

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Departamento de Ingeniería Química

TRABAJO DE DIPLOMA

"Estudio de factibilidad del montaje de una Destilería de alcohol orgánico en la UEB Carlos Baliño".

Autora: Ana Li Rivas Mederos

Tutores: DrC. Irenia Gallardo Aguilar

Ing. Yisel Pérez Milian

2019-2020

Santa Clara
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Department of Chemical Engineering

DIPLOMA THESIS

**"Feasibility study for setting up an organic alcohol
destillery at UEB Carlos Baliño".**

Author: Ana Li Rivas Mederos

Tutors: DrC. Irenia Gallardo Aguilar

Ing. Yisel Pérez Milian

2019-2020

Santa Clara
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“Un científico en su laboratorio no es sólo un técnico: es también un niño colocado ante fenómenos naturales que le impresionan como un cuento de hadas”.

Marie Curie.

Dedicatoria

- ✓ *A mi papá que por ser mi luz y guía espiritual pues aunque no esté me enseñó a superar las dificultades con entereza.*
- ✓ *A mi madre por apoyarme en cada etapa de mi vida y ser mi fortaleza.*
- ✓ *A mis amigos que son la alegría y el hálito de esperanza de mi existencia.*
- ✓ *A mi amigo Nadil Torres por ser mi más reciente ángel de la guarda y mi hombro de apoyo durante todo el tiempo que estuvo a mi lado.*
- ✓ *A Dios por darme el ímpetu necesario para afrontar cada prueba del destino y seguir luchando por mis sueños.*

Agradecimientos

- ✓ *Agradezco a mi papá Radico Rivas, por ser siempre mi fuerza, vivir en mis recuerdos y en mi corazón cada día mostrándome el camino que debo seguir.*
- ✓ *Agradezco a mi mamá Ana Cristina Mederos, por su apoyo incondicional no solo como madre sino como amiga, aguantar mis disímiles estados de ánimos y nunca perder la fe en mí.*
 - ✓ *Agradezco a mi hermana Damisela Rivas, por ser esa voz tenue y calmante en los momentos más difíciles y jamás permitir que me rinda.*
- ✓ *Agradezco a mis hermanos Yasmany Rivas, Radico Rivas y Enrique Rivas por ser un soporte condicional en mi vida.*
 - ✓ *Agradezco a Dios por darme el valor y la tenacidad de afrontar cada prueba de la vida de manera positiva.*
- ✓ *Agradezco a mi tutora Irenia Gallardo, por ser la persona que mas me animó y ayudó en esta etapa, no solo como tutora sino como una madre preocupada por el éxito de sus hijos.*
- ✓ *Agradezco a mi tutora Yisel Pérez, por brindarme su fortaleza y consejos en los momentos de mayor presión.*
- ✓ *Agradezco a Reiyis Chávez y Meri Chávez, por ser esa segunda familia con la que siempre puedo contar en todo momento.*
 - ✓ *Agradezco a mis compañeros de aula con los que compartí momentos increíbles en estos cinco años y con los que sé que faltan momentos por vivir.*
 - ✓ *Agradezco a todos los profesores que contribuyeron a mi formación como ingeniera y como mejor persona pues más que profesores fueron unos miembros más de mi familia.*
 - ✓ *Agradezco a mis amigas Jennifer, Rocío, Eylín, Meivis y Lauren por su amistad y sustento absoluto en cada período de mi vida.*
- ✓ *Agradezco a todo él que de una u otra manera ha contribuido en la realización de este trabajo.*

A todos, muchas gracias.

Resumen.

En la presente investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los aspectos más importantes del proceso de obtención de etanol, generalidades de la etapa de fermentación y destilación, las ventajas de estas etapas para el proceso, así como generalidades de las producciones orgánicas y sus nutrientes.

Se continuó el estudio, a escala de laboratorio, de la obtención de alcohol orgánico, con miel B orgánica, como materia prima, realizándose un diseño experimental de tipo factorial completo donde las variables a analizar sobre el grado alcohólico fueron la concentración de levadura a emplear en la pre fermentación y la concentración de azúcares en el fermentador, dando como resultado que la concentración de sustrato fue la variable de mayor influencia en el contenido de etanol obtenido.

Se realizaron los balances de masa, para el estudio de una posible destilería en la UEB del CAI “Carlos Baliño” para una capacidad de 125 hL/día, con el diseño preliminar del equipamiento fundamental, los cuales fueron programados en el software profesional Microsoft Excel, demostrando su eficiencia tecnológica apoyándonos en los parámetros de diseño más importantes que son la altura y diámetro de los equipos fundamentales y por tanto su tamaño y capacidad.

Se determinaron los indicadores económicos con una inversión de \$ 442895,24 y un costo de producción de \$ 263450,91 anuales y un VAN negativo, por lo que la inversión, no resultó factible desde el punto de vista económico, debido a la cantidad de miel de que se dispone, pero si desde el punto de vista social para el territorio.

Abstract.

In the present investigation, a bibliographic review of the most important aspects of the process of obtaining ethanol, generalities of the fermentation and distillation stage, the advantages of the process, as well as generalities of organic productions and their nutrients was carried out.

The study was continued, at a laboratory scale, of obtaining organic alcohol, with organic B honey, as raw material, carrying out an experimental design of a full factorial type where the variables to be analyzed on the alcoholic degree were the concentration of yeast to be used in pre-fermentation and the concentration of sugars in the fermenter, resulting in the concentration of the substrate being the variable with the greatest influence on the content of ethanol obtained.

The mass balances were carried out, for study of a possible distillery in the UEB of the "Carlos Baliño" for a capacity of 125 hL/day, with the preliminary design of the fundamental equipment, which were programmed in the professional Microsoft Excel software, demonstrating its technological efficiency by relying on the most important design parameters, which are the height and diameter of the fundamental equipment and therefore its size and capacity.

The economic indicators were determined with an investment of \$ 442 895,24 and a production cost of \$ 263 450,91 per year and a negative NPV, so that investment was not feasible from an economic point of view, due to the amount of the amount of that is available, but if from social point of view the territory.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.....	3
1.1 Generalidades del alcohol.....	3
1.1.1 Propiedades del alcohol etílico.....	3
1.1.2 Aplicaciones del alcohol etílico.....	4
1.2 Proceso de obtención del alcohol.....	5
1.2.1 Obtención del alcohol por vía fermentativa.....	5
1.2.2 Miel final como materia prima.....	6
1.2.3 Etapa de Prefermentación.....	6
1.2.4 Etapa de Fermentación.....	7
1.2.5 Etapa de Destilación.....	8
1.2.6 Levaduras empleadas en el proceso.....	9
1.3 Producciones orgánicas.....	10
1.3.1 Importancia de las producciones orgánicas.....	11
1.4 Producciones orgánicas en Cuba.....	11
1.4.1 Azúcar orgánica.....	12
1.4.2 Miel orgánica.....	13
1.4.3 Alcohol orgánico.....	14
1.5 Empleo de cultivos mixtos de microorganismos en la fermentación.....	16
1.6 Nutrientes.....	17
1.7 Citricultura en Cuba. Industria Ceballos.....	17
1.7.1 Concentrado de Jugo de Naranja.....	18
1.8 Escalado de procesos químicos y bioquímicos.....	18
1.9 Generalidades de Diseño Industrial.....	18
1.9.1 Metodologías de Diseño.....	19
1.10 Factibilidad económica.....	20
1.10.1 Punto de Equilibrio.....	21
1.10.2 Valor Presente Neto.....	21
1.10.3 Tasa Interna de Retorno.....	21

Capítulo 2. Desarrollo Experimental.....	23
2.1 Materias primas empleadas.....	23
2.2 Desarrollo de los experimentos.....	24
2.3 Diseño Experimental	24
2.3.1 Determinación de las variables.....	25
2.3.2 Etapa de pre-fermentación en el laboratorio.....	26
2.3.3 Etapa de fermentación en el laboratorio.....	26
2.4 Resultados de la etapa de pre-fermentación y fermentación.....	27
2.5 Análisis estadístico de los resultados obtenidos.....	29
2.5.1 Análisis estadístico del consumo celular.....	30
2.5.2 Análisis estadístico del Grado alcohólico.....	31
2.5.3 Análisis estadístico de la productividad.....	32
Capítulo 3. Diseño de equipamiento y factibilidad económica para la propuesta de una destilería en la UEB. Carlos Baliño.....	33
3.1 Propuesta del proceso.....	33
3.2 Balance de Materiales.....	33
3.3 Diseño de equipos.....	38
3.3.1 Balances de Masa y Energía para las corrientes.....	38
3.3.2 Diseño del pre-fermentador.....	42
3.3.3 Diseño del Fermentador.....	43
3.3.4 Diseño de la columna de destilación.....	43
3.3.5 Diseño del Intercambiador de Calor I (Condensador).....	44
3.3.6 Intercambiador de calor II.....	46
3.3.7 Diseño del tanque de mezclado.....	47
3.3.8 Diseño del tanque de dilución.....	47
3.3.9 Diseño del tanque de almacenamiento.....	48
Análisis de los resultados del diseño:.....	48
3.4 Escalado de los resultados obtenidos en el laboratorio a nivel industrial.....	48
3.5 Costos Totales de inversión.....	49
3.5.1 Costos Totales de Producción.....	51
3.5.2 Indicadores dinámicos económicos.....	53

Conclusiones.....	54
Recomendaciones.....	55
Anexos	58

Introducción

La fabricación automatizada surge de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía, la mecanización de las fábricas y sistemas de realimentación. A medida que se fue revolucionando la automatización industrial hasta nuestros días, se han logrado cambios reveladores en cuanto a: tecnologías en los procesos productivos, teoría de los sistemas de control y técnicas de computación.

Las producciones orgánicas han tomado un gran auge no solo por sus elevados precios en el mercado internacional, sino que además permiten la conservación y mejoramiento de los recursos naturales, tales como agua, suelo, aire y biodiversidad, con el objetivo de lograr agro-ecosistemas óptimos((2018b)). Los productos orgánicos tienen como limitante la no utilización de productos químicos tales como fertilizantes inorgánicos y plaguicidas. Para estas producciones las plagas son controladas por vías biológicas. Estos sistemas de producción tienen como finalidad lograr procesamientos sostenibles desde el punto de vista social, ecológico y económico((2018b)).

La producción de alcohol con la denominación de orgánico prescinde del uso de diversos compuestos químicos que son empleados tradicionalmente para la producción de etanol en las destilerías del país. Tal es el caso del sulfato de amonio y el fosfato de amonio, empleados como nutrientes para favorecer el crecimiento de biomasa en la etapa de propagación. Asimismo, se evita el empleo de ácido sulfúrico con el objetivo de disminuir el pH del medio y controlar la contaminación bacteriana.

Se han realizado experiencias en relación al empleo de un cultivo mixto de bacterias ácido-lácticas y de concentrados cítricos para la acidificación de la miel en la producción de etanol. Estos estudios se han realizado a escala de laboratorio bajo condiciones no medidas de aireación, por lo que se hace necesario dar continuación a las investigaciones previas para desarrollar un conocimiento más exhaustivo de la obtención de etanol orgánico a nivel de laboratorio (Montero Oviedo, 2019). Atendiendo a lo anterior se plantea el siguiente problema:

Problema Científico:

Actualmente en el mundo existe un auge en el desarrollo de productos orgánicos. La UEB Carlos Baliño de Villa Clara, es la única en Cuba en la producción de azúcar orgánica, sin embargo se hace necesario obtener otros productos de alto valor como alcohol orgánico, a partir del aprovechamiento de sus mieles.

Hipótesis:

Es posible proponer una tecnología para la producción de alcohol orgánico en la UEB Carlos Baliño, si se profundiza en los experimentos de laboratorio realizados y se realiza el estudio de factibilidad.

Objetivo general:

Proponer una tecnología para la obtención de alcohol orgánico en la UEB Carlos Baliño de Villa Clara, a partir del estudio de factibilidad.

Objetivos específicos:

1. Profundizar en los estudios de las tecnologías para la obtención de alcohol orgánico a partir de mieles.
2. Realizar experimentos a nivel de laboratorio mediante diseño de experimentos para la producción de alcohol orgánico, empleando diferentes agentes acidificantes para regular la acidez del sustrato y tomando la mejor variante.
3. Estudiar en detalle el proceso en cada etapa de la fermentación.
4. Realizar los balances y el diseño del equipamiento para una destilería de alcohol orgánico en la UEB Carlos Baliño para una capacidad de 125 hL/día.
5. Estudiar la factibilidad técnico-económica del montaje de una destilería de alcohol orgánico en la UEB Carlos Baliño.

Capítulo 1. Revisión Bibliográfica.

1.1 Generalidades del alcohol

La palabra alcohol proviene del árabe al-kukhūl 'el espíritu', de al- (determinante) y kuḥ ūl que significa 'sutil'. Esto se debe a que antiguamente se llamaba "espíritu" a los alcoholes. Por ejemplo "espíritu de vino" al etanol, y "espíritu de madera" al metanol son aquellos compuestos químicos orgánicos que contienen un grupo hidroxilo (-OH) en sustitución de un átomo de hidrógeno enlazado de forma covalente a un átomo de carbono. Además este carbono debe estar saturado, es decir, debe tener solo enlaces simples a sendos átomos; esto diferencia a los alcoholes de los fenoles.

Los árabes conocieron el alcohol extraído del vino por destilación. Sin embargo, su descubrimiento se remonta a principios del siglo XIV, atribuyéndose al médico Arnau de Villanova, sabio alquimista y profesor de medicina en Montpellier. La quinta esencia de Ramón Llull no era otra cosa que el alcohol rectificado a una más suave temperatura. Lavoisier fue quien dio a conocer el origen y la manera de producir el alcohol por medio de la fermentación vínica, demostrando que bajo la influencia de la levadura de cerveza el azúcar de uva se transforma en ácido carbónico y alcohol. (2016)

Se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C. Mezclable con agua en cualquier proporción. A la concentración de 95 % en peso se forma una mezcla azeotrópica. Su fórmula química es CH₃-CH₂-OH (C₂H₆O) (Montero Oviedo, 2019)

1.1.1 Propiedades del alcohol etílico.

El etanol a temperatura y presión ambiente es un líquido incoloro y volátil que está presente en diversas bebidas fermentadas. Desde la antigüedad se obtenía el etanol por fermentación anaeróbica de una disolución con contenido en azúcares con levadura y posterior destilación. Dependiendo del género de bebida alcohólica que lo contenga, el etanol aparece acompañado de distintas sustancias químicas que le dotan de color, sabor, y olor, entre otras características.

