).

2.3 Elaboración de vinagre a partir de almidón de plátano y residuos de la producción de cerveza, a escala de laboratorio

El proceso de obtención de vinagre se desarrolla a través de cuatro etapas fundamentales las cuales son:

1. Maceración.
2. Fermentación alcohólica.
3. Destilación del licor fermentado.
4. Obtención de vinagre.

Nota: El vinagre que se va a elaborar se hará mediante el método superficial de cultivo en bandejas.

2.3.1 Maceración

La maceración es un proceso que se realiza para lograr la degradación del almidón por medio de reacciones enzimáticas. En este trabajo la enzima que se utilizará es la α -amilasa Termamyl.

Procedimiento

- Pesar 200 g de almidón y disolver completamente en 1000 mL de agua de la llave.
- Medir los $^{\circ}$ Brix en un refractómetro.
- Calentar y remover la disolución suavemente de manera constante hasta obtener una temperatura de 75°C .
- Medir nuevamente los $^{\circ}$ Brix.
- Añadir las diferentes cantidades de enzima α -amilasa termamyl según corresponda a cada variante.
- 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.
- Hervir por 10 min para desnaturalizar la enzima.

Aparatos, utensilios y medios de medición

- Refractómetro manual tipo Abbe.
- Balanza digital Sartorius BS 124 S. Máx 2200 g, con una precisión de 0.01g.
- Plancha eléctrica IKA C-MAGHP7 con una potencia de 1005 watt.

Reactivos químicos

- Enzima α -amilasa Termamyl.
- Solución de Yodo.

El proceso de maceración es realizado para tres variantes distintas, con el objetivo de conocer el consumo energético para cada una de ellas y a partir de este seleccionar cuál resulta más económico.

Las cantidades de enzima añadidas para cada variante fueron:

- V1- 1L de suspensión, con 200g de almidón y 0.5 ml de enzimas α -amilasa.
- V2- 1L de suspensión, con 200g de almidón y 1 ml de enzimas α -amilasa.
- V3- 1L de suspensión, con 200g de almidón y 1.5 ml de enzimas α -amilasa.

El costo de energía eléctrica en nuestro país es de 0,30 \$/Kwh.

El costo de la Enzima es de 5,54 USD/ml.

Con vista a crear las condiciones óptimas para llevar a cabo la fermentación, el producto macerado se deja enfriar hasta temperatura ambiente y se le miden varios parámetros entre los que se encuentran, °Brix, ajuste del pH, azúcares reductores totales (ART) y densidad.

Densidad

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

La ecuación para calcular la densidad relativa es la siguiente:

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

Donde:

d- Densidad relativa.

m_1 - Masa del picnómetro vacío (g).

m_2 - Masa del picnómetro lleno con agua (g).

m_3 - Masa del picnómetro lleno con muestra (g).

La ecuación para calcular la densidad absoluta a 15°C es:

$$D_{15} = \rho_{H_2O} \cdot d \quad (2.4)$$

Donde:

D_{15} - Densidad absoluta a 15°C.

d- Densidad relativa.

ρ_{H_2O} - Densidad del agua a 15°C.

Ajuste del pH

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>	8,2	7,52	7,33

El pH óptimo para que se desarrollen los microorganismos durante la fermentación alcohólica se encuentra en un rango de 3,5 a 5,5 según **(H. M. Aurelio., 1997)**, por lo que se procede a ajustar el nuestro a 5, utilizando ácido fosfórico.

Procedimiento

- Adicionar la disolución en un beaker 100 mL
- Colocar el electrodo de vidrio combinado dentro beaker, una vez calibrado con las disoluciones buffer correspondientes.
- Encender el equipo y realizar la lectura.
- Adicionar 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 vidrio combinado.

Reactivos químicos

- Disolución buffer de pH 4.
- Disolución buffer de pH 7.
- Disolución buffer de pH 9.
- Disolución de ácido fosfórico.

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:

$$ART = \frac{A}{1,001} \bullet F \quad (2.5)$$

Donde:

A- Absorbancia medida.

F- Factor de dilución.

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.

2.3.2 Fermentación alcohólica

Los azúcares que se obtienen del proceso de maceración son fermentados siguiendo la metodología que se describe a continuación

Procedimiento

- Esterilización de frascos de 500 mL para evitar una posible contaminación que pueda perjudicar el proceso.
- Pesar los frascos vacíos con su tapón correspondiente. Los tapones son de gasa rellenos con algodón para permitir la salida de CO₂.
- Adicionar a 1000 mL de disolución 10 mL de levadura cervecera.
- Adicionar la disolución en 4 frascos a razón de 250 mL por frasco.

Aparatos, utensilios y medios de medición

- 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.

Reactivos químicos

- Levadura cervecera.

Durante el proceso descrito anteriormente se muestrearán cada 24 h varios parámetros los cuales son:

Pesada de las muestras

Este análisis se realiza según el método de diferencia de pesada, el cual nos permite determinar el tiempo en el cual finalizará la fermentación.

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. La medición de pH se realizó por el método potenciométrico y según la norma NMX-AA-25.

Medición de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC)

El contenido de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) nos indica el momento en el cual culmina el proceso y si el mismo ha sido exitoso. Las mediciones se realizaron siguiendo la metodología descrita por **(H. M. Aurelio., 1997)**.

2.3.3 Destilación del licor fermentado

La destilación se realizó según la norma NC 83-26:87, con algunas modificaciones.

Procedimiento

- Verter 250 mL de la muestra en una probeta.
- Adicionar en un balón de destilación.
- Conectar el balón a la columna de destilación provista de perlas de vidrio y conectada al refrigerante mediante el adaptador.
- Calentar la muestra hasta una temperatura de 75⁰C.
- Recoger el destilado en una probeta.
- Suspender la destilación.

Aparatos, utensilios y medios de medición

- Balón de destilación.
- Torre de relleno con anillos de cristal.
- Condensador de serpentín.

- Trampa de vapor.
- Plancha eléctrica IKA C-MAGHP7 con una potencia de 1005 watt.
- Alcoholímetro con escala hasta 10% de alcohol y referido a 15⁰C (288⁰K).
- Termómetro.

Concluida la destilación se le midió el grado alcohólico a las muestras de cada variante.

2.3.4 Obtención del vinagre

Diseño de experimento

Con el objetivo de ahorrar tiempo, materia prima y buscar las mejores mezclas posibles se realizará un diseño mezcla aplicando el software “*StatGraphics Plus 5.0*”. En el mismo se va a trabajar con la combinación de dos componentes donde las variables independientes serán, mezcla de extracto de afrecho y Trub y etanol, para obtener como variable respuesta la acidez la cual representa el compuesto principal del vinagre. Los niveles para los cuales fue aplicado el software se muestran a continuación:

<i>Nivel</i>	<i>Contenido de Afrecho y Trub</i>	<i>Contenido de Etanol</i>
<i>Bajo</i>	5	95
<i>Alto</i>	15	85

Preparación de la mezcla de extracto de Afrecho y Trub

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.

Fermentación acética

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

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.

Determinación de ácido acético

La determinación de ácido acético en vinagre se realizó según, **(Arce, et al, 2001)**.

Separación del vinagre de la capa madre

El vinagre elaborado mediante fermentación puede estar más o menos turbio, ya que contiene bacterias y materias en suspensión que provienen de la materia prima original. Por ello es conveniente que el vinagre sea tratado para que llegue al consumidor en las mejores condiciones posibles de color, limpieza y presentación.

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

Envasado y almacenamiento del producto

El vinagre obtenido se envasa en botellas de cristal y posteriormente es almacenado a temperatura ambiente siguiendo lo normado en NMX-F-122-1968.

Pruebas de calidad

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

Ácido acético y densidad

Estas se realizaron según la metodología definida anteriormente.

Determinación de extracto seco

Se realiza siguiendo el procedimiento normado en NGO 33 010 h3.

Determinación de cenizas

Para la determinación de cenizas en el vinagre es necesario primeramente determinar el contenido de sólidos totales. Este se determina acorde con lo planteado por **(Sluiter *et al.*, 1998a-d)**.

Apariencia, Olor y Sabor

Estas fueron realizadas en el Instituto de Investigación de los Alimentos (IIA) de La Habana, por parte del especialista Oscar Queris Hernández, teniendo en cuenta lo planteado en la norma NMX-F-122.

2.4 Propuesta de un esquema tecnológico para la obtención de vinagre a escala de planta piloto, a partir de almidón de plátano y residuos de la producción de cerveza.

Se va a trabajar en proceso discontinuo, tomando como base la producción de 30 L de vinagre mediante cultivo superficial en bandejas. La etapa de pelado del plátano no se llevará a cabo, con el objetivo de que el pelado no incida en los costos de producción, ya que debido a las características físicas del plátano, la heterogeneidad de tamaños, así como al problema de eliminar la cáscara, que en estado verde del fruto se encuentra fuertemente adherida a la pulpa, sería muy difícil diseñar un equipo que pudiera mecanizar esta operación, además el rendimiento del almidón sería mayor al no perderse parte de la pulpa en la cáscara y se aprovecharía al máximo el fruto (**Flores-Gorosquera et, al. 2004**).

2.4.1 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.

2.4.2 Diseño de equipos

Para realizar el diseño de los equipos es necesario cuantificar los flujos a procesar mediante un balance de masa, por lo que el desarrollo de este epígrafe se llevará a cabo en dos etapas.

1. Balance de masa para cuantificar los flujos a procesar.
2. Diseño de los equipos.

Balance de masa

Teniendo en cuenta que se toma como base para el diseño la producción de 30 L de vinagre, es necesario conocer la cantidad de frutos que hay que suministrar a la planta para obtener dicho volumen. Por lo tanto se calculará primeramente el contenido de ácido acético que existe en 30 L de vinagre, luego la cantidad de etanol necesaria para

obtener ese ácido acético, para a partir de esta información determinar la cantidad de glucosa capaz de degradarse para dar ese etanol y con ello la cantidad de almidón para esa glucosa, la cantidad de plátano para almidón.