Tabla 1. Propiedades del alcohol etílico. (2000)

General	
Fórmula semidesarrollada	CH ₃ -CH ₂ -OH
Fórmula desarrollada	C ₂ H ₆ O
Propiedades Físicas	
Estado de agregación	Líquido

Apariencia	Incoloro
Densidad	789 Kg/m ³ ; 0,789 g/cm ³
Masa molar	46,07 g/mol
Punto de fusión	158,9 K (-114 °C)
Punto de ebullición	351,6 K (78 °C)
Temperatura crítica	514 K (241 °C)
Presión crítica	63 atm
Viscosidad	1,074 mPa/s a 20 °C.
Propiedades Químicas	
Acidez	15,9 pKa
Solubilidad	Agua, alcohol metílico, eter, cloroformo, acetona y benceno
Termoquímicas	
$\Delta H^{\circ}f$ gas	-235,3 KJ/mol
$\Delta H^{\circ}f$ líquido	-277,6 KJ/mol
Peligrosidad	
Punto de inflamabilidad	290 K (17°C)
Temperatura de autoignición	695 K (422°C)
Límites de explosividad	3,3 a 19 %

1.1.2 Aplicaciones del alcohol etílico.

El etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como excipiente de algunos medicamentos y cosméticos (es el caso del alcohol antiséptico 70° GL y en la elaboración de ambientadores y perfumes). Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante. También es un buen desinfectante. Su mayor potencial bactericida se obtiene a una concentración de aproximadamente el 70%.

Se emplea como combustible industrial y doméstico. Este además contiene compuestos como la pirovidos exclusivamente a alcohol. Esta última aplicación se extiende también cada vez más en otros países para cumplir con el protocolo de Kyoto. Estudios del Departamento de Energía de EUA dicen que el uso en automóviles reduce la producción de gases de invernadero en un 85%.

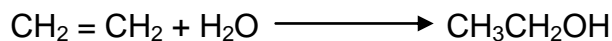
La industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo (un disolvente para pegamentos, pinturas, etc.), éter dietílico, etc. Disolvente para resinas, grasa, aceites, ácidos grasos, hidrocarburos, hidróxidos alcalinos. Como medio de extracción por solventes, fabricación de intermedios, derivados orgánicos, colorantes, drogas sintéticas, elastómeros, detergentes, soluciones para limpieza, revestimientos y antisépticos.

Respecto de su uso en exceso es importante mencionar que el etanol puede afectar severamente el sistema nervioso central generando: estados de euforia, mareos, desinhibición, ilusiones, confusión, somnolencia, aminora los reflejos, la coordinación de los movimientos, pérdida temporal de la visión, aumento de la violencia y en los casos más graves puede transportar a un estado coma y luego, acto seguido a la muerte. (María)

1.2 Proceso de obtención del alcohol.

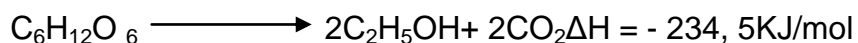
Una de las fermentaciones industriales más importantes y mejor conocidas es la que da lugar al alcohol etílico. Tradicionalmente el alcohol se ha utilizado en bebidas, industrias farmacéutica, química y alimenticia; es después del agua el disolvente y materia prima más común de los que se utilizan en el laboratorio y en la industria química y puede ser producida a partir de cualquier azúcar fermentable, por acción de las levaduras, entre otros, en condiciones favorables. Puesto que el almidón y otros hidratos de carbón pueden ser hidrolizados, a azúcares fermentables, por medios biológicos o químicos, se pueden disponer de muchas fuentes de azúcares. Actualmente su producción adquiere una gran importancia en nuestro país para la formulación de ron. Una gran parte del alcohol etílico que se produce en el mundo es de forma química a través de la hidratación de productos del petróleo (acetileno).

Catalizador



De esta manera se produce aproximadamente 440 millones de litros de etanol al año en el mundo.

Otra forma de obtener el alcohol es por el método tradicional de fermentación microbiana.



La fermentación alcohólica se clasifica como anaerobia de sustratos sumergidos, fase líquida, procesos discontinuos, en suspensión con el objetivo de obtener biomasa y productos asociados, que en producciones industriales, al menos en Cuba, es no estéril, debido a que no se garantizan las condiciones de asepsia necesarias en la sala de prefermentación. (Torres Jomolca, 2005)

1.2.1 Obtención del alcohol por vía fermentativa.

El proceso de producción de alcohol etílico por vía fermentativa está formado por varias etapas donde la materia prima va sufriendo transformaciones químicas y físicas hasta convertirse en productos de interés comercial, alcohol, gas carbónico y otros subproductos (ver Anexo 1). Todos estos pasos pueden ser agrupados en dos etapas fundamentales, una de formación de alcohol y demás productos llamada

fermentación y otra de separación de los mismos llamada destilación. Estas etapas serán tratadas individualmente debido a la complejidad de cada una para facilitar la comprensión del proceso. (Pérez Ones, 2003)

1.2.2 Miel final como materia prima.

La producción de alcohol por vía fermentativa está basada en la conversión de los hidratos de carbono en etanol por la acción de las levaduras. En general, son fermentables los hidratos de carbono desde 3 átomos de carbono o múltiplos de ellos, y esto estará en dependencia también del tipo de microorganismo que se utilice. Como fuente de carbohidratos se pueden utilizar diversos productos o materias, tales como: las azucaradas, las amiláceas o las celulósicas. Por ser Cuba un país productor de azúcar, se toma como materia prima la miel final o algunos productos intermedios de la fabricación del azúcar. La miel final tiene una amplia gama de usos y aplicaciones; por su alto contenido de azúcares en general, nutrientes, vitaminas, etc., ha ganado una gran popularidad en el mundo de la obtención de bioproductos por la vía fermentativa como son: alcohol etílico, torula forrajera, dextranasa, α -amilasa, otras enzimas, ácido láctico, otros ácidos, además de sus diversos usos como alimento animal y anticorrosivos (Pérez Ones, 2003). La Tabla 2 muestra la composición media de las mieles de caña y de remolacha, las que no pueden considerarse de forma absoluta, ya que, son magnitudes muy variables.

Tabla 2. Composición promedio de la miel final de caña y de remolacha.

Componentes	Materia Prima	
	Miel de caña	Miel de remolacha
Agua (%)	15-20	16-20
Materia orgánica (%)	74	72
Sacarosa (%)	32	50
Glucosa (%)	14	1
Fructosa (%)	16	1
Azúcares totales (%)	62	52
Nitrógeno total (%)	0.52	1.7
Ceniza (%)	12.3	7.4

1.2.3 Etapa de Prefermentación.

Es la etapa de la fermentación aerobia y su objetivo fundamental es lograr una alta propagación y desarrollo de la levadura para garantizar la mayor conversión de los azúcares en la fermentación, en el menor tiempo posible.

Estos equipos están dotados de unos difusores de aire para crear un medio altamente aeróbico. También es aquí donde se adicionan los nutrientes, previamente preparados, para favorecer la propagación celular. Aprovechando la alta resistencia de la levadura a la acidez, a diferencia del resto de los microorganismos, se le añade

ácido sulfúrico para ajustar el pH, en el rango de 4,2 a 4,5 y de esta manera evitar las infecciones, en algunos países se utilizan soluciones amoniacaes o ácido fosfórico para, además de regular el pH, introducir más nitrógeno y fósforo al sistema. Se considera que un prefermento está listo cuando ha alcanzado conteos celulares de 120 – 150 millones o más de células por mililitro de batición, el trabajo del prefermentador se regula de forma tal que se pueda garantizar esto. Aunque no es objetivo de esta etapa, se alcanzan concentraciones de 3% vol. de alcohol en batición. A los prefermentadores, se les puede mantener trabajando por el sistema de cortes, que no es más que dejar una pequeña parte (1/10) que servirá como inóculo de una nueva carga. Esto se repite, mientras se cumpla con la calidad microbiológica del mismo y puede ser durante 15 días, luego de los cuales se iniciará de nuevo el proceso de cultivo. La capacidad de reproducción de la levadura es prodigiosa, un sistema iniciado con una cantidad de levadura equivalente a 1 miligramo (mg) de materia seca, al término de 6 – 7 días es capaz de producir 5 toneladas de levadura. Como es un proceso expuesto al medio ambiente con mezcla cruda miel-agua, existen parámetros sobre los cuales es necesario establecer un riguroso control. Es de gran importancia garantizar una óptima población celular, la que se logra mediante el control de las diferentes variables que inciden en el proceso tales como: presión osmótica, temperatura (al elevarse la temperatura aumentan los efectos tóxicos del alcohol), desecación, luz, pH, concentración de alcohol, sustancias antibióticas, suministro de oxígeno, concentración de azúcares, concentración de nutrientes y como en todo cultivo microbiano la asepsia con la cual el mismo se realice.(Pérez Ones, 2003)

1.2.4 Etapa de Fermentación.

A lo largo de todo el proceso de fermentación y en función de las condiciones (cantidad de azúcar disponible, temperatura, oxígeno, etc.) cambia el tipo de levadura que predomina pudiéndose distinguir varias fases en la fermentación:

1era fase (primeras 24 horas), predominan levaduras no esporogéneas que resisten un grado alcohólico de 4-5. Son sensibles al anhídrido sulfuroso.

2da fase (2-4 días) predomina el *Sacharomyces cerevisiae* que resiste hasta un grado alcohólico entre 8 y 16. En esta fase es cuando se da la máxima capacidad fermentativa.

3era fase sigue actuando el *Sacharomyces cerevisiae* junto a *Sacharomycesoviformis*. También pueden existir otros microorganismos procedentes principalmente de las bodegas y de los utensilios, suelen ser hongos entre los que destacan *Penicillium*, *Aspergillus*, *Oidiu*(www.Ecured.com/Fermentaciónalcoholica.html)

Esta fase se cumple en los llamados fermentadores, corbatos o cubas, construidos en acero al carbono, desprovistos de tapas. Es la etapa final de la formación del alcohol la cual ocurre en un medio anaerobio. Durante el proceso de prefermentación y de fermentación ocurre un desprendimiento de calor (proceso exotérmico) el cual eleva la temperatura a niveles donde la levadura perece, por tanto es necesario el uso de algún método de enfriamiento, por ejemplo duchas de agua. Cuando la planta no disponga de un sistema adecuado de enfriamiento, se puede optar por llenar los corbatos en tres etapas. Este método es conocido como el de Refrescos, y se basa en que cada vez que se agrega miel diluida, esta disminuye la temperatura del medio. El cese de la actividad (movilidad por escape de dióxido de carbono) es el indicativo del final de la fermentación.

Esta etapa puede considerarse como la etapa fundamental en el proceso de producción, al terminar esta, se han formado los tres productos de interés comercial: el alcohol (40 - 140 g/L), el dióxido de carbono (1,8-2 g/L), y la levadura, además otros como la glicerina (7,5-10 g por cada 100 g de alcohol), alcoholes superiores (0,1-0,3 g/L), ácido succínico (hasta 1 g/L), ácidos volátiles (son ácidos orgánicos tales como: acético, propionico, butírico, ésteres, sustancias del bouquet y el 2,3-butilen-glicol o 2,3-butanodiol (hasta 0,6 g/L). Para un 100% de eficiencia se obtiene que por cada 100 kg de azúcares fermentables que entran al sistema la levadura es capaz de producir 64.4 litros de etanol y 4.9 kg de dióxido de carbono, y aunque no es objetivo de la etapa, se alcanza una propagación celular 10 veces más de lo logrado en los prefermentadores lo que permite una producción de 4-5 kg de levadura por hectolitro de alcohol producido. (Producción de alcohol por vía fermentativa)

1.2.5 Etapa de Destilación.

Este proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. La finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura.

En el proceso de obtención de alcohol etílico la destilación logra la separación de la inmensa cantidad de componentes que acompañan la mezcla obtenida en la fermentación y obtener una mezcla líquida lo más homogénea y con el mayor nivel de pureza posible. Esto se realiza en las columnas de destilación, que pueden ser de varios tipos. El punto de ebullición de las mezclas de agua y etanol en el equipo donde se realiza la concentración, se eleva a medida que el líquido se empobrece en

alcohol. Los vapores que se producen por ebullición de estos líquidos, son más ricos en alcohol que la dilución de que proceden. En este principio se basan los procedimientos de concentración y purificación, los cuales se efectúan normalmente y de forma tradicional mediante procesos de destilación y la utilización de columnas destiladoras y rectificadoras, casi siempre en número de tres como mínimo, hasta obtener una mezcla cercana al punto de azeotropía. (Glynn, 1973)

1.2.6 Levaduras empleadas en el proceso.

La preparación de las levaduras especiales es uno de los problemas de la industria de fermentación, ya que ciertas levaduras debidamente elegidas son las que comunican el sabor especial a las diferentes bebidas. En la fermentación alcohólica participan diferentes especies de levaduras.

Las más interesantes son:

1. Sacaromicetos:

- ✓ *Saccharomyces ellipsoideus*: Es una de las levaduras más activas en la vinificación. Fermenta glucosa, sacarosa y maltosa.
- ✓ *Saccharomyces apiculatus*: Tiene mucha importancia en la fermentación del vino y de la sidra. Sólo fermenta la glucosa. Deja de reproducirse cuando la concentración alcohólica de un líquido alcanza un 3-4 %. En el caso de los vinos, cuando se llega a esa concentración empieza a actuar la *S. ellipsoideus*.
- ✓ *Saccharomyces cerevisiae*: Se desarrolla en el mosto de la cerveza.
- ✓ *Saccharomyces carlsbergensis*: Se desarrolla en el mosto de la cerveza. Fermenta glucosa, maltosa y sacarosa.
- ✓ *Saccharomyces pastorianus*: Hay 3 variedades, una de ellas produce vinos secos de sabor áspero. Las otras actúan sobre la cerveza produciendo líquidos turbios y de sabor amargo.
- ✓ *Willia anómala*: Se aisló en una levadura de cerveza. Forma velo gris en la superficie de los líquidos y produce olor a esencias y frutas. Fermenta la glucosa pero no descompone la maltosa y sacarosa.

2. No sacaromicetos:

- ✓ *Torula*: Forma velo en los líquidos fermentados comunicando sabores amargos y desagradables.
- ✓ *Mycoderma vini* y *M. cerevisiae*: Producen también velo en la superficie de los líquidos. El primero es aerobio, transformando el alcohol en CO₂ y agua (flores del vino) (Carretero Casado)

1.3 Producciones orgánicas.

Los avances que existen en el mundo respecto al proceso de fermentación alcohólica y a la obtención de etanol en general, ha traído consigo que se han realizado miles de estudios y en cada uno de ellos existen avances y estadísticas verdaderamente impresionantes desde el punto de vista económico y técnico. Cada día se da un paso adelante en búsqueda del mejoramiento en la calidad y en la eficiencia en este proceso. Los estudios más recientes se inclinan hacia la obtención de un producto cada vez más sano para la salud del hombre y que coopere con el saneamiento del medio donde se promuevan estas producciones. Ya en varios países del mundo existen producciones de carácter orgánico y se han realizado varios estudios sobre la producción de azúcar orgánica y sus derivados. Un informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación indica que el consumo de alimentos producidos de manera orgánica está creciendo cada vez más y brinda nuevas oportunidades de mercado tanto para los agricultores como para las empresas. "A pesar de que solo un pequeño porcentaje de agricultores se convierte en productores orgánicos, en algunos países desarrollados este tipo de agricultura representa una franja significativa del sistema alimentario, como 10% en Austria y 7,8% en Suecia", preciso un documento difundido por la FAO. "En otros países, como Estados Unidos, Francia, Japón y Singapur, el porcentaje de crecimiento anual es superior a 20% », añadió el informe, tras aclarar que «para los países en desarrollo no es fácil introducirse en los mercados de agricultura orgánica de las naciones industrializadas". "A los agricultores se les niega el acceso a estos mercados hasta pasados dos o tres años del comienzo de la gestión orgánica de los cultivos, ya que los países desarrollados no certifican hasta pasado ese tiempo que las tierras y el ganado puedan clasificarse como orgánicos, aduciendo que es necesario para la depuración de los residuos químicos". El documento también precisó que "en la mayor parte de los casos, para vender sus productos en los países desarrollados los agricultores tienen que contratar a una empresa de certificación que inspeccione y confirme anualmente que los cultivos responden a criterios de gestión orgánica". "A veces este servicio puede resultar muy caro", destacó la FAO, tras recordar que solo "pocos países en desarrollo cuentan con organizaciones propias para la certificación orgánica". Durante su reunión anual del pasado Enero, los delegados gubernamentales estudiaron las formas de incentivar la agricultura orgánica. Las dos características fundamentales de esta son obligar a la rotación de cultivos para fortalecer los suelos, y prohibir el uso de casi todos los elementos sintéticos disponibles. La reducción del uso de plaguicidas sintéticos tóxicos, que según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) provocan cada año el envenenamiento de tres millones de personas, mejoraría también las condiciones de salud de las familias que viven de la agricultura. El informe concluye que "para mantener la confianza de los consumidores en la

integridad de los productos orgánicos, las naciones tendrían que fomentar las empresas de certificación orgánica propias, y reforzar las reglas en materia, castigando a quienes tomen parte en actividades fraudulentas y persiguiendo y evaluando sistemáticamente el fraude y sus efectos sobre el mercado".(Ojeda Martínez, 2005)

1.3.1 Importancia de las producciones orgánicas.

Para nadie es un secreto los avances que existen en el mundo respecto al proceso de fermentación alcohólica y a la obtención de etanol en general, se han realizado miles de estudios y cada uno de ellos trae consigo avances y estadísticas verdaderamente impresionantes desde el punto de vista económico y técnico. Cada día se da un paso adelante en búsqueda del mejoramiento en la calidad y en la eficiencia en este proceso. Los estudios más recientes se inclinan hacia la obtención de un producto cada vez más sano para la salud del hombre y que coopere con el saneamiento del medio donde se promuevan estas producciones. Ya en varios países del mundo existen producciones de carácter orgánico y se han realizado varios estudios sobre la producción de azúcar orgánica y sus derivados.(<http://www.alcoholorganicocado.com/Monografias.com.htm>)

Las producciones orgánicas proveen un producto ecológicamente sano, libre de residuos tóxicos procedentes de pesticidas, insecticidas, fertilizantes sintéticos, aditivos y conservantes los cuales son utilizados en la agricultura para eliminar insectos o plagas y combatir enfermedades, que a mediano o largo plazo producen efectos muy negativos en el organismo humano.(Montero Oviedo, 2019)

1.4 Producciones orgánicas en Cuba.

En Estados Unidos respondió a estos eventos endureciendo el bloqueo económico con la esperanza de acelerar el "inevitable" colapso del gobierno. Durante este período, el gobierno puso en marcha medidas para producir alimentos para los habitantes de la isla. La enorme tarea que enfrentaba era la de producir más del doble de alimentos con solo la mitad de los insumos químicos.

Empujado por la pérdida de agroquímicos importados y presionados por la creciente concientización de los daños al medio ambiente causados por la agricultura convencional, el gobierno cubano buscó métodos de cultivo orgánico sustentable para resucitar y desarrollar la producción alimentaria doméstica y para hacer un mejor uso de los recursos del país. Se implementaron métodos orgánicos tales como la rotación de cultivos, la elaboración de compost, el aumento de la diversidad de los cultivos; se alentó la conservación de depredadores naturales de plagas, así como la conservación del agua y el suelo. Para 1996 en La Habana las ordenanzas

municipales permitían solamente métodos orgánicos para la producción de alimentos.

Existieron dudas sobre si el gobierno continuaría apoyando un enfoque más sostenible para la producción alimentaria y algunos pueden todavía opinar que el gobierno probablemente cambiaría su enfoque si el embargo fuera levantado y los agroquímicos estuvieran de nuevo libremente disponibles. Sin embargo, la adopción masiva de la producción orgánica ha tenido un enorme impacto y parece ser que el apoyo se ha difundido en todo el gobierno y no se mantiene solamente gracias a pocos.(Roycroft-Boswell, 2001)

En Cuba, los primeros pasos por desarrollar las producciones orgánicas se han dado en la industria azucarera, con la producción de azúcar orgánica. La más avanzada de éstas, se realiza en el Complejo Azucarero “Carlos Baliño” de Villa Clara, aunque también se han procesado cosechas ecológicas en la Planta Piloto “José Martí” de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. De dicho proceso, se obtiene también miel orgánica, una excelente materia prima para la obtención de alcohol orgánico.(García, 2006)

Además de la producción de azúcar orgánica, se están realizando estudios sobre la producción de derivados entre los que se incluye la producción de pulpa para la industria del papel, de filtro para la industria de cerveza, alimentación animal y producción de alcohol orgánico. Cuba es uno de los pocos países que investigan sobre esta línea y ya existen resultados que pronto se pondrán a prueba a nivel industrial que abarcan producciones mayores que a escala de laboratorio.(Ojeda Martínez, 2005)

1.4.1 Azúcar orgánica.

El azúcar orgánica es producida utilizando como materia prima la caña de azúcar, que es cultivada de acuerdo a las normas de producción orgánica dentro de un manejo productivo donde la utilización de abonos verdes, labores manuales de limpieza, prácticas conservacionistas, uso de abonos orgánicos, y el cuidado del medio ambiente, son los pilares del sistema. Para poder obtener azúcar orgánica es importante manejar todo el ciclo del cultivo con productos biológicos para el control de plagas y de algunas enfermedades que afectan el cultivo. Además, se debe trabajar con abonos orgánicos para nutrir a la planta y al suelo. Para que la parcela pueda ser registrada como orgánica, la misma debe tener un historial libre de agroquímicos durante por lo menos 36 meses.(Friedmann, Abril, 2010)

El azúcar orgánico es obtenido a partir de caña orgánica o remolacha orgánica, cultivadas mediante prácticas de agricultura sostenible; en cuyo proceso

agrícola industrial no intervienen agentes químicos. Es muy pura, de un grano fino, casi de color blanco, y al final del proceso fabril se obtiene una miel orgánica, que fermentada bajo control, permite obtener de su destilación alcohol orgánico ecológico. Varios países producen volúmenes exportables de azúcar orgánica y utilizan un significativo número de toneladas anuales de caña para la producción de alcohol orgánico. Para garantizar la calidad del producto como orgánico el azúcar debe estar certificada por una entidad verificadora reconocida a escala internacional, de preferencia afiliada a la IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). Para producir azúcar orgánica se debe comenzar cultivando caña de forma orgánica. Se prohíbe totalmente el uso de fertilizantes químicos concentrados o cualquier tipo de abono que pueda introducir alguna contaminación. En lo que a fertilización orgánica se refiere, convendrá que se apliquen materiales provenientes de los mismos lugares recomendándose fundamentalmente abonos orgánicos de producción propia como residuos de cosechas, heces fecales de animales y abonos verdes. En un estudio realizado se demuestra que la aplicación del control biológico es indispensable en este cultivo; se utiliza para el control de la plaga la mosca *Lixophaga diataeae*, con esta se reducen las pérdidas agrícolas en un 17%, la producción de azúcar y pérdidas económicas en un 49%, además mejora la calidad de los jugos, también se prohíbe cualquier tipo de abono tratado químicamente o que pueda introducir cualquier contaminación. Referente a la cosecha, se permite el uso de máquinas (combinadas, tractores, carretas) pero deben presentar un óptimo estado técnico. No deben existir derrames de combustibles y lubricantes, garantizando la no contaminación de la caña y el suelo. Se prefiere la cosecha manual evitando así posibles contaminaciones y haciendo el proceso más natural. El proceso industrial de fabricación de azúcar orgánica no se diferencia apreciablemente del convencional, ya que el proceso tecnológico no varía, no pudiéndose añadir flocculantes. Debe imperar una limpieza e higiene muy estricta ya que este será el único camino para evitar los problemas de infección y contaminación. Todos los accionamientos mecánicos para su buen funcionamiento necesitan lubricantes que constituyen posibles contaminantes, por lo que deben tomarse medidas para evitar cualquier posible derrame o goteo de estas sustancias sobre el producto. Se recomienda el uso de equipos de acero inoxidable o plásticos de grado alimenticio. Se prohíbe el uso de aluminio. Por último, el envasado y almacenamiento debe cumplir ciertas normas con la óptica de proteger el medio y al producto terminado con el menor costo posible, se recomiendan envases reciclables y biodegradables. En los lugares destinados a almacenar el producto debe velarse por la limpieza e higiene y evitar cualquier contaminación. (www.sicoar.com.uy/claes, 2000)

1.4.2 Miel orgánica.

La melaza orgánica es la miel obtenida durante el proceso productivo de azúcar orgánica a partir de caña de azúcar orgánica. La melaza es un subproducto de la fabricación del azúcar que se forma con las mieles que no cristalizan y el resultado es un buen edulcorante con la consistencia que le da los 80 °Brix aproximadamente de concentración. Se envasa en barriles de acero de 200 litros, con una bolsa interna de polietileno y un peso aproximado de 280 Kg. Se conoce que la cantidad total de miel orgánica entregada por “Carlos Baliño” es de 2079 ton/año. (Rodríguez Ovalle, 2016)

1.4.3 Alcohol orgánico.

El Ingenio Azucarero OTISA (www.otisa.com) que actualmente produce azúcar y melaza orgánica para exportación, se ha proyectado al desarrollo de nuevos productos bajo la clasificación orgánica. Por ello lanzaron al mercado su alcohol orgánico, siguiendo la misma línea de producción del azúcar y la melaza, siendo un subproducto obtenido en la fabricación de la azúcar orgánica. Este producto resulta muy atractivo por su esencia y aroma, para la joven industria de los cosméticos orgánicos. La materia prima que se utiliza en la fabricación del alcohol orgánico es la miel de azúcar de tercera, más conocida como melaza orgánica, obtenida en el proceso de centrifugado continuo en la producción azucarera. Para poder producir alcohol con la denominación de orgánico es necesario prescindir de agregar sustancias químicas obtenidas por síntesis, tales como ácido sulfúrico, penicilina, urea, fosfato y antiespumante, en algunas etapas del proceso de producción del alcohol. (<http://www.alcoholorganicocado.com/Monografias.com.htm>)

Una vez fermentado es rectificado empleando métodos tradicionales pero adecuadamente actualizados de forma tal que no se incumplan con los parámetros de calidad del producto para obtener un alcohol de alta pureza. Este producto es apropiado para los procesos industriales más exigentes incluyendo la perfumería. Utilizan los servicios de rectificación en una planta que cuenta con tecnología de última generación para asegurarse que sea rectificado bajo un estricto control de calidad.

Entre las variedades de alcohol orgánico que ofrecen se encuentra:

- Etanol orgánico de 96,3°GL para su uso en la extracción de compuestos y para otros procesos industriales.
- Etanol potable orgánico para su uso en la industria de licores.
- DB96 hecho de alcohol orgánico para su uso en procesos de perfumería y cosmética.

Este producto es producido en forma ambiental y socialmente responsable por más de 280 familias que mantienen la tradición ancestral de agricultura ecológica en una

zona de extrema pobreza en el Ecuador. Las familias tienen que trabajar toda la semana para hacer un tanque pequeño de aguardiente que se vende por tan solo 60 o hasta 90 dólares.

CADO paga a sus socios un precio justo por su alcohol orgánico y un precio social que se invierte en proyectos comunitarios. Más comunidades se encuentran en proceso de unirse con CADO y con su agricultura orgánica la cual contribuye a conservar el ecosistema local. Las familias agrícolas de CADO están ganando un mejor precio por su alcohol gracias a la certificación orgánica además de que preservan las tierras para las futuras generaciones. (<http://www.alcoholorganicocado.com/pagina-principal.html>)

Tabla 3. Características del Alcohol Orgánico

origen	Caña de azúcar
sabor	típico
aparición	incoloro
Grado alcohólico.	96°
Acidez total, (el exp. En el alcohol de g/hl de ácido acético a 100% vol.)	Máx. 1.5
Ésteres, (el exp. En el alcohol de g/hl de ethylacetate a 100% vol)	Máx. 25.0
Aldehídos, (el exp. En el alcohol de g/hl de etanol a 100% vol)	Máx. 2.0
alcoholes superiores, (en alcohol g/hl a 100% vol)	Máx. 9.0
Metanol (en alcohol g/hl a 100% vol.)	rastro
Residuo seco (en alcohol g/hl a 100% vol.)	Máx. 6.0
Furfural	ausencia
El benceno	ausencia
prueba de Barbet, minutos	14:00

1.5 Empleo de cultivos mixtos de microorganismos en la fermentación.

Los cultivos mixtos se utilizan en algunas partes del mundo para obtener alimentos fermentados con cierta ventaja sobre los cultivos puros, pues poseen una alta tasa de crecimiento y un rendimiento más elevado. Las principales características que tienen que poseer estos cultivos son:

- ✓ Tolerancia al etanol.
- ✓ Tolerancia a las altas temperaturas.
- ✓ Tolerancia a altas concentraciones de azúcar.
- ✓ Rendimiento alcohólico.
- ✓ Eficiencia en la fermentación y productividad.

Se reportan estudios con cultivos mixtos o microorganismos trabajados genéticamente cuyo objetivo fundamental es lograr utilizar sustratos complejos de degradar, que incluso en algunos casos son residuos. Las bacterias *Escherichia coli* y *Zymomonas mobilis* y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* han sido objeto de estudios desde el punto de vista genético para ser utilizados en la sacarificación, fermentación de la celulosa (Montañez, 2011), en la utilización de residuos agrícolas, sueros y almidones. También se reportan estudios de cultivos mixtos de hongos y levaduras como *Trichoderma viride* y *Pachysolen tanophilus*, *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae* para lograr estos objetivos. (Hernández, 2007).

Algunos cultivos mixtos de bacterias lácticas producen ácido láctico, siendo muy resistentes a la contaminación y pueden intervenir simultáneamente en las transformaciones que ocurren en varias etapas de mezclas de sustratos complejas.