Para desarrollar este balance de masa se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

1. Un litro de vinagre contiene un cinco porciento de ácido acético según **(Plessi et al., 1989)**, lo cual es equivalente a 0,05 mL de ácido acético.
2. Según **(Giudici et al., 1995)**, el proceso de conversión de etanol en ácido acético en condiciones óptima tiene una eficiencia de un 95 %.
3. Según **(Giudici P. 1993)** el proceso de transformación de glucosa en etanol está representado por una conversión de un 85%.
4. Por datos de literatura **(Fox y Cameron. 1997)** se conoce que durante el proceso de maceración del almidón se logra un 70% de conversión dado el alto contenido de dextrinas presentes en las amilopectinas que no se degradan por las enzimas *alfa amilasa*.
5. Según **(Flores-Gorosquera et al., 2004)**, 1kg de plátano con cáscara contiene 0,5 kg de almidón.
6. La cantidad de agua necesaria para el lavado de los frutos según **(Chiang, B.H, Starch/Stärke39: 5-8, 1987)**, es de tres litros de agua por cada kilogramo de plátano y la cantidad de agua para realizar la molienda de los frutos es de un litro por cada kilogramo de plátano.
7. El uno porciento de la masa de plátano sin lavar está constituido por materiales inertes. Cuando el plátano es sometido al proceso de lavado sale de este con un contenido de humedad de un 11 % **(Lii, C.Y., 1982)**.
8. **(Lehmann, U. 2002)**. El residuo que se obtiene en la molienda de los plátanos constituye de un 20 a un 30 % del peso inicial del plátano y sale con una humedad de un 5 a un 6 %.

Ecuaciones del balance

Para la etapa de fermentación acética

$$V_{CH_3COOH(30L)} = V_p \bullet V_{CH_3COOH(1L)} \quad (2.6)$$

$$m_{CH_3COOH} = V_{CH_3COOH(30L)} \cdot \rho_{CH_3COOH(25^{\circ}C)} \quad (2.7)$$

Por estequiometría se conoce que:



Según la Ley de acción de masas

$$\frac{m_{C_2H_5OH}}{m_{CH_3COOH}} = \frac{n_{C_2H_5OH} \cdot MM_{C_2H_5OH}}{n_{CH_3COOH} \cdot MM_{CH_3COOH}} \quad (2.9)$$

Para un 100 % de conversión:

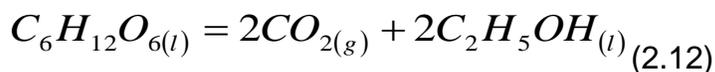
$$m_{100\% C_2H_5OH(30L)} = \frac{n_{C_2H_5OH} \cdot MM_{C_2H_5OH}}{n_{CH_3COOH} \cdot MM_{CH_3COOH}} \cdot m_{CH_3COOH} \quad (2.10)$$

Para un 95 % de conversión:

$$m_{95\% C_2H_5OH(30L)} = \frac{m_{CH_3COOH(30L)} \cdot m_{100\% C_2H_5OH(30L)}}{Conversión_{(95\%)}} \quad (2.11)$$

Para la etapa de fermentación alcohólica

Teniendo en cuenta la Ley de acción de masas planteada anteriormente y a través de la siguiente relación estequiométrica:



Para un 100 % de conversión:

$$m_{C_2H_5OH(100\%)} = \frac{n_{C_2H_5OH} \cdot MM_{C_2H_5OH}}{n_{C_6H_{12}O_6} \cdot MM_{C_6H_{12}O_6}} \cdot m_{C_6H_{12}O_6} \quad (2.13)$$

Para un 85 % de conversión:

$$m_{85\% C_2H_5OH} = \frac{\text{Conversión}_{(85\%)} \bullet m_{100\% C_2H_5OH}}{\text{Conversión}_{(100\%)}} \quad (2.14)$$

$$m_{C_6H_{12}O_6(30L)} = \frac{m_{C_6H_{12}O_6} \bullet m_{95\% C_2H_5OH(30L)}}{m_{85\% C_2H_5OH}} \quad (2.15)$$

Para la etapa de maceración

$$m_{almidón(30L)} = \frac{m_{almidon} \bullet m_{C_6H_{12}O_6(30L)}}{m_{70\% C_6H_{12}O_6}} \quad (2.16)$$

$$m_{plátano(30L)} = \frac{m_{plátano} \bullet m_{almidón(30L)}}{m_{almidón(1000gplátano)}} \quad (2.17)$$

Para la etapa del lavado de los frutos

(2.18)

$$V_{H_2O(m_{plátano(30L)})} = m_{plátano(30L)} \bullet V_{H_2O(1kgplátano)}$$

$$m_{H_2O(Lavado)} = V_{H_2O(m_{plátano(30L)})} \bullet \rho_{H_2O(20^{\circ}C)} \quad (2.19)$$

$$m_{inertes} = 0,01 \bullet m_{plátano(30L)} \quad (2.20)$$

$$m_{plátano(Lavado)} = (m_{plátano(30L)} - m_{inertes}) \bullet \% \text{ Humedad} \quad (2.21)$$

$$m_{H_2O(plátanoLavado)} = 0,11 \bullet m_{plátano(30L)} \quad (2.22)$$

$$m_{H_2O+inertes} = m_{H_2O(Lavado)} - m_{H_2O(plátanoLavado)} + m_{inertes} \quad (2.23)$$

Para la etapa de molienda del plátano

$$m_{H_2O(1kgplátano)} = 1 \times 10^{-3} \cdot \rho_{H_2O(25^{\circ}C)} \quad (2.24)$$

$$m_{H_2O(molienda)} = m_{plátano(Lavado)} \cdot m_{H_2O(1kgplátano)} \quad (2.25)$$

Se tomó un 25 % de residuo y un 6 % de humedad teniendo en cuenta el criterio número ocho.

$$m_{residuo} = 0,25 \cdot m_{plátano(Lavado)} \quad (2.26)$$

$$m_{H_2O(Residuo)} = 0,06 \cdot m_{residuo} \quad (2.27)$$

$$m_{H_2O(pulpa)} = m_{H_2O(molienda)} - m_{H_2O(Residuo)} \quad (2.28)$$

$$m_{pulpa} = (m_{plátano(Lavado)} - m_{residuo}) + m_{H_2O(pulpa)} \quad (2.29)$$

$$V_{pulpa} = \frac{masa_{pulpa}}{\rho_{pulpa}} \quad (2.30)$$

Diseño de equipos

Los equipos que se van a utilizar se encuentran instalados en la planta piloto, los mismos trabajan para una capacidad de 30 L y realizan funciones similares a las que se necesitan.

La planta está compuesta por los siguientes equipos:

- Molino de Martillo: Según plantea **(Alarcon. M. F. 1996)** estos 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: Esta tiene como objetivo destilar el producto que viene del macerador y obtener un licor fermentado con el mayor porcentaje de etanol posible. Esta 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 del vinagre.

Par poder producir vinagre en el laboratorio de Biotecnología Ambiental, perteneciente a la Planta Piloto, ubicada en la Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", es necesario diseñar algunos equipos que no se encuentran en la misma.

Diseño de una bomba

Es necesario instalar una bomba que sea capaz de transportar el fluido que se encuentra en el macerador hasta el enfriador. Para seleccionar según los catálogos la bomba adecuada es necesario calcular la carga de la misma.

El cálculo de la carga de la bomba se realizará a partir de la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\rho^* g} + z_1 + \frac{\alpha_1^*(V)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho^* g} + z_2 + \frac{\alpha_2^*(V)^2}{2g} + \sum hf \quad (2.31)$$

Donde:

P_1 y P_2 - Son las presiones

ρ - Densidad de la pulpa.

g - Gravedad.

z_1 y z_2 - Altura o carga geométrica.

α_1 y α_2 - Factor de corrección de la energía cinética.

V - Velocidad del fluido.

Hb - Carga de la bomba.

h_f - Pérdidas por fricción.

Consideraciones

- Las tuberías a lo largo de todo el proceso son de 1/8 in, por lo que el término.
- El macerador se encuentra abierto a la atmósfera por lo que $\frac{\alpha_1^*(V)^2}{2g}$ se hace cero.
- z_1 se encuentra a flote en el líquido del macerador y z_2 se encuentra a la salida del enfriador.
- El punto uno se encuentra a una altura de 0,5 m y el punto dos se encuentra al nivel de todo el proceso por lo que z_2 es cero.

Según lo planteado anteriormente la ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{P_1}{\rho^* g} + z_1 + \frac{\alpha_1^*(V)^2}{2g} + Hb = \frac{P_2}{\rho^* g} + z_2 + \frac{\alpha_2^*(V)^2}{2g} + \sum hf$$

$$\frac{P_1}{\rho^* g} + z_1 + Hb = \frac{P_2}{\rho^* g} + \sum hf \quad (2.32)$$

Despejando la carga de la bomba queda de la siguiente forma:

$$H_b = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \sum hf - \frac{P_1}{\rho \cdot g} - z_1 \quad (2.33)$$

Las pérdidas por fricción se calculan según la siguiente ecuación:

$$\sum hf = hf_{tuberias} + hf_{accesorios} \quad (2.34)$$

$$hf_{tuberias} = f \cdot \frac{L \cdot (V)^2}{2 \cdot g \cdot d} \quad (2.35)$$

Donde:

f- Factor de fricción.

d- Diámetro de la tubería.

L- Longitud total de la tubería.

$$hf_{accesorios} = \frac{\sum K \cdot (V)^2}{2 \cdot g} \quad (2.36)$$

Donde:

K- coeficiente de resistencia hidráulica de los accesorios.