Las bacterias lácticas producen ácido láctico a partir de azúcares debido a su metabolismo exclusivamente fermentativo, sobre todo la fermentación láctica. Son anaerobias aunque toleran el oxígeno, por tanto son anaerobias aerotolerantes. Desde el punto de vista metabólico, tienen unos requerimientos nutritivos complejos (aminoácidos, vitaminas, etc.). El número de bacterias lácticas durante la fermentación alcohólica normalmente es muy bajo, como mucho 10^2 por mL, ya que la mayoría son inhibidas por el etanol y por el SO_2 añadido al mosto para controlar la población bacteriana, especialmente las acéticas. Cuando la alcohólica termina y las levaduras mueren, algunas bacterias lácticas pueden prosperar y conseguir un cierto crecimiento, en ocasiones, hasta 10^7 por mL. Estas bacterias lácticas producen algunas transformaciones en el vino, de las cuales la más interesante es la llamada fermentación maloláctica (FML). Las bacterias lácticas que se pueden aislar en muestras de mostos y vinos son de los géneros *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Weissella* y, sobre todo, de *Oenococcus*. (Bordons, 2013)

El ácido láctico tiene un amplio rango de aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica, química y cosmética. Cuando se utilizan bacterias en la producción por

fermentación se busca que estas sean preferiblemente termófilas, que fermenten rápida y completamente, sustratos baratos, con adición mínima de nutrientes nitrogenados. El género *Lactobacillus* es altamente apreciado por la capacidad que tienen las bacterias lácticas de fermentar diversas fuentes de carbono simples y producir ácido láctico. Muchas de las bacterias del género *Lactobacillus* pueden sobrevivir las condiciones de acidez y alcalinidad así como a las enzimas del tracto digestivo en diversos animales, incluyendo al hombre. Cuando las bacterias lácticas llegan a los intestinos, empiezan a producir ácido láctico, el cual acidifica la región intestinal haciendo que la flora patógena disminuya. Esta característica confiere a los lactobacilos propiedades probióticas. Las bacterias ácido lácticas han sido importantes en la producción de alimentos por los siglos por su considerable contribución al valor de los productos. Debido a varias de sus propiedades metabólicas, las bacterias ácido lácticas desempeñan un papel importante en la industria alimentaria, por su contribución significativa al olor, sabor, textura, características sensoriales, propiedades terapéuticas y el valor nutricional de los productos. Este grupo está compuesto de un número de géneros incluyendo *Lactococcus*, *Lactobacillus*, Algunos de los metabolitos producidos por ellos pueden ser ácidos orgánicos, Sustancias perseverantes, polisacáridos, vitaminas, endulzantes, olores y sabores. (Rodríguez Ovalle, 2016)

1.6 Nutrientes.

Un aspecto importante a considerar en la etapa fermentativa para el crecimiento exitoso de la población celular son los nutrientes que se le añadan en este estadio del proceso. Los nutrientes más utilizados en Cuba son la urea y el sulfato de amonio como aportadores de nitrógeno y el fosfato dibásico o simplemente el fosfato de amonio como suministrador de fósforo. Se prefiere la urea por su menor costo por unidad de nitrógeno. (Ojeda Martínez, 2005)

1.7 Citricultura en Cuba. Industria Ceballos.

La provincia de Ciego de Ávila, en el centro de la isla de Cuba, se caracteriza por sus tierras fértiles en una llanura propicia para el cultivo de muchos tipos de frutas y vegetales, que a su vez, estaban demandando de una industria que los procesara. Por ese reclamo surgió la Empresa Agroindustrial Ceballos, la cual cierra el ciclo que va desde el campo hasta la fábrica, para elaborar conservas de alimentos cosechados en territorio avileño, y que son muy demandados por la población, las cocinas de los hoteles de los polos turísticos y la exportación a varios países.

Ceballos es una empresa insignia del Grupo Empresarial Agrícola de Cuba, la cual ya ha adaptado 21 líneas industriales de pequeño formato y en general produce más

de 5 000 toneladas anuales de dulces en conservas, entre otros alimentos. Esta empresa de doble función: agrícola e industrial, hace inversiones todos los años para modernizar y ampliar su tecnología y así poder incorporar mayor variedad de producciones en distintos formatos y envases. La Empresa Agroindustrial Ceballos ya tiene un reconocimiento nacional que la obliga a expandir sus ofertas y a convertirse en un sello distintivo de la provincia de Ciego de Ávila. (Radio Surco)

1.7.1 Concentrado de Jugo de Naranja.

Una de las producciones de esta importante industria es el jugo concentrado de naranja. Este producto se caracteriza por presentar una textura fluida con cuerpo, un color amarillo claro e intenso, por ser homogéneo, de turbidez uniforme y por estar prácticamente exento de partículas pequeñas características del fruto. Su olor y sabor son característicos a naranja procesada en adecuado estado de madurez y a jugo fresco, además presenta un ligero regusto a la resina de la cáscara. (Montero Oviedo, 2019)

1.8 Escalado de procesos químicos y bioquímicos.

El escalado de procesos es una de las tareas más importantes tanto durante el diseño de la planta como durante su operación normal. En el primer caso, algunos resultados de producción sólo se conocen a pequeña escala, pero se debe diseñar el proceso a gran escala para que la producción sea rentable. En el segundo caso, ya la planta está construida, pero se deben escalar las condiciones de operación de un nuevo producto que ha sido probado con éxito a pequeña escala, pero que para que sea rentable debe producirse en mayores cantidades. Tradicionalmente se ha realizado el escalado de procesos basándose en la perspectiva del análisis dimensional, en la semejanza geométrica, en las relaciones empíricas a partir de un conjunto de datos y, por último, en modelos con apoyo de relaciones empíricas. En la literatura (Bisio y Kabel, 1895) se define el escalado como la “operación y puesta en marcha de manera exitosa de una unidad de tamaño comercial cuyo diseño y procedimientos de operación se basan, en parte, en experimentación y demostración a una escala más pequeña de operación”. (Ruiz, 2011)

1.9 Generalidades de Diseño Industrial.

Para la ingeniería industrial diseñar tiene un significado muy similar a proyectar. Esto no es así en todas las disciplinas. Como argumentan Alcaide et al. en el primer volumen de su libro Diseño de Producto (2001), se asocia generalmente diseño a:

- ✓ Trabajo sobre estética, mejora la apariencia de los objetos cotidianos.
- ✓ Mejora de la riqueza semántica del producto.

- ✓ Dibujo para representar o comunicar algo.
- ✓ Disciplina que relaciona los objetos con cualquier aspecto del entorno humano.

De estos conceptos y connotaciones se podría deducir que el diseñador es un especialista que contribuye al desarrollo del producto y sus aspectos formales. Así, el diseñador ayuda a la toma de decisiones sobre: materiales, texturas, colores, geometrías, etc. desde la disciplina del análisis de mercados, el análisis económico, la mecánica, la electrónica, etc.

Sin embargo no es así en el campo de la ingeniería, los diseñadores participan en la determinación de la competencia en el mercado, definen las necesidades de los usuarios, deciden qué funciones realizará el producto, consultan y aplican normas, realizan modelos complejos por ordenador, calculan los parámetros más relevantes, ensayan con prototipos y maquetas, deciden la apariencia, mejoran la ergonomía, evalúan costos, etc. etc. Por tanto, su trabajo, además de los aspectos formales del producto, incluye los aspectos funcionales, técnicos, legales y económicos (y últimamente medioambientales)(García Melón, 2017)

1.9.1 Metodologías de Diseño.

Los métodos de diseño pueden considerarse en general como todo modo de trabajo para elaborar un diseño. Como concepto más amplio, puede decirse que: son todos y cada uno de los procedimientos, técnicas, herramientas, instrumentos que ayudan a lograr un diseño determinado y a su vez, son las distintas clases de actividades que el diseñador utiliza y combina entre sí en un proceso general de diseño.(Nora)

Algunos métodos se basaron en ciertas disciplinas científicas:

- ✓ La teoría de sistemas: BERTALANFFY (1986) enfoca los problemas haciendo énfasis en el problema total más que en el análisis de las partes, recomponiendo éstas y estudiando los problemas inherentes a esta recomposición.
- ✓ La teoría de la información o comunicación: BERLO(1969) señala que el organismo es visto como un mensaje. Trata los aspectos sintácticos, formales y estructurales de la organización y transmisión de los mensajes.
- ✓ La teoría de la toma de decisiones, consistente en la interpretación del resultado de un conflicto mental. La decisión corresponde a una elección, la cual está basada en una deliberación, provocada, a su vez, por aquel conflicto.

Se evidenciaban una serie de tendencias en la proposición de métodos: una tendencia buscaba la manera de utilizar ordenadores en el proceso de diseño. Se volvió más científico el proceso. Se distinguieron, Asimov, Archer, Alger, Hays,

Alexander, Gugelot, Bürdeck, Jones. Otra tendencia englobaría la corriente denominada de la creatividad que tiene sus raíces en técnicas como el brainstorming(Alex Osborn, 1938), la sinéctica (W. Gordon y G. Prince, 1961) y el pensamiento lateral (DE BONO, 1970). Autores: Munari, Maldonado, Dorfler, Taboada y Nápoli. ASIMOV (1962) describen cómo los diseñadores industriales vuelven los ojos hacia los métodos de la ingeniería. Considera dos grandes fases en el desarrollo de un método de diseño que se interrelacionan entre sí. La primera llamada fase de planeación y morfología, la segunda se halla dentro del diseño detallado. (Pérez)

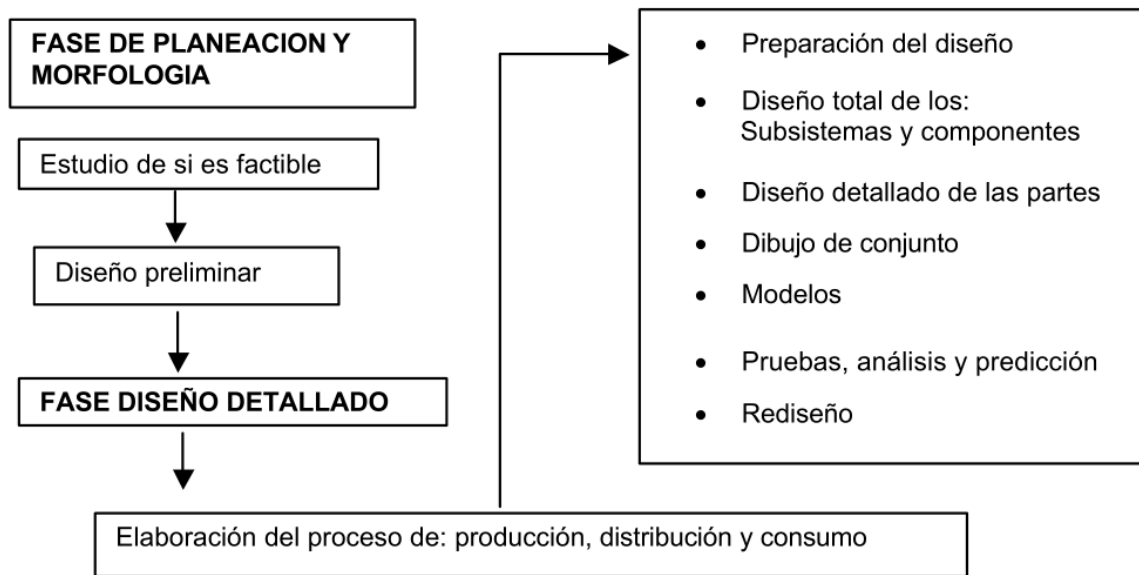


Figura 1. Método de Asimov.

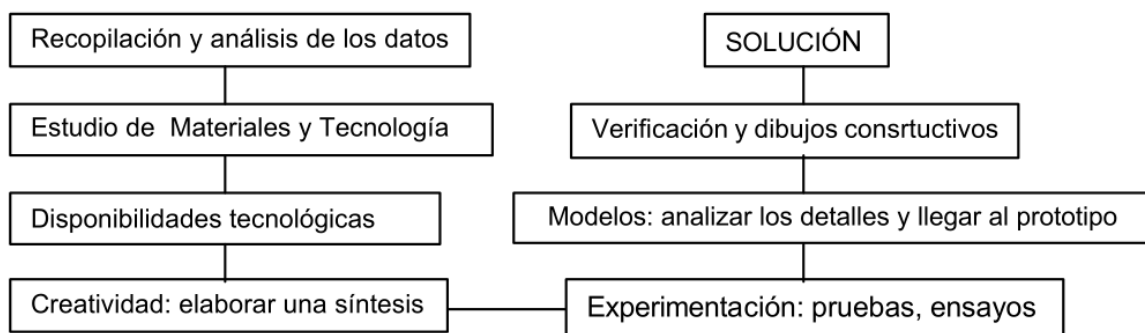


Figura 2. Método Munari.

1.10 Factibilidad económica.

El estudio de factibilidad es el análisis de una empresa para determinar:

- ✓ Si el negocio que se propone será bueno o malo, y en cuales condiciones se debe desarrollar para que sea exitoso.
- ✓ Si el negocio propuesto contribuye con la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y el ambiente.

Factibilidad es el grado en que lograr algo es posible o las posibilidades que tiene de lograrse. Iniciar un proyecto de producción o fortalecerlo significa invertir recursos como tiempo, dinero, materia prima y equipos. Como los recursos siempre son limitados, es necesario tomar una decisión; las buenas decisiones sólo pueden ser tomadas sobre la base de evidencias y cálculos correctos, de manera que se tenga mucha seguridad de que el negocio se desempeñará correctamente y que producirá ganancias. Antes de iniciar el estudio de factibilidad es importante tener en cuenta que cualquier proyecto, individual o grupal, es una empresa. Esto incluye los conceptos de ahorro, generación de excedentes e inversiones, imprescindibles para desarrollar proyectos sostenibles. (Luna, marzo 2001)

El estudio económico-financiero recoge la información elaborada de los estudios de mercado y técnicos, lo que permite identificar elementos tales como: costo de Inversión, costo de operación, ingresos; busca determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto. (Peralta, 2009) El estudio económico-financiero representa una herramienta que permite la evaluación de la propuesta de inversión, atendiendo a la disponibilidad del financiamiento para aprobar las inversiones, teniendo en cuenta los indicadores PRD, VAN y TIR, para establecer la estrategia de ejecución de las inversiones en función de las prioridades, hasta donde alcanzan las fuentes de financiamiento disponibles. (Peña Suárez, 2019)

1.10.1 Punto de Equilibrio.

Punto Muerto o Umbral de Rentabilidad, es la situación que se produce cuando la empresa no tiene ni beneficios ni pérdidas, los ingresos son iguales al costo. Este punto nos dice el nivel a alcanzar de ventas para, que la empresa empiece a dar beneficios. Es el mínimo de actividad a partir del cual la empresa empieza a ser rentable. (Peralta, 2009)

1.10.2 Valor Presente Neto.

El valor del dinero varía en el tiempo ya que una cantidad de dinero recibida hoy es más valiosa que la misma suma recibida dentro de un año, consiste en calcular el valor actual de todos los movimientos de efectivo que suceden en el flujo de caja. (Peralta, 2009)

1.10.3 Tasa Interna de Retorno.

Es aquella tasa de descuento que hace que el valor actual de todos los flujos del modelo sean cero, se calcula de forma iterativa, asignando sistemáticamente diversos valores a la tasa de descuento en la fórmula de valor presente, hasta lograr la tasa que lo hace igual a cero Si la TIR es mayor a cero entonces se puede suponer que el proyecto cubre con creces las expectativas de quienes invierten sus fondos. Si, por el contrario; la TIR es menor que la tasa de rendimiento esperada, entonces el proyecto deberá ser rechazado. (Peralta, 2009)

Capítulo 2. Desarrollo Experimental.

2.1 Materias primas empleadas.

1. Miel orgánica B

Se emplea miel orgánica B como sustrato, proveniente de la UEB: Carlos Baliño ubicado en el municipio Santo Domingo. Algunos de los parámetros de la miel fueron ofrecidos por el laboratorio de la entidad y otros fueron determinados experimentalmente. Todos ellos se muestran en la tabla 3.

Tabla 4. Parámetros de la miel orgánica B.

Parámetros	Valor
Brix	86.12
Pol(%)	50.16
Pureza(%)	58.24
Reductores totales(%)	62.75
Reductores normales(%)	13.13
Reductores invertidos (%)	49.62
Sacarosa real(%)	47.12
Azúcares totales(%)	60.27
Cenizas(%)	9.78

2. Levadura *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada de alto rendimiento.

Se emplea la *Saccharomyces cerevisiae* la cual transforma el sustrato(miel orgánica B) en CO₂ y alcohol por la vía fermentativa. En la tabla 4 se presentan sus parámetros.

Tabla 5. Parámetros de la levadura liofilizada.

Valor Nutritivo por 100 g	Cantidad
Calorías	390 kcal
Grasas	6 g
Saturados	2 g
Colesterol	0 g
Sodio	0,075 g
Calcio	0,045 g
Hierro	0,005 g
Carbohidratos	33 g
Fibra	27 g
Azúcares	0 g
Proteínas	50 g

3. Concentrado de jugo de naranja

Se emplea concentrado de jugo de naranja proveniente de la Empresa Agroindustrial Ceballos de la provincia de Ciego de Ávila. La tabla 5 muestra sus características físico-química.

Tabla 6. Características físico-químicas.

Parámetro	Valor
Sólidos Solubles corregido (°Brix)	65.0 + 0.5
Acidez Valorable (% Ácido cítrico)	2.0 - 7.0
Contenido de pulpa (%)	12.0 máx.
Aceite Esencial (ml/l)	0.090 máx
Ácido Ascórbico (mg/l)	200 mín
pH (U ph)	4.5 máx.
N. de Formol (ml 0.1 mol NaOH / 100 ml)	15 - 26
Davis [Hesperidina] (mg/l)	250 -700
Sodio (mg/l)	30 máx
Potasio (mg/l)	1300-2500

Especificaciones organolépticas del jugo reconstituido:

- ✓ Aspecto: Color amarillo claro a intenso. Homogéneo. Turbidez uniforme. Prácticamente exento de partículas pequeñas características del fruto.
- ✓ Olor: Definido a naranja procesada en adecuado estado de madurez. A jugo fresco.
- ✓ Sabor: A jugo de naranja procesada en adecuado estado de madurez. Ligero regusto a la resina de la cáscara.
- ✓ Textura: Fluido, con cuerpo.

2.2 Desarrollo de los experimentos.

El ensayo consistió de 2 etapas: una etapa de pre-fermentación y una etapa de fermentación.

En la etapa de pre-fermentación se trabajó con una concentración de sustrato en el pre-fermento de 13 °Bx y concentrado de jugo de naranja en una proporción del 2.4% v/v (del volumen del pre-fermento), sobre la base de los resultados obtenidos por (Montero, 2019). Además, se trabajó con una concentración de levadura de 2.5 g/l y 3 g/l de acuerdo al diseño experimental.

2.3 Diseño Experimental

Después de haber estudiado la influencia de las variables y niveles estudiados por (Montero Oviedo, 2019). Se aplicó un diseño experimental factorial multinivel 2k donde k representa el número de variables independientes. Las variables independientes fueron la concentración de levadura en el pre-fermento y la concentración de sustrato de la etapa fermentativa. El total de experimentos fueron cuatro cada uno con su réplica. Las variables respuestas que se midieron fueron: concentración de sustrato (Bx), pH, número de células y grado alcohólico. En la tabla 6 se muestran las variables y niveles para el caso de estudio y en la tabla 7 la matriz experimental de diseño. Los niveles de la variables fueron tomados sobre la base de los mejores valores reportados por (Montero Oviedo, 2019).

Tabla 7. Variables y niveles del caso de estudio.

Variables independientes	Niveles
Concentración de sustrato en el fermento(X_1)	20°Bx (-) 22°Bx (+)
Concentración de levadura en el pre-fermento(X_2)	2.5g/l (-) 3g/l (+)

Tabla 8. Matriz del diseño experimental.

Experimentos	X_1 (Bx)	X_2 (g/l)
1	-1	1
2	-1	1
3	1	-1
4	1	-1
5	-1	-1
6	-1	-1
7	1	1
8	1	1

2.3.1 Determinación de las variables.

✓ Grados Brix

Este método se utiliza fundamentalmente para la determinación de los sólidos disueltos contenidos en la miel diluida, en el pre-fermento y en el fermento final utilizando un refractómetro (MARCA ATAGO) con escala Brix. (Anexo 2)**Error! Reference source not found.**

✓ pH

El pH se determina a partir del método potenciométrico, utilizando para ello el pHmetro (MARCA HANNA 213).(Anexo 3)

✓ Número de células

Esta técnica se emplea para la determinación cuantitativa de las células de la levadura presentes en el inóculo. Se determina mediante el método de conteo celular en cámara de recuento, observando por un microscopio (MARCA NOVEL).(Anexo 4)

✓ Grado alcohólico

Esta variable es determinada a partir del método picnométrico. (Anexo 5)

2.3.2 Etapa de pre-fermentación en el laboratorio.

La etapa de pre-fermentación se desarrolló en recipientes conectados a una bomba peristáltica para el suministro de aire. Primeramente se realizó la dilución de las mieles, se prepararon 500ml inicialmente y posteriormente 175ml y 125ml de miel diluida con una concentración de sustrato de 13°Bx,valor este que fue el de mejores resultados de (Montero Oviedo, 2019)pues al trabajar sin nutrientes, al aumentar la concentración, se aumentan, los nutrientes que aporta la propia miel. Cada muestra de pre-fermento dió para dos fermentadores los que trabajaron con relación de inoculación fija de 25 %. Para la acidificación se tomaron los mililitros de concentrado de jugo de cítrico, de acuerdo al volumen a procesar manteniendo la relación de 2,4 % vol. El pH varió desde valores entre 5 y 6 a valores entre 4 y 5. Posteriormente se reajustó el Brix de cada una de las muestras pues el concentrado de naranja tiene 45°Bx. Luego se introdujo la muestra en la autoclave para esterilizarla. Una vez esterilizada y enfriada se procedió a añadir la levadura. Primero se pesó la misma, teniendo en cuenta ambas concentraciones con las que se trabajó, se le añadió 10 ml de miel diluida para activarla y después fue adicionada a la de miel diluida. Esta etapa transcurrió con aireación y culminó cuando el Brix descendió a la mitad más uno del Brix inicial.

2.3.3 Etapa de fermentación en el laboratorio.

La fermentación se llevó a cabo en recipientes anaeróbicos con expulsión de CO₂. Se trabajaron con volúmenes variables respetando siempre la relación de inoculación de 25% del pre-fermento con respecto al volumen de trabajo. Se cargan los fermentadores con la miel diluida con 20 y 22°Bx respectivamente. Se le ajusta el pH utilizando concentrado de jugo de naranja respetando siempre la proporción de 2.4v/v. Posteriormente se reajustó el Brix de cada una de las muestras pues el concentrado de cítrico tiene 45°Bx. Luego se añadió el inóculo de pre-fermento de acuerdo al diseño experimental.

Como esta etapa es anaeróbica para que ocurra la transformación de los azúcares en etanol, se fijó un tiempo de fermentación de 30 horas ya que(Ojeda Martínez, 2005) al igual que (Rodríguez Ovalle, 2016)y (Montero Oviedo, 2019)emplearon este tiempo, obteniendo una batición con grados alcohólicos superiores a 5 °GL.

2.4 Resultados de la etapa de pre-fermentación y fermentación.

Durante el proceso pre-fermentativo se observó un descenso del Brix. Primeramente se observó un incremento celular, pero la etapa aerobia se vió interrumpida por la necesidad de desconectar todos los equipos eléctricos, no llegando al inóculo la cantidad de oxígeno necesario para su reproducción celular, lo que conllevó a una disminución del número de células y a una generación temprana y elevada de etanol, lo anterior se comprobó pues a las 3 horas de iniciada la pre-fermentación el conteo celular del experimento 2 fue de 310×10^6 cel/ml y para el final de la pre-fermentación el conteo celular es el que se muestra en la tabla 8 conjuntamente con otros valores. Todo lo anterior se comprobó, mediante la determinación del grado alcohólico al experimento 2 arrojando un valor de 4.88°GL, valor alto para esta etapa. No se midió los valores de pH al final de la pre-fermentación pues se conoce por (Montero Oviedo, 2019), que el pH durante el proceso de pre-fermentación y fermentación no varía mucho.

Tabla 9. Resultados de la etapa de pre-fermentación.

Exp	Brix inicial	Brix final	pH inicial	pH ajustado	N de células final 10^6 cel/ml	Vol.(l)	Inóculo g/l	Tiemp(hr)
1	13.5	6.5	5.43	4.62	195.5	0.5	2.5	17h
2	13	6.5	5.5	4.72	276	0.5	3	17h
3	13	6.0	6.22	4.61	220	0,325	2.5	17.5h
4	12.5	5.9	5.91	4.75	298	0,250	3	17.5h

En la tabla 8 se puede apreciar, como a pesar de la disminución celular en el pre-fermento, los valores se encuentran por encima de 150 millones de células. Además, es evidente que en los experimentos que se utilizó una mayor concentración de inóculo, el conteo celular fue mucho más elevado al final de la pre-fermentación.

Durante el proceso fermentativo se observó un descenso del Brix, una disminución del número de células y el pH se ajustó a los valores de entre 4 y 5, no se midió el pH al final pues se conoce por (Montero Oviedo, 2019) que el pH durante el proceso pre-fermentativo y fermentativo no varía mucho.

En la tabla 9 puede apreciarse que los mejores valores de grados alcohólicos (°GL) se obtuvieron cuando se trabaja con las mayores concentraciones del sustrato, aunque la concentración de levadura también influye, por ejemplo Exp. 1 y 5. El experimento 3 arrojó un grado alcohólico de 8,81, este es el segundo valor más alto de los obtenidos.

Tabla 10. Resultados de la etapa de fermentación.

Exp	Variables		pH inic.	pHajus t.	No de células iniciales 10^6 cel/ml	Brix Final	No de células finales 10^6 cel/ml	Cons Celular %	Tiempo Ferm. (h)
	Brix inic	Conc. Levad g/L							
1	20	3	5,83	4,76	106	10	63	40,6	30
2	20	3	5,80	4,70	112,5	12	59	47,5	30
3	22	2.5	6,1	4,78	132	11	51,5	60,9	30
4	22	2,5	6,03	4,78	135	11.5	52	61,48	30
5	20	2,5	5,94	4,86	140	12	70	50	35
6	20	2,5	5,81	4,67	110	11	55,9	49,2	35
7	22	3	5,84	4,82	125	12	48	61,6	35
8	22	3	5,72	4,75	135	12	54	60	35

No fue posible medir los ART a las muestras, debido a que el reactivo 1-5 Dinitro Salicílico (DNS) uno de los métodos empleados para su determinación, ya llevaba tiempo preparado y no fue posible repetirlos por la situación presentada en el país; por lo que estos fueron determinados por balances de materiales montado en software Excel, de acuerdo a las diluciones y los Brix de estos, fueron determinadas las densidades y con los datos de la miel empleada y de acuerdo a la proporción de 25% de pre-fermento en el fermentador se obtuvieron los ART para cada experimento, los cuales se muestran en la tabla 10.

Con los valores obtenidos de azúcares para los diferentes Brix según la ecuación 1 se realizó una curva de ART_F vs Brix de la figura 1, obteniendo un modelo ajustado a una recta dado por la ecuación 2, con los que fueron determinados de forma aproximada el contenido de azucares finales.

————— Ec. 1 Folleto de Alcohol

Ec. 2

Dónde:

Y: ART_F

X: Brix

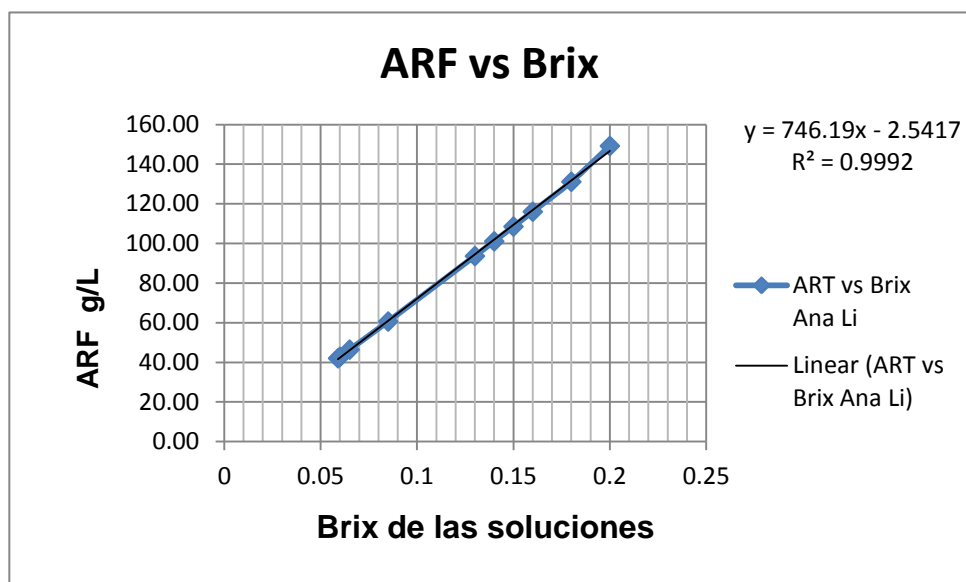


Figura 3. Relación entre ART y el Brix.

Tabla 11. Parámetros de calidad de la fermentación.