Para poder realizar el cálculo de las diferentes perdidas es necesario conocer el régimen de flujo. Este se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (2.37)$$

Donde:

Re- Número de Reynold.

ρ - Densidad del fluido.

μ - Viscosidad del fluido.

$$V = \frac{q}{A} = \frac{4 \cdot q}{\Pi \cdot (d)^2} \quad (2.38)$$

Con los valores de la carga y el flujo se selecciona la bomba en la gráfica de catálogos de bomba.

Diseño de un enfriador

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 de 25-30°C. El producto que sale del macerador posee una temperatura de 90°C por lo que es necesario enfriarlo para poder fermentarlo posteriormente.

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.

Este procedimiento presenta dos caminos: el primero hace uso del factor de corrección (F_t) de la diferencia de temperaturas media logarítmica (Δt_m) y el segundo hace uso de la eficiencia de la transferencia de calor (ϵ) como función del NTU. Para ambos métodos se asume que:

- Las pérdidas de calor son despreciables
- No se presentan espacios con aire en el equipo
- El coeficiente global de transferencia de calor se mantiene constante dentro del equipo.
- Los perfiles de temperaturas varían solo en la dirección del flujo
- Las corrientes se distribuyen uniformemente en cada canal en el caso de flujo paralelo.

Si N es el número de placas, el número de canales formados será $N+1$.

Según los datos asumidos anteriormente la metodología seguida para cada caso será:

- Caudal y temperaturas de entrada y salida del líquido caliente
- Caudal y temperatura de entrada del líquido frío.
- Propiedades físicas de los fluidos
- Características físicas de la placa.

Método del factor de corrección (F_t)

1. Cálculo del calor intercambiado: $q = G \cdot c_p \cdot \Delta t$
2. Cálculo de la temperatura de salida del líquido frío: $t_f = t_c + q / G \cdot c_p$
3. Determinación de las propiedades físicas de los fluidos a la temperatura media entre las de entrada y salida
4. Cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica Δt_m

5. Cálculo del NTU = $(t_f - t_c) / \Delta t_m = K_s \cdot A_t / G_c \cdot c_p$

6. Determinación del factor de corrección de temperatura media Ft. , según gráfico

7. Cálculo el número de Reynolds para cada corriente: Para flujo en serie, el caudal circula en una corriente única para cada fluido y se calcula por la formula conocida.

Para flujo en paralelo, se asume un número de placas para determinar el número de subcorrientes para cada líquido. Así n_f y n_c representan las subcorrientes fría y calientes. El número de Reynolds vendrá dado entonces para este caso por la ecuación siguiente:

$$Re = [De (G / n)] / \mu$$

8. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor de cada lado, atendiendo al régimen de flujo.

Coeficiente para flujo turbulento: $h = 0.2536 (k / De) (Re)^{0.65} (Pr)^{0.4}$

Coefic. para flujo laminar ($Re < 400$): $h = 0.742 c_p G (Re)^{-0.62} (Pr)^{-0.667} (\mu / \mu_w)^{0.14}$

El flujo laminar se presenta en fluidos muy viscosos y materiales poliméricos. En la ecuación para el flujo turbulento el diámetro equivalente (De) es definido como:

$$\text{Diámetro equivalente } De = (4W) / (2W + 2b)$$

En esta ecuación por lo general el De resulta igual a 2b, dado que la separación entre placas (b) es despreciable frente al ancho (W) de las mismas

9. Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor K_s

10. Cálculo de la superficie total de transferencia de calor A_t

2.5 Cálculos económicos

El cálculo económico consta de dos partes:

1. Cálculo del costo de adquisición de los equipos diseñados.
2. Cálculo del costo que implica producir un litro de vinagre a partir del almidón del plátano y residuos de la producción de cerveza.

Costos de adquisición de los equipos

Costo de adquisición del enfriador

El costo de adquisición del enfriador depende de la superficie de calefacción.

$$\text{Para } A < 18,6 \text{ m}^2 C_{AdqEnfriador} = 1281 \bullet A^{0,4887} \quad (2.39)$$

$$\text{Para } A > 18,6 \text{ m}^2 \quad C_{AdqEnfriabr} = 702 \cdot A^{0,6907} \quad (2.40)$$

Donde:

C- Costo del intercambiador en \$.

A- Superficie calefacción en m².

Costo de adquisición de la bomba.

El costo de adquisición de la bomba depende de la potencia:

$$\text{Para } P \leq 1800W \quad C_{AdqBomba} = 281,44 \cdot \frac{IC_{2007}}{IC_{1988}} \cdot P^{0,11} \quad (2.41)$$

$$\text{Para } P > 1800W \quad C_{AdqBomba} = 9,58 \cdot \frac{IC_{2007}}{IC_{1988}} \cdot P^{0,56} \quad (2.42)$$

Donde:

P- Potencia de la bomba (W).

C_{AdqBomba}- Costo de adquisición de la bomba (\$).

IC₂₀₀₇: Índice de Costo del año 2007 (\$).

IC₁₉₈₈: Índice de Costo del año 1988 (\$).

$$C_{AdqTotal} = C_{AdqEnfriabr} + C_{AdqBomba} \quad (2.43)$$

Cálculo del costo de un litro de vinagre

Consiste en determinar el costo de las materias primas a emplear en la obtención de 1L de vinagre y compararlo con su precio (Información Económica, 2009), (Brizuela, 1987). que no es más que el cálculo del Beneficio Bruto.

$$BB = VP - \sum CMP \quad (2.44)$$

$$CMP = pup \cdot m \quad (2.45)$$

$$VP = pup \cdot V \quad (2.46)$$

VP: Valor de la Malta obtenido no considerándose la venta de los subproductos.

CMP: Costos de las materias primas consumidas en la producción.

pup: Precio unitario de la materia Prima.

Capítulo 3. Resultados y Discusión

El almidón del plátano degradado enzimáticamente constituye una fuente rica en azúcares fermentables. En la primera parte de este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos luego de extraer y caracterizar el almidón del plátano. Luego se analizarán los resultados de los muestreos que se realizaron con el objetivo de obtener un vinagre de calidad a escala de laboratorio y conjuntamente se mostrarán los resultados del diseño de los equipos que se realizó para poder producir el mismo vinagre a escala de planta piloto. Finalmente se mostrarán los resultados de la valoración económica realizada, en cuanto a, costo de adquisición de los equipos diseñados y costo de producción de un litro de vinagre.

Durante el presente capítulo se realiza un análisis exhaustivo de la literatura especializada realizándose una comparación con los resultados obtenidos en la tesis.

3.1- Resultados obtenidos al aislar el almidón a escala de laboratorio

Culminado el proceso se obtuvieron 1,5 kg de almidón seco. Esto demuestra que en el proceso de aislamiento se recuperó una buena cantidad de almidón ya que según estudios realizados por **(Bello-Pérez et al)**, para 3,1 kg de plátano se obtienen 1,7 kg de almidón haciendo uso del mismo método de extracción. Las diferencias pueden deberse a que las operaciones son manuales además el fruto que se utilizó no estaba en las condiciones óptimas para el consumo.

3.2- Resultados de la caracterización química del almidón del plátano

Todos los análisis se realizaron por duplicado (muestra y replica).

La materia prima presenta un % de humedad de un 4,9 % y el contenido de cenizas es de 0,45%, valores similares a los reportados para otros almidones extraídos de fuentes no convencionales. Esto indica que el procedimiento utilizado para la extracción de dicho almidón se realizó de forma efectiva.

3.3- Resultados de los muestreos realizados en la etapa de elaboración del vinagre, a escala de laboratorio

Tabla 3.1- Tiempos y costos de maceración para diferentes variantes

Variante	Tiempo (h)	Consumo energético (kw/h)	Costo energético (\$/kw)	Costos de enzima (USD/mL)	de °Brix
1	0,65	0,653	0,195	2,77	24,5
2	0,45	0,452	0,135	5,54	25
3	0,25	0,251	0,075	8,31	26

Como los °Brix son semejantes, teniendo en cuenta los precios actuales del kw/h y la enzima, se selecciona como variante más económica la 1 (1L de suspensión, con 200g de almidón y 0.5 ml de enzimas α -amilasa.), ya que los costos que más encarecen el proceso los ofrece la enzima.

Tabla 3.2- Condiciones de las muestras antes de ser fermentadas.

Especificaciones	Variante 1	Variante 2	Variante 3
pH	5	5	5
°Brix	24,5	25	26
ART	1,22	1,23	1,23

Densidad

1,12

1,128

1,131

➤ **Pesada de las muestras**

La pérdida de peso indica el CO₂ que se forma y se libera a la atmósfera, cuando este parámetro se mantiene prácticamente constante se puede decir que ha concluido el proceso de fermentación ya que esto indica que los microorganismos presentes en el medio han dejado de nutrirse.

Los resultados obtenidos para este análisis se muestran en el anexo 2 (gráfico 1), corroboran lo anteriormente planteado.

➤ **Medición del pH**

En los análisis realizados para nuestro proceso el pH oscila en un rango entre 5 y 3,7, teniendo correspondencia con la literatura. La grafica de pH se encuentra en el anexo 2 (gráfico 3)

➤ **Medición de las Unidades Formadoras de Colonias (UFC)**

Las levaduras son las encargadas de transformar la glucosa en etanol. El conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) en el proceso de fermentación nos indica las distintas etapas de fermentación mostrándonos que estas aumentan cuando comienza la fermentación producto de que se están alimentando y reproduciendo, a medida que avanza el tiempo de fermentación el sustrato (glucosa) se va agotando y estas dejan de reproducirse. Los resultados mostrados en el anexo 2 (gráfico 5), corroboran lo planteado anteriormente.