Exp	ART inic.(g/L)	ARTfinal (g/L)	Grado Alcoh. °GL	Vol.Final (L)	Rendimiento (Y P/S) (%)	Eficiencia (%)	Product. (g/L-h)
1	123,53	72,06	7,99	0,9	51,10	79,34	2,11
2	123,53	86,98	7,58	0,8	48,48	75,27	2,00
3	135,54	79,52	8,81	0,6	51,35	79,73	2,30
4	135,54	83,25	8,15	0,8	47,50	73,76	2,11
5	122,62	86,98	7,18	0,65	46,26	71,83	1,62
6	122,44	79,52	6,79	0,65	43,81	68,03	1,53
7	134,63	86,98	8,81	0,45	51,70	80,27	2,09
8	134,45	86,98	8,56	0,46	50,30	78,10	2,22

En la tabla 11 se puede apreciar como los mejores resultados están presentes en los experimentos 3 y 7 con un valor elevado de grado alcohólico de 8,81 °GL, siendo el mejor el 7 con una eficiencia aproximada de 80,27 %.

2.5 Análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Los resultados fueron procesados por el software Statgraphics donde se obtienen las ecuaciones y los modelos que relacionan las variables respuestas: consumo celular, grado alcohólico, productividad en función de las variables estudiadas, concentración de la

levadura y concentración del sustrato, en las figuras 3,4,5 se muestran los diagramas de Pareto y de efectos principales para las variables concentración de la levadura y concentración del sustrato, donde los mismos se corresponden por la relación existente entre las variables respuesta.

2.5.1 Análisis estadístico del consumo celular.

En el análisis realizado para el consumo celular se obtuvo el modelo matemático al cual se ajusta para un valor de $R^2=95.7949\%$. Además, se muestran en la figura 1 el diagrama Pareto, efectos principales y superficie de respuesta. El modelo matemático para el consumo celular se muestra en la ecuación 3:

$$\text{Cons. Celular} = 53,81 + 7,01 * \text{Bx fermento} - 1,36 * \text{Inoculo} + 1,44 * \text{Bx fermento} * \text{Inoculo} \quad \text{Ec. 3}$$

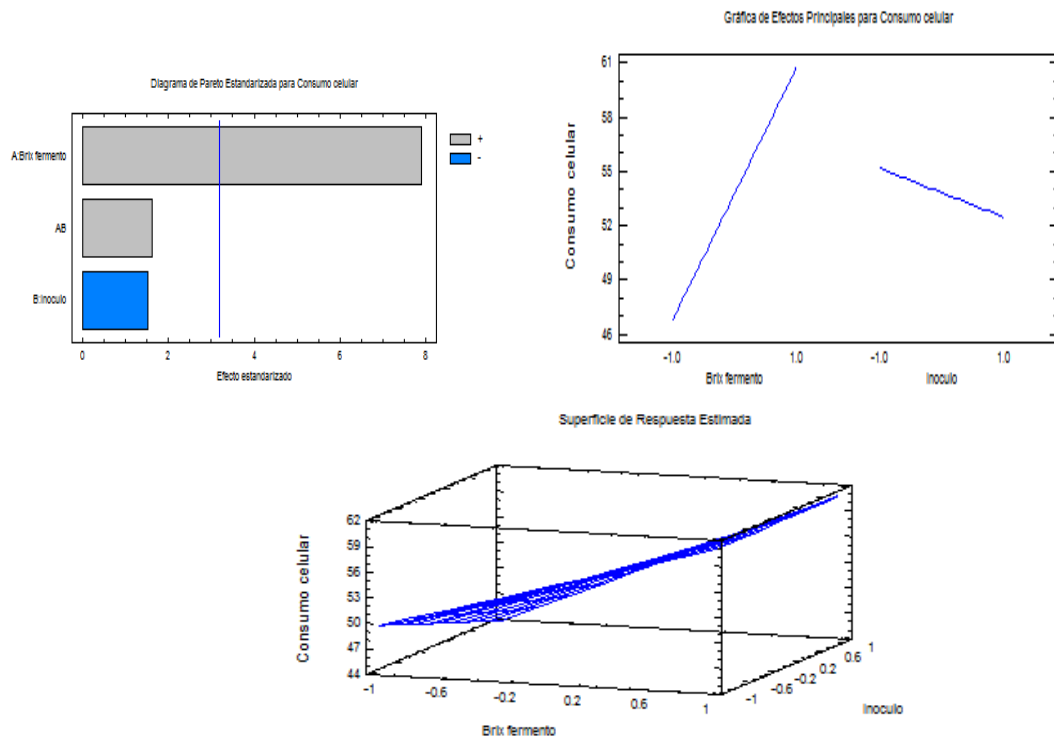


Figura 4. Relación entre el consumo celular y las variables: concentración de levadura en el pre-fermento y concentración de sustrato en el fermento.

En la figura 4 el Diagrama de Pareto arrojó un parámetro significativo: el Brix de fermento el cual influye de forma positiva. Esto significa que con el incremento de la concentración de sustrato (azúcar) hay un mayor consumo celular al haber un mejor aprovechamiento de la levadura por el sustrato.

2.5.2 Análisis estadístico del Grado alcohólico.

En el análisis realizado para el grado alcohólico se obtuvo el modelo matemático al cual se ajusta para un valor de $R^2=99.267\%$. Además, se muestran en la figura 3 el diagrama Pareto, efectos principales y superficie de respuesta. El modelo se brinda en la ecuación 4.

$$\text{Grado Alc} = 8,036 + 0,651 * \text{Bx fermento} + 0,304 * \text{Inoculo} - 0,096 * \text{Bx fermento} * \text{Inoculo} \quad \text{Ec. 4}$$

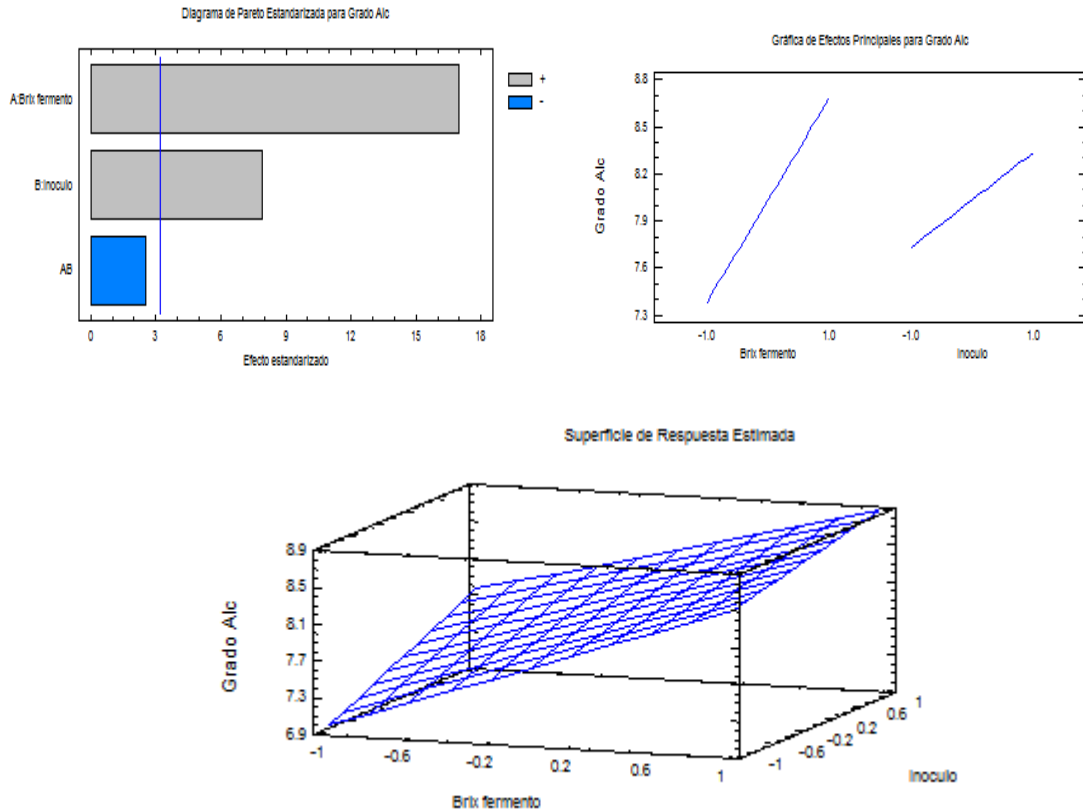


Figura 5. Relación entre el grado alcohólico y las variables: concentración de levadura en el pre-fermento y concentración de sustrato en el fermento.

En la figura 5 el Diagrama de Pareto arrojó dos parámetros significativos: el Brix de fermento y la concentración de inóculo, ambos influyen de manera positiva. Esto significa que con el incremento de la concentración de sustrato (azúcar) y la concentración de inóculo (levadura) aumenta la población celular y al haber mayor cantidad de células por unidad de volumen, hay un mejor aprovechamiento del sustrato. Y por tanto mayor conversión a etanol

2.5.3 Análisis estadístico de la productividad.

En el análisis realizado para la productividad se obtuvo el modelo matemático el cual se ajusta para un valor de $R^2=94.7476\%$. Además, se muestran en la figura 4 el diagrama Pareto, efectos principales y superficie de respuesta.

$$\text{Productividad} = 1.9975 + 0.1825 \cdot \text{Brix fermento} + 0.1075 \cdot \text{Inoculo} - 0.1325 \cdot \text{Brix fermento} \cdot \text{Inoculo}$$

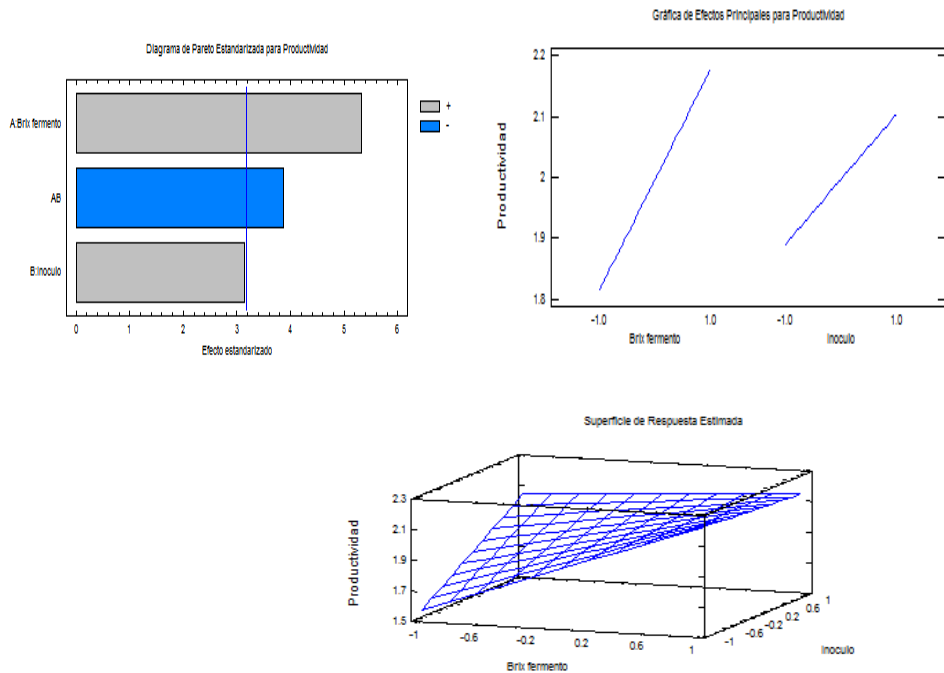


Figura 6. Relación entre la productividad y las variables: concentración de levadura en el pre-fermento y concentración de sustrato en el fermento.

En la figura 6 el Diagrama de Pareto arrojó que las dos variables son significativas, la concentración de sustrato que influye de manera positiva y la interacción entre el inóculo y el fermento influyen de manera negativa, es decir en sentido contrario y la concentración de inoculo ligeramente por sí sola. Este es un parámetro que depende del alcohol producido y del tiempo de fermentación el cual osciló entre 30 y 35 horas.

Capítulo 3. Diseño de equipamiento y factibilidad económica para la propuesta de una destilería en la UEB. Carlos Baliño.

3.1 Propuesta del proceso.

Se tomaron en cuenta las propuestas antes planteadas por (Rodríguez, 2016) de elaborar el alcohol orgánico en Heriberto Duquesne, trabajando doce días para una capacidad de 500 hL/día, (Sosa, 2018) para hacer el alcohol en Alficsa a una mayor capacidad por seis días y (Montero, 2019) que hizo una propuesta de trabajar 24 días a una capacidad de 250 h/L. Se selecciona la cuarta parte de la capacidad de Heriberto, para que no sea una destilería tan grande y poder trabajar más días en el año, para la miel orgánica producida de 3 039 t/año. Al final se seleccionaron 48 días de trabajo para una capacidad de 125 hL/día de alcohol que representan la cuarta parte de la capacidad trabajada por (Rodríguez, 2016) y cuadruplica el número de días seleccionados por la misma. Al programar el proceso solo hasta obtener un alcohol de baja graduación (aguardiente) y rectificar en otra destilería, se tomó la cuarta parte de las capacidades de los equipos de Heriberto Duquesne, trabajando con la misma cantidad de equipos por ser el tiempo de desarrollo del proceso similar, por tanto, se toman 4 pre-fermentadores y 9 fermentadores, sin la etapa de propagación

A partir de los experimentos realizados a nivel de laboratorio, se plantean los balances de materiales para la propuesta de producir una flema alcohólica, en el central Carlos Baliño partiendo de miel B producida en el proceso de obtención del azúcar orgánica para su desarrollo a escala industrial para una capacidad de 125 hL/día.

3.2 Balance de Materiales.

Se asumió un consumo de miel orgánica B, similar a la de miel final de 3000 ton/día, por estar produciendo este año el central solamente dos masas cocidas (A y B). El esquema propuesto se muestra en la figura 7.

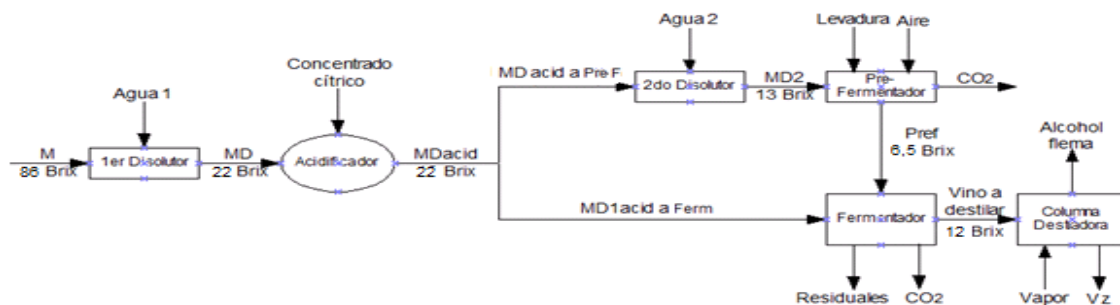


Figura 7. Diagrama de flujo para la destilería propuesta.