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

Los resultados mostrados en la tabla 3.3 revelan que al comienzo de la fermentación se obtienen $4,7 \times 10^9$ UFC por mL de levadura lo cual indica que la fermentación es óptima ya que según **(Karma 2004)** para que la fermentación sea favorable el rango de UFC al comienzo de la misma debe encontrarse entre $3,38 \times 10^9$ y $8,9 \times 10^9$.

Tabla 3.3- Unidades Formadoras de Colonias (UFC)

<i>Muestras a 600 nm</i>	<i>Densidad Óptica (abs)</i>	<i>UFC para 250 mL</i>
<i>Blanco</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Variante 1</i>	<i>1,13</i>	<i>$4,7 \times 10^9$</i>
<i>Variante 2</i>	<i>1,28</i>	<i>$5,3 \times 10^9$</i>
<i>Variante 3</i>	<i>1,44</i>	<i>6×10^9</i>

➤ Azúcares reductores totales (ART)

A lo largo del proceso de fermentación se fue midiendo el contenido de azúcar. Los resultados mostrados en el anexo 2 (gráfico 4) demostraron que a medida que avanza el proceso este disminuye gradualmente lo que indica la transformación de estos azúcares en etanol.

➤ Medición de los ⁰Brix

La determinación de los ⁰Brix indica el contenido de azúcar que queda sin transformarse durante el período de fermentación. Valores pequeños o constantes de estos indican la culminación del proceso de fermentación.

En el anexo 2 (gráfico 2) se puede observar como disminuye esta variable durante el proceso, proporcionándonos una medida del contenido de etanol que se va a obtener al culminar el mismo.

➤ Diseño de experimento

Los resultados arrojados por el software fueron los siguientes:

Tabla 3.4- Número de corridas a realizar en la fermentación acética y composición de cada una

No. Corridas	Contenido de Trub y Afrecho (%)	Contenido de Etanol (%)	Acidez
1	15	85	4,4
2	12,5	87,5	4,5
3	7,5	92,5	5,3
4	10	90	5,1
5	5	95	5,4
6	15	85	4,4
7	5	95	5,4

Las mejores mezclas son la 5 y la 7 ya que representan el contenido más alto de acidez.

El modelo seleccionado es el lineal por ser el más adecuado para los datos obtenidos teniendo en cuenta que el mismo presenta un p-valor inferior a 0,01 demostrando que hay una relación estadísticamente significativa entre Acidez y los componentes, a un 99% de nivel de confianza.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{Acidez} = 4,39524 \cdot \text{ContTrubAfrecho} + 5,4619 \cdot \text{ContE tanol} \quad (3.1)$$

donde los valores de los componentes son especificados en pseudo componentes.

Cada uno de los resultados del software con sus especificaciones se muestra en el anexo 3.

➤ Determinación del grado alcohólico

El contenido de alcohol en las diferentes muestras de cada variante arrojó los siguientes resultados:

Tabla 3.5- Contenido de etanol en cada muestra

Variante	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C
Grado alcohólico	3,00	3,54	3,6	4,66	4,72	4,8	5,30	5,36	5,4

Las muestras que mayor grado alcohólico presentan son las que mayor °Brix alcanzaron en el proceso de fermentación.

➤ Determinación de ácido acético

El contenido de ácido acético durante el proceso de fermentación debe de ir aumentando, debido a la degradación del etanol por parte de las acetobacter presentes en el medio. Los resultados que se muestran para este análisis en el anexo 4 reflejan un comportamiento creciente, con valores máximos que fluctúan entre 3.9 - 4.8 g/100ml. Los mayores contenidos de ácido acético lo presentan las muestras 5 y 7, lo cual se atribuye a la composición de las muestras en cuanto al contenido de extracto de Afrecho y Trub y el contenido de etanol.

➤ Pruebas de calidad

Al vinagre obtenido se le realizaron distintas pruebas de calidad siguiendo las normas internacionales y cubanas.

Los resultados que arrojaron las mediciones de densidad relativa, extracto seco y cenizas se muestran a continuación.

Tabla 3.6- Análisis de calidad

Especificaciones	Vinagre según NM-F-122	Vinagre obtenido
Densidad relativa a 15 ⁰ C	1,013-1,025	1,020
Extracto seco %	1,8-4,52	4,1
Cenizas%	0,25-0,45	0,40

Según lo establecido por la NMX F-122:1968, los resultados se encuentran dentro del rango normado.

Los resultados que arrojaron los análisis realizados en el Instituto de Investigación de los Alimentos fueron los siguientes:

El vinagre presenta un aspecto semitransparente con un color caramelo que puede estar asociado a la cebada malteada presente en el afrecho. El mismo se encuentra libre de turbidez y de partículas en suspensión además presenta un ligero aroma suave a plátano con un sabor característico a ácido acético.

Teniendo en cuenta los requerimientos técnicos del vinagre de frutas y comparándolos con el vinagre obtenido y además realizando una comparación posteriormente con el vinagre “El Pinche” producido en la provincia de Sancti Spiritus podemos decir que el que se obtuvo es un vinagre de calidad.

Tabla 3.7- Comparación de varios vinagres con el nuestro

Especificaciones	Vinagre de frutas	“El pinche”	Vinagre obtenido
-------------------------	--------------------------	--------------------	-------------------------

<i>pH</i>	2,50	2,6	2,54
<i>Acidez Total</i>	5	5	5,4
<i>Densidad</i>	1,005-1,013	1.018	1,020
<i>Aspecto</i>	<i>Límpido y brillante</i>	<i>Límpido y brillante</i>	<i>Semitransparente libre de turbidez</i>
<i>Olor</i>	<i>Característico</i>	<i>Característico</i>	<i>Característico</i>
<i>Color</i>	<i>De acuerdo al tipo de fruta empleado</i>	<i>Carmelita</i>	<i>Caramelo</i>
<i>Sabor</i>	<i>Característico</i>	<i>Característico</i>	<i>Característico</i>

3.4- Propuesta de un esquema tecnológico para la obtención de vinagre a escala de planta piloto, a partir de almidón de plátano y residuos de la producción de cerveza.

El esquema se ilustra en el anexo 4.

Resultados del Balance de masa

Para la etapa de fermentación acética

$$V_{CH_3COOH_{(30L)}} = 1500cm^3$$

$$m_{CH_3COOH} = 1,51kg$$

$$m_{100\%C_2H_5OH(30L)} = 1,53g$$

$$m_{95\%C_2H_5OH(30L)} = 2,42kg$$

Para la etapa de fermentación alcohólica

$$m_{C_2H_5OH(100\%)} = 0,51g$$

$$m_{85\%C_2H_5OH} = 0,433g$$

$$m_{C_6H_{12}O_6(30L)} = 5,7kg$$

Para la etapa de maceración

$$m_{almidón(30L)} = 8kg$$

$$m_{plátano(30L)} = 16kg$$

Para la etapa del lavado de los frutos

$$V_{H_2O(m_{plátano(30L)})} = 0,048m^3$$

$$m_{H_2O(Lavado)} = 47,86kg$$

$$m_{inertes} = 0,16kg$$

$$m_{plátano(Lavado)} = 17,6kg$$

$$m_{H_2O(plátanoLavado)} = 1,76kg$$

$$m_{H_2O+inertes} = 46,26kg$$

Para la etapa de molienda del plátano

$$m_{H_2O(1kgplátano)} = 0,997kg$$

$$m_{H_2O(molienda)} = 17,55kg$$

Se tomó un 25 % de residuo y un 6 % de humedad teniendo en cuenta el criterio número ocho.

$$m_{residuo} = 4,4kg$$

$$m_{H_2O(Residuo)} = 0,264kg$$

$$m_{H_2O(pulpa)} = 17,28kg$$

$$m_{pulpa} = 30,48kg$$

$$V_{pulpa} = 0,030m^3$$

Diseño de equipos para obtener vinagre

Diseño de la bomba

Datos:

$$z_1 = 0,5m$$

$$\rho = 1120kg / m^3$$

$$g = 9,8m / s^2$$

$$\mu = 1,127cp$$

$$q = 0,030m^3 / h$$

$$P1 = 101325 Pa / s$$

$$P2 = 458756 Pa / s$$

$$L = 3m$$

El sistema tiene cuatro codos de 90° estándares, una válvula de compuerta abierta en la línea de succión de la bomba y una de globo en la línea de descarga.

Según la Tabla 10 página 281 del Rosabal Tomo I el diámetro interno para tuberías de 1/8 in es de 6,83 mm.

El coeficiente de rugosidad (e) para tubos de acero sin costura en la tabla 9 página 281 del Rosabal Tomo I es de 0,2 mm.

El coeficiente de resistencia hidráulica (K) para los codos y la válvula del sistema son de 0,75 y 0,17 respectivamente y se obtuvieron de la Tabla 3.1 página 102 del Rosabal Tomo I.

Atendiendo a los datos, el resultado de los cálculos realizados para el diseño de la bomba son los siguientes:

$$V = 1,7m / s$$

$$Re = 11500 \text{ Turbulrnto}$$

$$e / d = 0,03$$

Según la figura 3.9 página 89 del Rosabal Tomo I

$$f = 0.058$$

$$hf_{tuberias} = 0,37m$$

$$hf_{accesorios} = 0,095m$$

$$\Sigma Hf_{Total} = 0,465m$$

$$Hb = 7,97m$$

Tabla 3.8 – Modelo de bomba seleccionado

Bomba	LaroxFlowsys
Serie	LPP-T25
Caudal Máximo	Hasta 1 m ³ /h
H (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 catálogo no se pudo determinar si la bomba cavita o no con el flujo y la carga del sistema calculados previamente.

Diseño del enfriador

Para el diseño del equipo se tuvieron en cuenta una serie de parámetros.

Parámetros y cálculos para el diseño.