Leyenda:

M: Miel B que entra al primer disolutor

MD: Miel diluida a 22 °Brix que sale del primer disolutor

Cc: Concentrado de jugo de naranja

MDacid: Miel diluida a 22 °Brix que sale del acidificador

MD1acid: Miel que entra al fermentador

MD2acid: Miel que entra al segundo disolutor

MD2: Miel que sale del segundo disolutor

Ag₁: Agua de dilución empleada en el primer disolutor

Ag₂: Agua de dilución empleada en el segundo disolutor

B_M: Brix de la Miel B que entra al primer disolutor

B_{MD}: Brix de la Miel diluida que sale del primer disolutor

B_{MD1acid}: Brix de la miel que entra al fermentador

B_{MD2acid}: Brix de la miel que entra al fermentador

B_{MD2}: Brix de la miel que entra segundo disolutor

ρ_{MD}: Densidad de la Miel que sale del primer disolutor

ρ_{Cc}: Densidad del Concentrado de jugo de naranja

ρ_{MD2}: Densidad de la Miel que sale del segundo disolutor

ρ_{MD1acid}: Densidad de la Miel que entra al fermentador

Pf: Pre-fermento

Ar: Aire suministrado al pre-fermentador

Lv: Levadura añadida al pre-fermentador

Cv: Concentración de levadura en el pre-fermentador

C_{Pf}: CO₂ que sale del pre-fermentador

CF: CO₂ que sale del fermentador

%A_{Pf}: Por ciento de alcohol en el pre-fermentador

A_{Pf}: Alcohol en el pre-fermentador

A_F: Alcohol en el fermentador

A_T: Alcohol total

Rend_{Pf}: Rendimiento en el pre-fermentador

Rend_F: Rendimiento en el fermentador

ART_M: Azúcares Reductores Totales de la miel B que entra al primer disolutor

ARF_M: Azúcares Reductores Fermentables de la miel B que entra al primer disolutor

ARF_{LVpf}: Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción de levadura en el pre-fermentador

ARF_{MD1acid}: Azúcares Reductores Fermentables de la miel que se añade al pre-fermentador

ARF_{PaPf}: Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción de alcohol en el pre-fermentador

ARF_{MD2}: Azúcares reductores fermentables en la alimentación al fermentador

$\%ARF_{MD2}$: Por ciento de Azúcares reductores fermentables en la alimentación al fermentador
 $\%ARF_{Pf}$: Por ciento de Azúcares reductores fermentables en el pre-fermentador
 $\%ARF_{Fv}$: Por ciento de Azúcares reductores fermentables en el flujo de vino
 $ARNF_M$: Azúcares Reductores No Fermentables de la miel que entra al primer disolutor
 ARF_{Pf} : Azúcares reductores fermentables en el pre-fermentador
 $ARFT_F$: Azúcares reductores fermentables en el fermentador
 ARF_{LVF} : Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción de levadura en el fermentador
 ART_{Fv} : Azúcares Reductores Totales en flujo de vino
 ARF_{Fv} : Azúcares Reductores Fermentables en el flujo de vino
 ARF_{PaF} : Azúcares Reductores Fermentables utilizados en la producción de alcohol en el fermentador
 M_{Lv} : Consumo de miel necesaria para producir la levadura
 FD_{Pf} : Factor de dilución en el pre-fermentador
 FD_F : Factor de dilución en el fermentador
 SNA : Sólidos no azúcares
 Fv : Vino a destilar
 R : Residuales que salen del fermentador
 $BxFv$: Brix del vino a destilar
 $XaFv$: Grado alcohólico del vino a destilar
 Vz : Vinazas
 $BxVz$: Brix de las vinazas
 $XaVz$: Grado alcohólico de las vinazas
 D : Destilado
 XaD : Grado alcohólico del destilado
 Vp : Vapor añadido a la columna destiladora

Para facilitar los cálculos se empleó el Microsoft Excel en la realización de los balances de materiales. Los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Ecuaciones empleadas en los Balances.

Equipos	Ecuaciones
Primer Disolutor	
Acidificador	
Segundo Disolutor	

Pre-Fermentador	
Fermentador	
Columna Destiladora	

Tabla 13. Resultados de los Balances.

Primer Disolutor					
	Datos	unidades		Resultados	unidades
Miel	63312	kg/dia	MD	247837,702	kg/dia
BrixM	86,12		Ag1	184525,702	kg/dia
BrixMD	22				
Acidificador					
MielD	247837,702	kg/dia	Cc	7515,46415	kg/dia
ρ MielD	1041,23	kg/m3	Mdacid	255353,166	kg/dia
ρ Cc	1315,6	kg/m3			
Segundo Disolutor					
MDacid	255353,166	kg/dia	MD2acid	38302,9749	kg/dia
BrixMD2acid	22		MD2	64820,4191	kg/dia
BrixMD2	13		Ag2	26517,4442	kg/dia
Pre-Fermentador					
MD2	64820,4191	Kg/dia	Lv	188,90004	kg/dia
r MD2	1029,44	kg/m3	Apf	2916,91886	kg/dia
CV	3	kg/m3	ARF LvPF	4,57385085	kg/dia
%Apf	4,5		MLv	0,11074699	kg/dia
Rendpf	41,3		FDpf	0,15095216	
ARFm	60,27		SNA	3,52775197	%
BrixM	86,12		ARF PaPF	7062,75752	kg/dia
BrixMD2	13		Cpf	3446,62567	kg/dia
ARTm	62,75		Pf	61373,7934	kg/dia
Fermentador					
Mdacid	388172,021	kg/dia	MD1acid	210662,05	kg/dia
BrixM	86,12		FDf	0,22	
BrixMD1acid	19		ARF MD2	8619,11	kg/dia
ARFm	60,27		%ARFMD2	13,30	
RendF	51,7	%	%ARF PF	9,10	
r MD1acid	1063,57	kg/m3	ARF PF	5583,72	kg/dia
Cv	3	kg/m3	ARFT F	14202,83	kg/dia
%ARFfv	1		ARF LvF	365,38	kg/dia
ARNFm	3,5	%	ARF PaF	18336,15	kg/dia
			ART Fv	2011,20	kg/dia
			ARF Fv	2011,16	kg/dia
			Af	9479,79	kg/dia
			AT	12396,71	kg/dia
			Cf	8948,04	kg/dia
			Fv	201119,79	kg/dia

			R	594,21	kg/dia
Columna Destiladora					
FV	8379,99	kg/dia	FD	858,44	kg/dia
BrixFV	12		Vz	11830,58	kg/dia
XaFV	0,0694	°GL	Vp	3450,58	kg/dia
XaD	0,6436	°GL	70°GL		
XaVz	0,000002	°GL			
BrixVz	8,5	%			

3.3 Diseño de equipos.

Para el diseño y dimensionamiento se tuvieron en cuenta los equipos principales de la planta para esto se comenzó con una recopilación de datos e información necesaria para aplicar balances de masa y energía y de esta forma poder calcular los valores de todas las corrientes de la planta, para los cuales se emplearon diferentes métodos aprendidos como el Método de Mc. Cabe- Thiele y los pasos para el dimensionamiento de intercambiadores de calor, entre otros teniendo en cuenta los equipos a diseñar, para facilitar dichos cálculos se empleó el software Excel.

3.3.1 Balances de Masa y Energía para las corrientes.

Datos usados en los balances:

- ✓ Grados Brix de miel para pre-fermento: 13 %
- ✓ Grados Brix de pre-fermento: 6,5 %
- ✓ Grados Brix de la vinaza: 8,5 (En destilerías cubanas: 7,7-10,2)
- ✓ Miel: 3039 t/día.
- ✓ Volumen asumido de pre-fermento: 7,5 m³/h
- ✓ Batición: 8380Kg/h
- ✓ Densidad de la batición: 972,5 Kg/m³
- ✓ Tiempo de trabajo de la planta: 48 días.
- ✓ Grado alcohólico de la alimentación: 8,8
- ✓ % peso de alcohol en la alimentación: 6,94
- ✓ Grado alcohólico del destilado: 70° GL
- ✓ % peso de alcohol en el destilado: 64,33
- ✓ Grado alcohólico del residuo: 0,000002
- ✓ % peso del residuo: 0,000002
- ✓ Relación de reflujo: 3
- ✓ Grados Brix de la miel diluida: 22 %
- ✓ Base de cálculo: 1 hora

Balance de masa en la columna de destilación:

Balance total: $Vz= W$

Balance parcialde Brix:

Se asume una eficiencia de 95 %en la destilación.

Condensador de la columna:

Balance total:

Relación de reflujo:

Despejando:

Balance de masa en el mezclador de miel para prefermento y fermento:

Operación de mezclado para M_D : _____

Operación de mezclado:

Balance total:

Despejando:

Balance parcial de Brix:

Despeje:

Tabla 14. Resultados de los balances de masa.

Variables	Valores	Unidades
Miel para primera dilución a 22 Bx	63312,5	Kg/día
Miel Diluida (MD)	247837,702	Kg/día
m_{agua} Primera dilución a 22 Bx	184525,702	Kg/día
MD para diluir para Prefermentación	38 302,974	Kg/día
m_{agua} utilizada para prefermento	26 517,44	Kg/día
m_{pref} (Masa de salida del prefermentador)	64820,63	Kg/día
Fermento obtenido	201119,7	Kg/día
F (Alimentación de la batición)	8 380	kg/h
D (Destilado)	858,44	kg/h
W (Residuo)	11 830,58	kg/h
G1 (Vapor de salida por el tope)	3 450,58	kg/h
L(Líquido de salida del condensador)	2 575,32	kg/h

Balances de energía:

Condición de alimentación a la columna:

Datos:

- ✓ Temperatura a la salida del residuo: $t_w=99,99^{\circ}\text{C}$
- ✓ Temperatura de trabajo supuesta: $t_{ws}=80^{\circ}\text{C}$
- ✓ Capacidad calorífica del residuo a 80°C : $C_{p_w}=0,999 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$
- ✓ Entalpía de la alimentación en la torre a $T=32^{\circ}\text{C}$: $H_{Ft}=30 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ Temperatura del líquido saturado (punto de burbuja): $t_L=92,99^{\circ}\text{C}$
- ✓ Temperatura base: $t_0=40^{\circ}\text{C}$
- ✓ Calor de solución a la temperatura base: $\Delta H_S=40 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ Capacidad calorífica de la solución a t_L : $C_L=0,99 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$
- ✓ Temperatura del gas (punto de rocío): $t_G=99,03^{\circ}\text{C}$
- ✓ Calores latentes de evaporación de las sustancias puras a t_G :
 $\lambda_A=194 \text{ Kcal/Kg}$ $\lambda_B=539,37 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ Capacidades calóricas de los líquidos puros a t_G : $C_{LA}=0,75 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$
 $C_{LB}=1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$

Entalpía de alimentación:

Despejando:

Entalpía de líquido saturado:

Entalpía de vapor saturado:

Condición de alimentación:

Balances de energía en el Intercambiador de calor I (Condensador):

Datos:

- ✓ Entalpías obtenidas en el diagrama H vs x,y
- ✓ $H_{G1}=420 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ $H_{Lo}=H_D=75 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ Calor latente de condensación del destilado $\lambda=204,26 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ Capacidad calorífica del agua a 30°C : $C_{p_A}=1,00 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$

Balance entálpico:

Despeje:

Calor cedido:

Calor ganado:

Despejando y asumiendo una variación de temperatura del agua= 20°C :

Balances de energía en el Intercambiador de calor II:

Datos:

- ✓ Calor específico del residuo: $C_{pw}=1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$
- ✓ Temperatura de entrada del residuo: $T_{1W}=100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ✓ Temperatura de salida del residuo: $T_{2W}=80 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ✓ $H_W = 100 \text{ Kcal/Kg}$
- ✓ T_{B1} : Temperatura de salida de la batición de los fermentadores= $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- ✓ $C_{pB}= 0,987 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$
- ✓ $m_w= 11830,58 \text{ kg/h}$
- ✓ $m_B= 8\ 380 \text{ kg/h}$

- ✓ Balance de energía:

Despejando:

Tabla 15. Resultados de los balances de energía en la columna.

Variables	Valores	Unidades
H_{Fe} (Entalpía de alimentación a la columna)	58,23	Kcal/Kg
H_L (Entalpía de líquido saturado)	92,47	Kcal/Kg
H_G (Entalpía de vapor saturado)	573,41	Kcal/Kg
q (Condición de alimentación)	1,07	Liq frío
Q_C (Calor en el condensador)	1184647,2	Kcal/h
Q_{Ced} (Calor cedido en el intercambiador)	236 611,6	Kcal/h
Q_g (Calor ganado en el intercambiador)	236 611,6	Kcal/h
T_{2B} (Temperatura de salida de la batición en el inter de calor II)	61	$^{\circ}\text{C}$
Consumo de agua en condensador	59,22	m^3/h

Análisis de los resultados obtenidos de los balances:

De los balances realizados cuyos resultados aparecen en las tablas de la 13 a la 15 se observa que los valores son adecuados para una destilería que procesa mieles para obtener un alcohol de $70 \text{ }^{\circ}\text{GL}$ Los indicadores caen cercanos a los establecidos para destilerías cubanas (DC): Ind Miel $\text{kg/Laa}=5$ (4,13 DC); Vinazas/L $aa=21$ (16-22 DC); consumo de agua para operaciones principales= $0,12 \text{ m}^3/\text{L}$ $aa(0,15-0,2)$ y el consumo de vapor fue el que dio algo superior, con un consumo de $6,2 \text{ kg/Laa}$ (3,8-4,2), por lo que se valora calentar también con los vapores del condensador, como se hace en las destilerías.

3.3.2 Diseño del pre-fermentador.

Datos para el diseño:

- ✓ Relación: $h/d = 1,5 - 2,0$
- ✓ Diámetro: $d = (V/1,1775)^{0,3333} = 1,85 \text{ m}$
- ✓ Característica: Cilindro con fondo cónico.
- ✓ Volumen de miel diluida a 13 °Brix: $V = 7,5 \text{ m}^3/d$
- ✓ Grado Brix de la miel: 22 (°Brix)
- ✓ Grado Brix de la miel diluida para pre-fermento: 13 (°Brix)
- ✓ Volumen del pre-fermento:

Tabla 16. Resultados de los cálculos realizados en el diseño.

Ecuación	Resultados	Unidades
Cálculo del volumen del pre-fermento		
	6,13	m^3/d
Cálculo de la altura del cilindro		
	2,78	m
Cálculo del área del cilindro:		
	13,06	m^2
Cálculo de la altura total del pre-fermentador		
—	3,7	m
Cálculo de la altura del cono		
	0,508	m
Cálculo del área del cono		
	0,865	m
	3,44	m^2
Cálculo del volumen del cono		
	1,165	m^3
Cálculo de la capacidad total del fermentador		
	7,29	m^3

Tabla 17. Principales parámetros tecnológicos de diseño para el sistema de aireación.

Parámetros	Valores	Unidades
Diámetro del aro de aireación (d)	0,85	m
Perímetro $P = (\pi * d)$	2,67	m
Distancia entre orificio	10	cm

Número de orificios	24	(-)
Diámetro de los orificios	2	cm
Diámetro de los tubos	2	pulg
Número de ramas de alimentación	5	(-)

3.3.3 Diseño del Fermentador.

Datos para el diseño:

- ✓ Relación: $h/d = 1,5 - 3,0$
- ✓ Diámetro: $d = (V/1,57)^{0,3333} = 2,5 \text{ m}$
- ✓ Característica: Cilindro con fondo cónico.