- Pérdidas de calor despreciables.
- Medio de calentamiento (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 5 mm.
- Espesor de las placas es de 2 mm.
- Ancho de las placas (W) es de 0,25 m.

- Largo de las placas (L) 0,50 mm.
- Se asume flujos en paralelo.
- Se elige un intercambiador Twinplate PHE de 30 – 180 °C.
- Las juntas que se eligieron son de gomas nitrílicas de temperatura hasta 135 °C.

Datos para el diseño

- La temperatura de entrada del almidón macerado es de 90⁰C.
- La temperatura de salida del almidón macerado es de 30 °C.
- La temperatura de entrada del agua de 25 ° C.
- La temperatura de salida del agua es de 85 °C.
- Conductividad térmica del agua a la temp. media. (K) es de $67.4 \cdot 10^{-2}$ W/m.°C.
- Conductividad térmica de la Malta a la temp. media. (K) es de $64 \cdot 10^{-2}$ W/m.°C.
- Gravedad específica (ge) de una solución azucarada es de 1.06968.
- El flujo de almidón macerado a enfriar es de 0.030 m³/h.

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

1. $q = 1118,88 \text{ kcal} / h$

2. $T_{\text{salefrío}} = 85^0 C$

Tabla 3.9- Propiedades físicas de los fluidos a la temperatura media. (Perry,2008).

Propiedades	Líquido frío	Líquido caliente
--------------------	---------------------	-------------------------

<i>Temperatura media</i>	55°C	60°C
<i>Densidad</i>	$0,9857 \text{ g/cm}^3$	$1,68 \text{ g/cm}^3$
<i>Calor específico</i>	$1,00007 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$	$0,555 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
<i>Viscosidad</i>	$0,55 \text{ cP}$	$1,127 \text{ cP}$
<i>Conductividad térmica</i>	$0,643 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$	$0,640 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$

3. $\Delta T_m = 49,18$

4. $NTU_{\text{almidonmacerado}} = 1,22$

$NTU_{\text{agua}} = 0,81$

5. $R = 0,5$

6. $S = 0,67$

7. $F_t = 0,79$

8. $Re_{\text{almidonmaerado}} = 35776,4$

$Re_{\text{agua}} = 40669$

9. $Pr_{\text{almidonmaerdao}} = 5,4$

$Pr_{\text{agua}} = 4,7$

10. $h_{\text{almidonmaerado}} = 48336 \text{ W / m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$h_{agua} = 50086W / m^2 C$$

$$11. Ks = 1409,48Kcal / hm^{20}C$$

$$12. At = 0,58m^2$$

$$13. N = 25Placas$$

El intercambiador diseñado tiene un área de transferencia de calor de 0.58 m², un número de placas de 25.

3.5- Cálculos económicos

Costo de adquisición de los equipos diseñados

$$C_{Adqenfriador} = 490,74USD$$

$$C_{AdqBomba} = 95,4USD$$

$$C_{AdqTotal} = 586,1USD$$

Cálculo del costo de un litro de vinagre

Costo del vinagre producido (1L)			
Materia prima	PUP	M	CMP
Plátano	0,05 \$/lb	35,2 lb	1,76
Enzima Termamyl	5,54USD/L	0,004 L	0,022
Enzima Papaina	6,72USD/L	0,002L	0,013
Levadura cervecera	0,009\$/g	0.1g	0,0009
Bacterias acéticas	3,21USD/L	0.005L	0,016

$$BB = 13,33\$$$

Para producir 1L de vinagre en la industria se gasta \$ 0.65 según (**Sanders, 2010**) mientras que el costo del vinagre nuestro es de \$ 0.47. El valor de BB es de \$13.33. Se obtuvo como resultado después de haber realizado todos los cálculos que la elaboración del vinagre es factible económicamente. Los cálculos se realizaron haciendo uso del programa Microsoft Excel.

Conclusiones parciales

1. El rendimiento de almidón extraído es alto en comparación con el obtenido por otros autores.
2. La variante más económica es la uno, por ser la que teniendo en cuenta los costos actuales, menos enzima consume.
3. El vinagre obtenido en el laboratorio es de calidad y económicamente factible, teniendo en cuenta los requerimientos normados para este producto.

Conclusiones Generales

- Puede obtenerse vinagre a partir del almidón del plátano y residuos de producción de cerveza.
- Es necesario degradar el almidón para poder obtener azúcares.
- La variante más económica para degradar el almidón es la variante 1, ya que es la que menos cantidad de enzima consume.
- El mejor vinagre que se obtuvo fue el que tenía una composición de 95 % de etanol y 15 % de Afrecho y Trub (muestras 5 y 7), lográndose una concentración de ácido acético de 5,4 %, pH 2.54, color caramelo, olor típico, sabor característico.
- Para enfriar el almidón macerado se diseñó un intercambiador de placa (Twinplate PHE, $A_t = 0,58 \text{ m}^2$ y $N = 25$ Placas), se seleccionó la bomba LaroxFlowsys LPP-T25.
- Se obtiene un Beneficio Bruto positivo para la producción de vinagre de calidad (5 y 7), lo que indica que su producción es económicamente factible

Recomendaciones

- Realizar un estudio más profundo de las características físico- químicas del almidón del plátano, para lograr una mayor eficiencia durante el proceso de maceración.
- Aplicar el estudio realizado a otras variedades de plátano para su uso como fuente de materia prima en el proceso.
- Realizar una valoración energética del agua caliente que sale del enfriador para su posterior uso en el precalentamiento de la pulpa de almidón a macerar.
- Realizar una valoración nutricional de los residuales sólidos del proceso para su comercialización como alimento animal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón F. 1996. Obtención de almidones a pequeña escala; proceso general de extracción. Universidad Central de Venezuela, Marcecay. p: 349-364.
2. Arce, J., Betancourt, R., Motta N. laboratorio de química General. McGrawHill. 2001. ISBN970-10-2593-8.
3. Banco Central de Cuba, 2009. Información Económica, Año. 3, No. 250.
4. Bello-Pérez, L.A. y Paredes-López, O. 1999. El almidón: lo comemos pero no lo conocemos. *Ciencia* 50: 29-33.
5. Brizuela, E 1987. Aspectos fundamentales del diseño de plantas industriales. Editorial ISPJAE. Ciudad de la Habana.
6. Chiang, B.H., Chu, W.C. and Chu, C.L. A pilot scale study for banana starch production, *Starch/Stärke* 39: 5-8, 1987.
7. Conner y Allgeier, H. C. 1976. 'Adv', *ApplMicrobiol*, vol. 20, p. 111-111.
8. Déak T, Beuchat LR. 1996. Handbook of Food Spoilage Yeasts. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
9. Faisant, N., Buleón, A., Colonna, O., Molis, C., Lartigue, S., Galmiche, J.P. and Champ, M. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch.. *Br. J. Nutr.* 73:111-123, 1995.
10. FAOSTAT. 2001. Database from Food and Agriculture Organization. Of the United Nations.
11. Filho, W.G.V. (2005). Tecnologia de bebidas. 1ª edição. Editor Edgard Blücher. Brasil.
12. Flores-Gorosquera, E., F.J. Garcia-Suarez, E. Flores-Huicochea, M. C. Nuñez-Santiago, R. A. González-Soto, y L. A. Bello-Perez. 2004. Rendimiento del proceso en la extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Cient. Venez.* 55:86-90.

13. Fox, B. A., and A. g. Cameron. 1997. Carbohidratos. In: Ciencia de los Alimentos, Nutrición y salud. Grupo Noriega editores, Eds. Limusa, S. A de C. v. Mexico, D. F. pp:35-43.
14. Gaiser E., Kottke V, “ High performance plate heat exchangers, N° 9 / 1990 . “ Chemical Plants & Processing, Reproduced for W. Schmidt – Bretten GmbH.
15. García-García, I. S.; Jiménez-Ot, J.E. Jiménez-Hornero, J.L. Bonilla–Venceslada. 2009. 'Vinegar Engineering', in *Vinegars of the World*, L. Solieri y P. Giudici, Springer-Verlag, Milán, Italia, p. 98-98.
16. Giudici P. 1993. Acido gluconico: criterio di genuinità nell'Aceto Balsamico Tradizionale. *Industrie delle Bevande*. XXII: 123-125.
17. Giudici P., Masini G. 1995. Produzione di acido gluconico da ceppi di *Acetobacter* e *Gluconobacter* in mosto d'uva. *Ann. Enzymol. Microbiol.* 45: 313-319.
18. Goñi, I., García Alonso, A., Mantin-Canon, N., Saura Calixto, F. (2000). In vitro fermentation of different types of alpha-amylase resistant corn starch. *European Food Research and Technology*, 211(5):316-321.
19. Guerrero, E. D. 2008. Control de los procesos de elaboración, calidad y trazabilidad del vinagre de jerez, Cádiz.
20. Hamilton, L., Kelly, C., Forgy, W. (1999). Purification and properties of the raw starch-degrading alpha amylase of *Bacillus* sp IMD 434. *Bio Technology letters* 21(2):111-115.
21. HERVIS, Y.L. 2009. *Temas Seleccionados de Transferencia de Calor*, Universidad de Matanzas.
22. Heinrich, A. 2006. El uso de levadura seca Activa de Vino MAURIVIN. Disponible en Email; anthoney.heinrich@abmauri.com.au.
23. Huige, N.J. 1994. Brewery by – products and effluents. In: *HardWick, W.A. (ed.)*. Handbook of brewing. New York: Marcel Dekker, p.501-505.
24. Karma, A. 2004. Selecto de cepas de *Saccharomyces Cerevisiae* para producto de bebida fermentada. Tesis de Maestría. Universidad Federal de lavras.

25. Kilcher, Lukas. "La agricultura orgánica en Cuba: La Revolución se pone verde, *Diario de La agricultura en el trópico y subtrópico*, vol. 102, N^o 2, 2001, pp 185-189.
26. Kunze, Wolfgang. (1999). *Technology Brewing and Malting. International Edition.* VLB Berlin, Germany.
27. LLAGUNO, C.; POLO, M.C. (1991a). La composición química de los vinagres vinicos. En: *El Vinagre de Vino*. Llaguno, C.; Polo, M.C. Eds, pp. 105-132. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
28. LLAGUNO, C.; POLO, M.C. (1991b). Aminoácidos libres y nitrógeno total. En: *El vinagre de vino*. Llaguno, C.; Polo, M.C. Eds. pp. 127-132. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
29. Lii, C.Y., Chang, S.M. and Young, Y.L. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. *J. Food Sci*47: 1493-1497.
30. Lin, L., Chyua, Ch., Hsu, W. (1998). Production and properties of a raw starch degrading enzymes amylases from the thermophile and alkaliphilic *Bacillus* sp. TS23. *Biotechnology and Applied Biotechnology* 28(1):61-68.
31. Mariani, E. 1953. Chromatographic examination of the amino acid of beer and spent grains. *Brasserie et Malterie de Belgique*, v 3, p.50 – 53.
32. MESAS, J. y ALEGRE, M. 1999. 'El papel de los microorganismos en la elaboración del vino.', in *Ciencia y Tecnología Alimentaria.*, pp. 174-183.
33. Miller, G.L., 1959 Use of Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 31, 420-428.
34. NC 83-26:87. Determinación del grado alcohólico en bebidas alcohólicas.
35. NMX-AA-25: 1984. Protección al ambiente - Contaminación del suelo. Residuos sólidos - Determinación del pH – Método potenciométrico. Normas Mexicanas. Dirección general de normas, México, p. 2-3
36. NGO 33 010h3: 1984. Productos elaborados a partir de frutas y hortalizas. Determinación del extracto seco, Norma de Guatemala.
37. NMX-F-122: 1968. Alimentos para uso humano. Calidad para vinagre envasado para consumo público, Normas Mexicanas. Dirección general de normas, México, p. 1-4.

38. Okobo, B., Lu, F., Ezeogie, L., Anyanwi, Ch., Odibo, F. (2000). Purification and some properties of a novel raw starch digesting enzymes amylase from *Aspergillus carbonarius*, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81(3)329-336.
39. Pérez, V.G., Solorio, S., Martínez A., A., Castañeda-Silva, E., Cuarón, J.A. 2001. *Saccharomyces cerevisiae* for growing-finishing pigs in a septic environment. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl. 1):454.
40. Perry R.H., 2008, *Perry's Chemical Engineers Handbook*(7th Ed.), McGraw-Hill, Inc., New York (USA). Disponible *online*: [http://: qmlib.umcc.cu](http://qmlib.umcc.cu).
41. Plessi M., A. Monzani, D. Coppini. 1989. Quantitative determination of acids and derivatives in balsamic and other vinegars. *Sciences des Aliments* 9 : 179-183.
42. Presidencia del Gobierno, 1993. Real Decreto 2070/1993 de 26 de Noviembre por el que se aprueba la Reglamentación Técnico – Sanitaria para la elaboración y comercialización de los vinagres. B. O. E. No. 293, de 8 de Diciembre, Madrid.
43. Potapov. V. M y Tatarinchik (1983). . Las enzimas en el proceso de maceración. Editorial Pueblo y Ecuación. La Habana, Cuba.
44. Rodríguez F *et al.* 2001. Oxygen requirements of the food spoilage yeast *Zygosaccharomyces bailii* in synthetic and complex media. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 2123 – 2128.
45. Rosabal J, M. 2006. *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*, Félix Varela, La Habana, Cuba, Tomo 2.
46. Sanders, G. S. 2010, "Obtención de vinagre a partir de residuos de la industria cervecera a escala piloto en la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos." Universidad de Matanzas. Facultad de Ingeniería Química.
47. Santos D., 1998.- Estudio de la calidad de los vinagres vínicos comerciales. TFC. Escola Superior d'Agricultura. Barcelona 1993. Real Decreto 2070/1993 de 26 de noviembre, Boletín Oficial del Estado no 293 de 8 de diciembre. Madrid, España.
48. Simmonds NW. 1997, Antecedentes botánicos: posición sistemática y morfología vegetativa. En: Simmonds NW *Técnicas agrícolas y producciones tropicales "Los plátanos"*. ed. Tuset 17 Barcelona 6; Rosario, 17- Madrid 5, 14, 469 pa .

49. Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton, D., Crocker, D., (1998). "Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass." Laboratory Analytical Procedure (LAP). Technical Report NREL/TP-510-42618. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado.
50. Solange, I. M. 2007, "Aproveitamento integral de subproduto de la industria cervejeira em procesos químicos e biotecnológicos," Universidad de São Paulo. Escola de Ingeniería de Lorena.
51. TREYBAL, R. E. 1980. Operaciones con transferencia de masa. Edición Revolucionaria.
52. Walter, G. (2000). Nucleótidos del extracto de levadura, potencial para reemplazar fuentes de proteína animal en las dietas alimenticias para animales. Disponible en internet en: <http://www.engormix.com/nucleotidos>.
53. Wood, B. 1985. '*Microbiology of fermented foods*', Elsevier Applied Science Publishers, London y New York, p371.

Anexos

Anexo1



Figura 1-Planta de plátano Musa paradisiaca.

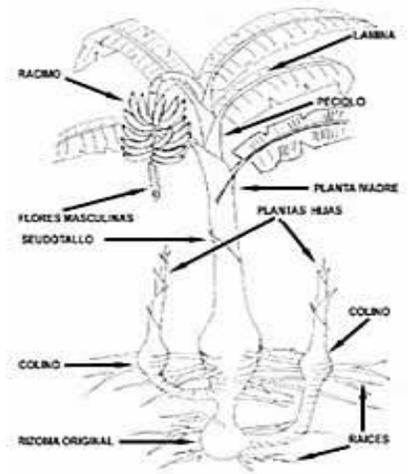


Figura 2- Partes de la planta.



Figura 3- Etapa de troceado del proceso de extracción del almidón.



Figura 4



Figura5

Figuras 4 y 5- Etapas del proceso de extracción del almidón del plátano.

Anexo2

Tabla 1- Peso de los pomos cada 24 h.

tiempo (día)	Peso de los pomos (g) Variante1	Peso de los pomos (g) Variante2	Peso de los pomos (g) Variante3
1	643,06	624,58	637,28
2	639,08	619,92	634,99
3	636,47	617,23	633,94
4	636,22	616,33	633,29
5	635,93	616,01	632,78
6	635,91	615,56	632,63
7	635,9	615,24	632,3

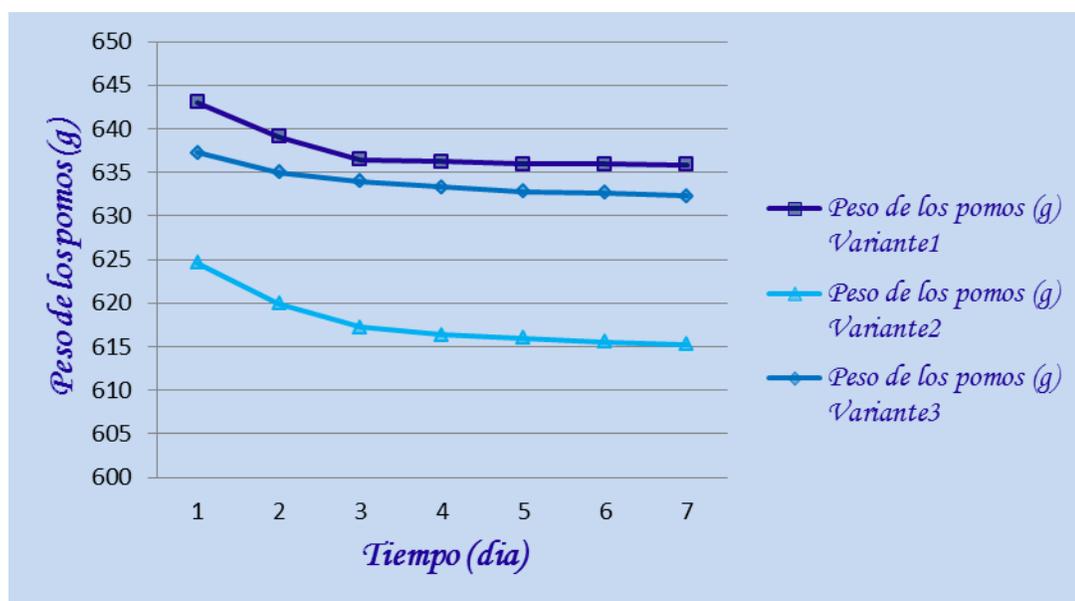


Gráfico 1- Peso de los pomos cada 24 h.

Tabla 2- ^oBrix cada 24 h.

tiempo (días)	OBrix Variante1	OBrix Variante2	OBrix Variante3
0	18	17,5	17
1	15	15,2	16,3
2	12	14,4	15,2
3	11,6	13,5	14
4	10,5	13	12,6
5	9,5	11,3	11,5
6	9,3	10,5	11,5
7	9,3	10,4	11,2

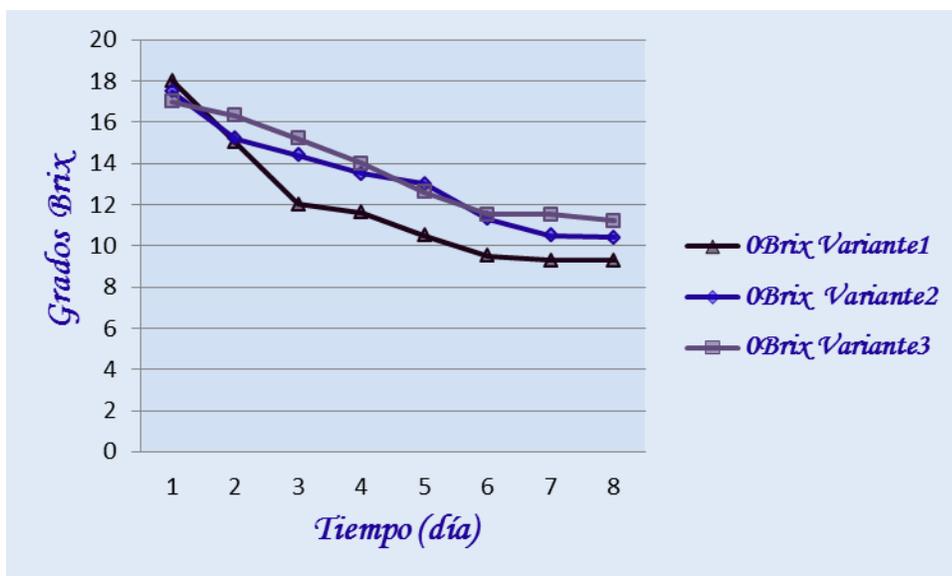
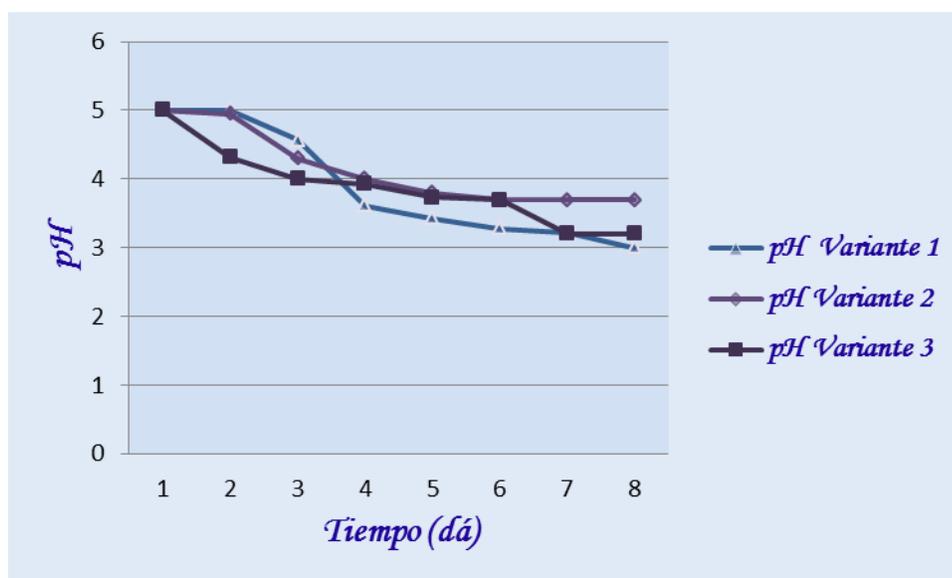


Gráfico 2- °Brix cada 24 h.

Tabla 3- pH cada 24 h.

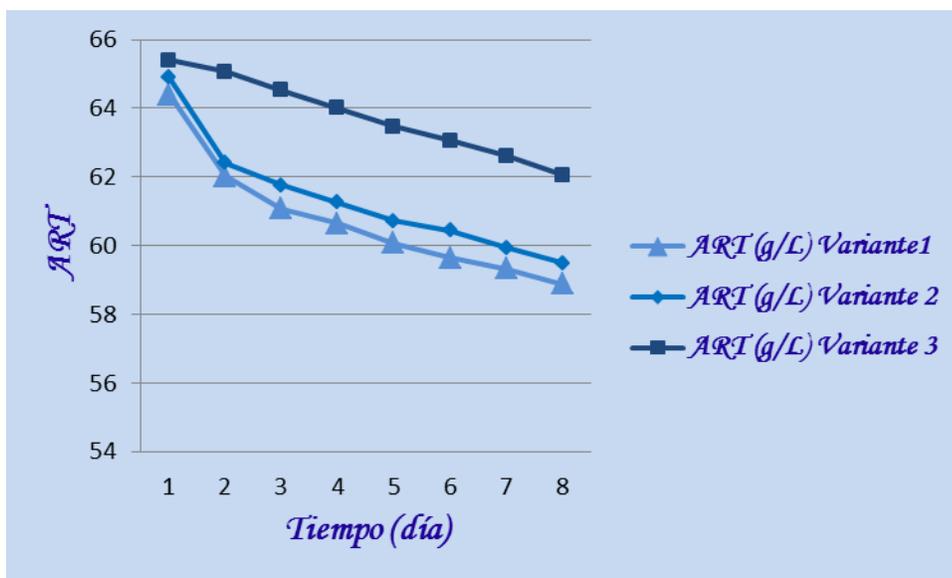
Tiempo (días)	pH para 0,5 mL enzima	pH para 1 mL enzima	pH para 1,5 mL enzima
0	5	5	5
1	5	4,95	4,32
2	4,57	4,3	4
3	3,61	4	3,93
4	3,43	3,8	3,73
5	3,28	3,7	3,7
6	3,22	3,7	3,2
7	3	3,7	3,2



Gráfica 3- pH cada 24 h.

Tabla 4- Azúcares Reductores Totales (ART) cada 24 h.

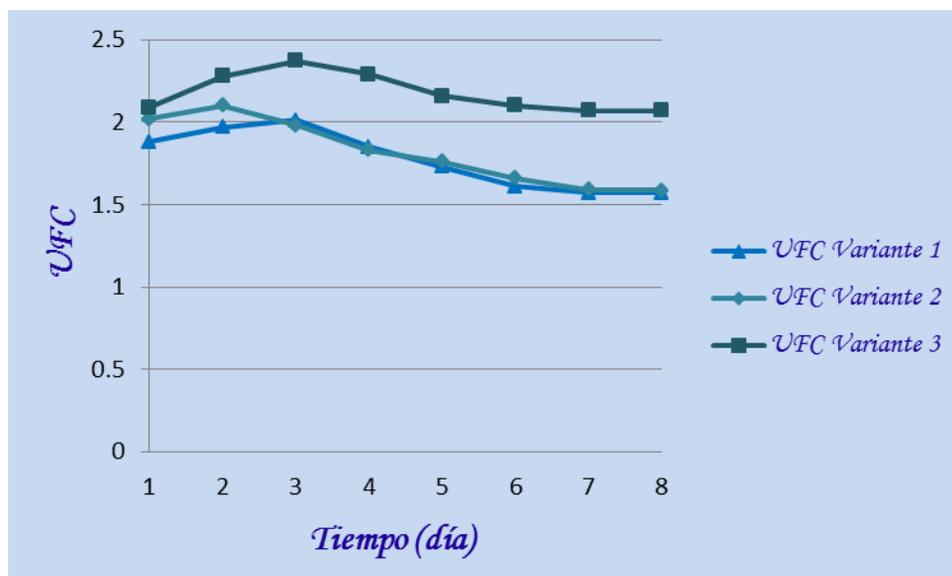
Tiempo (día)	ART (g/L) Variante1	ART (g/L) Variante 2	ART (g/L) Variante 3
0	64,4022644	64,9017649	65,4012654
1	62,02131202	62,4042624	65,06826507
2	61,07226107	61,75491175	64,53546454
3	60,65601066	61,25541126	64,002664
4	60,07326007	60,72261072	63,46986347
5	59,64035964	60,43956044	63,07026307
6	59,32400932	59,94005994	62,62071262
7	58,89110889	59,50715951	62,05461205



Gráfica 4- Azúcares Reductores Totales (ART) cada 24 h.

Tabla 5- Unidades Formadoras de Colonias (UFC) cada 24 h.

Tiempo (días)	UFC 0,5 mL enzima	UFC 1 mL enzima	UFC 1,5 mL enzima
0	1,88	2,02	2,09
1	1,97	2,1	2,28
2	2,01	1,98	2,37
3	1,85	1,83	2,29
4	1,73	1,76	2,16
5	1,61	1,66	2,1
6	1,57	1,59	2,07
7	1,572	1,586	2,07



Gráfica 5- Unidades Formadoras de Colonias (UFC) cada 24 h.

Anexo 3

Resultados del software

Modelo Completo de Efectos Estimados para Acidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Medio Cuadrado	F-Ratio	P-Valor
Media	170,036	1	170,036		
Lineal	1,28	1	1,28	86,15	0,0002
Cuadrático	0,0134161	1	0,0134161	0,88	0,4009
Cúbico	0,04	1	0,04	5,75	0,0961
Error	0,0208696	3	0,00695652		
Total	171,39	7			

Modelo Completo de Resultados

Modelo	SE	R-Cuadrado	R-CuadradoAjust.
Lineal	0,12189	94,51	93,42
Cuadrático	0,123359	95,51	93,26
Cúbico	0,0834058	98,46	96,92

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	1,28	1	1,28	86,15	0,0002
Error Total	0,0742857	5	0,0148571		
Total (corr.)	1,35429	6			

R-cuadrado = 94,5148 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93,4177 por ciento
Error Estándar de Est. = 0,12189
Error absoluto de la media = 0,0816327
Estadístico Durbin-Watson = 2,24359
Autocorrelación residual Lag 1 = -0,147741

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 94,5148% 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 93,4177%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0,12189. El error absoluto de la media (MAE) de 0,0816327 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 Estimación	Estadístico Estándar	T	P-Valor
A:ContTrubAfrecho	4,39524	0,0736481		
B:ContEtanol	5,4619	0,0736481		

R-cuadrado = 94,5148 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 93,4177 por ciento
Error Estándar de Est. = 0,12189
Error absoluto de la media = 0,0816327
Estadístico Durbin-Watson = 2,24359
Autocorrelación residual Lag 1 = -0,147741

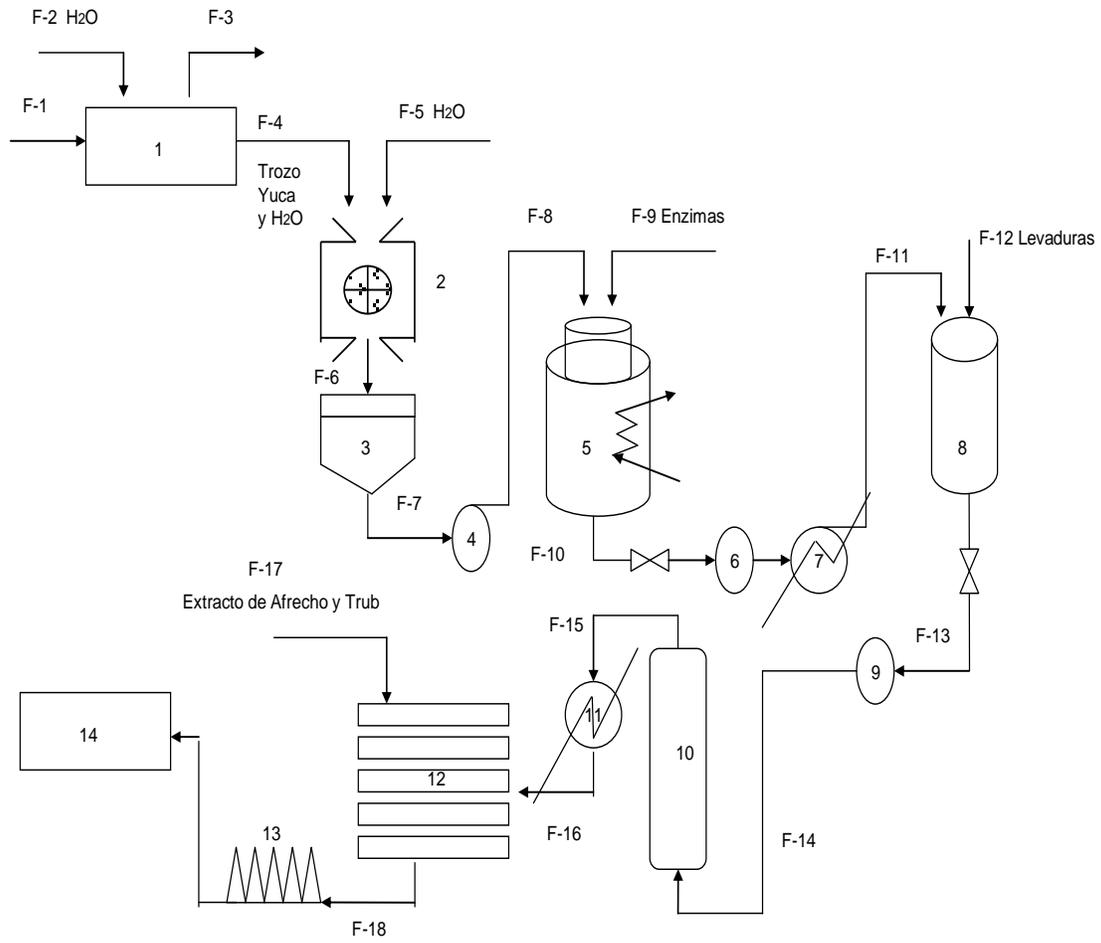
El StatAdvisor

Esta ventana muestra la ecuación del modelo lineal ajustado. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Acidez} = 4,39524 * \text{ContTrubAfrecho} + 5,4619 * \text{ContEtanol}$$

donde los valores de los componentes son especificados en pseudo componentes.

Anexo 4



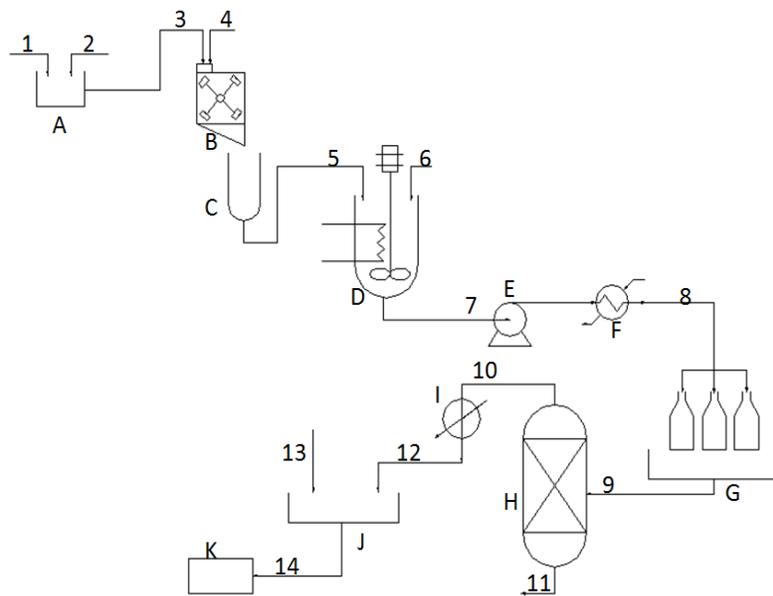
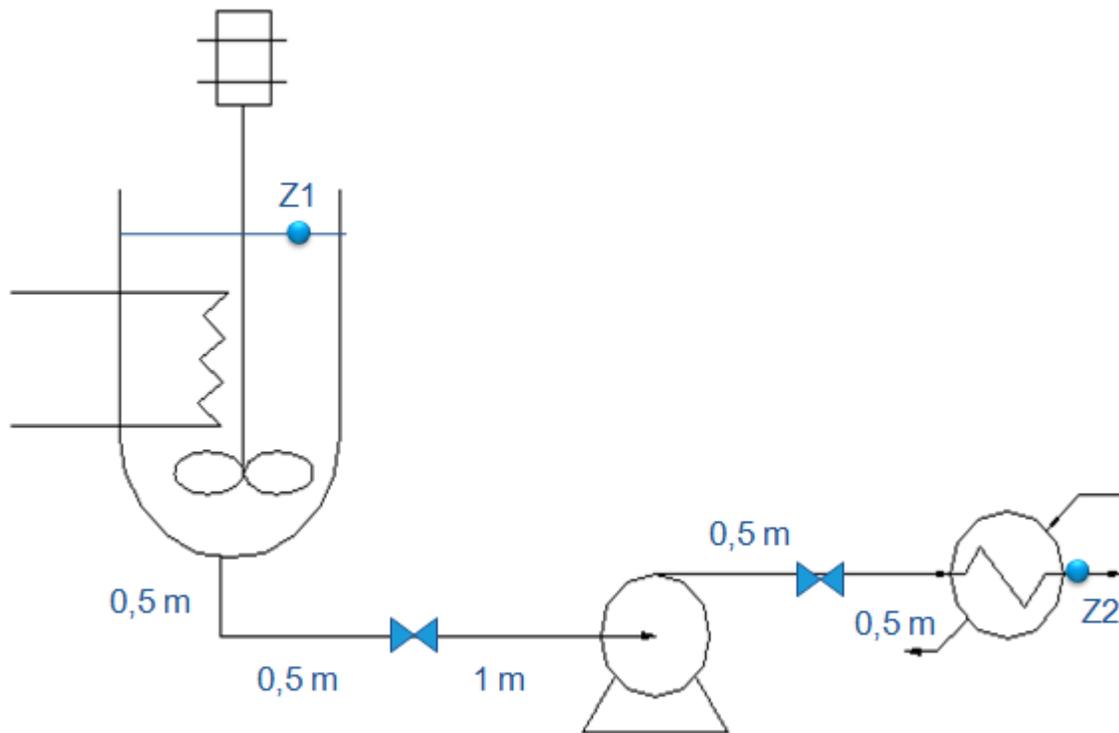


Figura 1. Esquema del proceso de obtención de vinagre a escala de planta piloto.

Leyenda:

- 1-Flujo de Plátano.
- 2-Flujo de agua para lavar.
- 3-Flujo de plátano lavado.
- 4-Flujo de agua para molienda.
- 5-Pulpa de plátano molida.
- 6-enzima α -amilasa.
- 7-Almidón macerado.
- 8-Almidón macerado enfriado.
- 9-Licor fermentado.
- 11-Residuo del destilado.
- 12-Etanol.
- 13-Mescla de Afrecho y Trub.
- 14-Vinagre.
- A-Tanque de lavado.
- B-Molino de Martillo.
- C-Tanque de recepción de pulpa de plátano molida.
- D-Macerador.
- E-Bomba.
- F-Enfriador.
- G-Fermentadores.
- H-Columna de destilación.
- I-Condensador.
- J-Bandejas fermentadoras.
- K-Embotellado.

Anexo 5



Anexo 6

Costos de las materias primas para producir vinagre a partir de almidón de plátano y residuos de la producción de cerveza, a escala de planta piloto.

<i>Materia Prima</i>	<i>Costo</i>
<i>Plátano</i>	<i>0,5 \$/lb</i>
<i>Enzima Termamyl</i>	<i>5,54 \$/L</i>
<i>Enzima Papaina</i>	<i>6,72 \$/L</i>
<i>Levadura</i>	<i>0,009 \$/g</i>
<i>Bacterias acéticas</i>	<i>3,21 \$/L</i>

<i>Servicios auxiliares</i>	<i>Costo</i>
<i>Agua de enfriamiento</i>	<i>0,122 \$/m³</i>
<i>Agua de lavado</i>	<i>0,01 \$/m³</i>
<i>Energía eléctrica</i>	<i>0,30 \$/kW</i>