Tabla 18. Resultados de los cálculos realizados en el diseño.

Ecuación	Resultados	Unidades
Cálculo del volumen del fermento		
	24,877	m ³ /d
Cálculo de la altura del cilindro		
	5,01	m
Cálculo del área del cilindro		
	33,39	m ²
Cálculo de la altura total del fermentador		
—	5,03	m
Cálculo de la altura del cono		
	0,63	m
Cálculo del área del cono		
	0,9 5,088	m m ²
Cálculo del volumen del cono		
	0,02	m ³
Cálculo de la capacidad total del fermentador		
	25,01	m ³

3.3.4 Diseño de la columna de destilación.

Método de McCabe-Thiele:

Línea de Operación de la sección enriquecedora:

— —

Intercepto con el eje Y:

Línea de Operación Auxiliar (L.O.A):

Cálculo del número de platos teóricos en la sección de agotamiento:

Ecuación de Kremser:

$$\frac{y_1 - y_2}{y_1 - y^*} = \frac{y_2 - y^*}{y_1 - y^*} \left(\frac{L}{V} \right)^N$$

Datos para el cálculo:

- ✓ Número de platos teóricos en la sección de enriquecimiento: $m=2$
- ✓ Número de platos teóricos en la sección de agotamiento= $5,54$
- ✓ Viscosidad a la temperatura media de la torre ($T=30^{\circ}\text{C}$): $\mu_{\text{med}}=0,86 \text{ cp}$

Tabla 19. Resultados de los cálculos aplicados al método.

Términos	Ecuaciones	Valores
Volatilidad relativa		10,78
Factor \bar{A}		0,225
Número de platos teóricos		7,546
Rendimiento de la torre		0,25
Diámetro	_____	1,45 m
w vel ficticia vapor	_____	0,987 m/s
C constante estruct. del plato	Fig7.2 (Pavlov)	0,027
Número de platos reales		30
Distancia entre platos asumida	t	0,25
Altura de la columna Z	$Z = (N_{pr}-1) t$	8

3.3.5 Diseño del Intercambiador de Calor I (Condensador).

Datos utilizados en el diseño:

- ✓ Viscosidad del etanol a $80,65^{\circ}\text{C}$: $\mu_{\text{et}}=0,036 \text{ Kg/m}^*\text{h}$
- ✓ Viscosidad del batición a 50°C : $\mu_{\text{Bat}}=1,82 \text{ Kg/m}^*\text{h}$

- ✓ Calores específicos: Vapores alcohólicos a 80,65°C: Cp=0,71 Kcal/Kg°C
Batición a 50 °C: Cp=0,99 Kcal/Kg°C
- ✓ Conductividad térmica: Vapores alcohólicos: K=2,93 Kcal/ (hm²) (°C/m)
Batición: K=9,59 Kcal/ (hm²) (°C/m)

Metodología de cálculo para el dimensionamiento del intercambiador de calor

U_D está entre 300-800 W / m² K, esto es 258-687,8 kcal/h m²K asumiendo 500W / m² K= 430kcal/h m²K (Pavlov Tabla 4.6)

1. Balance térmico:
2. Cálculo de la MLDT:

3. Diferencia verdadera de la temperatura Δt :

Foco Caliente(FC)	Foco Frío(FF)	ΔF
T_1	t_2	$\Delta t_1 = T_1 - t_2$
T_2	t_1	$\Delta t_2 = T_2 - t_1$

4. Ubicación de los fluidos:

Fluidos	Ubicación
Fluido caliente: Vapores alcohólicos	coraza
Fluido frío: La batición	tubos

5. Área de Transferencia de Calor:
6. Número de tubos: _____

Tabla 20. Resultados alcanzados con la aplicación de la metodología.

Términos	Resultados	Unidades
Calor en el intercambiador (Q)	1184647,2	Kcal/h
Diferencia de temperaturas: Δt_1	50,65	°C
Δt_2	30,65	

Δt verdadera (MLDT)	39,82	°C
Coeficiente total de diseño (U_D)	430	Kcal/h m ² K
Área de Transferencia de Calor (A)	69,19 744,48	m ² pie ²
<u>Nota:</u> Como el área es mayor que 200 pie ² , se debe diseñar un intercambiador de calor de tubo y concha.		
Se escoge un tubo de 1½ plg DE, 16 BWG, con 1.5 m (4.92 pies) de largo y la superficie por pie lineal (a') es 0.3925 pie ² /pie lin. (Tabla 10 del Apéndice(Kern, 1999))		
Número de tubos	385,52 386	-

3.3.6 Intercambiador de calor II.

Datos utilizados en el diseño:

- ✓ Viscosidad del residuo a 80°C: $\mu_w=1,01$ Kg/m*h
- ✓ Viscosidad del batición a 61°C: $\mu_{Bat}=1,23$ Kg/m*h
- ✓ Calores específicos: Residuo a 80°C: $C_p=1$ Kcal/Kg K
Batición a 61°C: $C_p=0,988$ Kcal/Kg K
- ✓ Conductividad térmica: Residuo: $K=9,59$ Kcal/ (hm²) (°C/m)
Batición: $K=9,59$ Kcal/ (hm²) (°C/m)

Para los Intercambiadores de calor agua-agua(vinaza-batición) los valore de U_D están entre 800 – 1700 W / m² K, esto es 687,8–1461,66 kcal/h m²K asumiendo 1250W / m² K=1074,75kcal/h m²K, se utilizó el mismo método desarrollado anteriormente para el diseño del intercambiador I (Condensador), por lo que los resultados alcanzados se muestran en la tabla 21.

Tabla 21. Resultados alcanzados con la aplicación de la metodología.

Términos	Resultados	Unidades
Calor en el intercambiador (Q)	236611,6	Kcal/h
Diferencia de temperaturas: Δt_1 Δt_2	39 48	°C
Δt verdadera (MLDT)	43,34	°C
Coeficiente total de diseño (U_D)	1074,75	Kcal/h m ² K
Área de Transferencia de Calor (A)	10,70 115,13	m ² pie ²
<u>Nota:</u> Como el área es menor que 200 pie ² , se debe diseñar un intercambiador de calor de doble tubos.		

Se escoge un tubo de 1½ plg DE, 16 BWG, con 1.5 m (4.92 pies) de largo y la superficie por pie lineal (a´) es 0.3925 pie ² /pie lin. (Tabla 10 del Apéndice (Kern, 1999))		
Número de tubos	59,62 60	-

3.3.7 Diseño del tanque de mezclado.

Datos para el diseño:

- ✓ Relación: $h/d = 1$
- ✓ Volumen del tanque: $V = 6,25 \text{ m}^3$
- ✓ Característica del tanque: Cilindro.

Tabla 22. Resultados de los cálculos realizados en el diseño.

Ecuación	Resultados	Unidades
Cálculo del diámetro		
-	1,997	m
Cálculo de la altura del cilindro		
	1,997	m

3.3.8 Diseño del tanque de dilución.

Datos para el diseño:

- ✓ Relación: $h/d = 1,2 - 2$
- ✓ Volumen del tanque: $V = 7,5 \text{ m}^3$
- ✓ Característica del tanque: Cilindro.

Tabla 23. Resultados de los cálculos realizados en el diseño.

Ecuación	Resultados	Unidades
Cálculo del diámetro:		
-	3,61	m
Cálculo de la altura del cilindro:		
	7,22	m

3.3.9 Diseño del tanque de almacenamiento.

Datos para el diseño:

- ✓ Relación: $h/d = 1,2 - 2$
- ✓ Volumen del tanque: $V = 34 \text{ m}^3$
- ✓ Característica del tanque: Cilindro.

Tabla 24. Resultados de los cálculos realizados en el diseño.

Ecuación	Resultados	Unidades
Cálculo del diámetro:		
—	5,98	m
Cálculo de la altura del cilindro:		
	11,95	m

Análisis de los resultados del diseño:

El diseño de los equipos principales, al igual que los balances fueron realizados con el auxilio del software Excel, facilitando los cálculos ante cualquier cambio a realizar. Los resultados fueron adecuados, teniendo en cuenta que algunos datos fueron estimados de acuerdo a lo existente en las destilerías cubanas, por ejemplo el Brix y el contenido de etanol en vinaza, que se asume como cero en los balances de materiales, pero no para el diseño de equipos, la relación de reflujo para el diseño de la columna fue asumida como 3, al igual que se estimó un valor medio de los establecidos para los coeficientes totales de transferencia de calor (U_D), todos los demás cálculos fueron realizados de acuerdo a los balances de materiales y energía. Los diseños fueron preliminares faltando, el detalle de cada equipo, como es el diseño y cálculo hidráulico de los platos de la columna destiladora y los coeficientes U_D de los intercambiadores de calor. El área de intercambio en los condensadores dio elevado, porque se tuvo en cuenta un solo condensador para condensar todos los vapores de la columna, obtener el producto y reflujar a la columna. Las dimensiones de la columna brindaron valores muy cercanos a las columnas de aguardiente instaladas en el país tanto en número de platos como en diámetro.

3.4 Escalado de los resultados obtenidos en el laboratorio a nivel industrial.

Se realizó el escalado de la tecnología propuesta a nivel industrial a partir de los datos obtenidos en el laboratorio, para el diseño de la destilería.

✓ Etapa de Pre-fermentación

La etapa de pre-fermento se trabaja adicionando oxígeno para el desarrollo de la levadura, hasta alcanzar el número de células que se requiere para la fermentación. Cuando el Brix disminuye a la mitad más uno de su valor inicial, se inocula la siguiente etapa en ambos casos.

✓ Etapa de fermentación alcohólica.

Se carga el fermentador con un pie de batición a Brix de corrida. Se añade un volumen de inóculo proveniente del prefermentador igual al 25% del volumen del fermentador y se espera hasta observar actividad en el medio. Luego se llena el fermentador con el 85 % de miel de 22 Brix, hasta alcanzar una concentración de 135 Kg/m³ de azúcares fermentables en condiciones anaerobias y se fermenta durante 30 horas.

✓ Destilación.

Se destila el vino para concentrar el grado alcohólico obtenido empleando la columna destrozadora hasta obtener una riqueza alcohólica de 70 °GL cercano a un aguardiente.

Se realizó un análisis para determinar el número de equipos necesarios para desarrollar el proceso de acuerdo a las condiciones de laboratorio. Como resultados se tiene que se necesitan cuatro prefermentadores y nueve fermentadores, una columna de destilación y tanques de almacenamiento de miel B, de mieles diluidas y para el alcohol de 70 °GL.

Tabla 25. Dimensiones del tanque de etanol, prefermentadores y fermentadores.

Variables	Prefermentador	Fermentador	Tanque Etanol
Ve (m ³)	7,5	25	32,5
Vreal(m ³)	8,66	25,01	34
H	2,78	5,03	11,95
D	1,85	2,52	5,98

3.5 Costos Totales de inversión.

Para determinar los costos totales de inversión se hizo necesaria la búsqueda del costo del equipamiento a utilizar. La fuente empleada para la determinación del precio fue la figura 14-56 de la página 539 y 14-47 de la página 530 de (PETER,

1991) y los índices de costo para la actualización de la (Perry, 1985). La actualización de costos se realiza a través de la siguiente ecuación.

Ec.5

Tabla 26. Costos Totales del Equipamiento.

Equipo	Costo Unitario \$	Valor Actual \$	N° Equipos	Valor Total \$
Tanque de Etanol	10 900	10 996,68	1	10 996,68
Prefermentadores	9 000	9 079,83	4	36 319,32
Condensador	5 848,2	5 822,44	1	5 822,44
Fermentadores	10 700	10794,90	9	97154,1
Columna de destilación	29 283,91	29 543,64	1	29 543,64
Tanque de Mezclado	11 000	11 097,57	1	11 097,57
Tanque de Dilución	8 000	8 070,96	1	8070,96
Intercambiador de calor	12 380,4	12 490,21	1	12 490,21
Total				211494,92

Tabla 27. Costos Totales de Inversión.

Costos Directos		
Costo del Equipamiento (E)	Base	Valor
		211494,92
Entrega del Equipamiento	0,10*E	21149,492
Subtotal: Equipamiento y su entrega (E')		232 644,412
Instalación de equipos adquiridos	0,47*E'	10 9342,87
Tuberías	0,68*E'	15 8198,2
Sistemas eléctricos	0,11*E'	25 590,86
Costos Directos Totales		525776,34
Costos Indirectos		
Gastos legales	0,04*E'	9 305,78

Costos Indirectos Totales		9 305,78
Costos Totales de Inversión (CD+CI)	535 082,12	

3.5.1 Costos Totales de Producción.

Se determinaron a través de los balances de materiales los consumos de materias primas para producir etanol bajo las condiciones de laboratorio.

Los balances de materiales y energía en todo el proceso dan como resultado que para la fermentación de un solo fermentador se necesitan en total 388172,021Kg de miel y 75 m³de agua. Se destilarán 8 fermentadores diarios, dado que la destilación de cada fermentación dura tres horas aproximadamente. Se conoce que la cantidad total de miel orgánica entregada por “Carlos Baliño” es de 3039 ton/año, por lo que es posible destilar un total de 78 fermentadores durante 48 días. Los costos de las materias primas se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Costos de las materias primas.

Materias Primas	Cantidad	Precio(\$/U.M)	Importe(\$/año)
Miel (ton/año)	3 039	84,16	170 808,61
Agua (m ³ /año)	6 409,34	0,53	3 396,95
Levadura (Kg/año)	7 020	3,96	27 799,20

Tabla 29. Valor de la Producción anual.

Productos	Cantidad	Precio(\$/U.M)	Importe(\$/año)
Etanol (HL)	125	0,6935	86,69

Tabla 30. Costos en utilidades anuales.

Utilidades	Costo	Cantidad	Costo (\$/año)
Aire (m ³)	0,45 \$/100m ³	2131,2	9,590
Electricidad (kW)	0,092 \$/kWh	17317	1 589,74
Vapor (Kg)	2 \$/1000 Kg	9426866,1	18 853,73
Agua enfriamiento (m ³)	0,08 \$/m ³	6865,93	548,55

Tabla 31. Costos Totales de Producción.

Elementos	%Base	Base	Valor
Materias Primas			63 458,8
Mano de Obra			21 600
Supervisión	0,1	Mano de Obra	2 160
Servicios			24 398,57
Mantenimiento y Reparaciones	0,02	FCI	19 909,032
Suministros	0,1	Mantenimiento y Reparaciones	1 990,90
Gastos de Laboratorio	0,05	Mano de Obra	1 080
Costos Variables	134 597,302		
Impuestos	0,01	FCI	9 954,516
Seguro	0,004	FCI	3 981,8064
Cargos Fijos	13 936,3224		
Puesta en Marcha, general	0,5	M. de obra, Supervisión y Mtto	21 834,5
Puesta en Marcha	128 754,516		
Costos de Fabricación (CV+CF+PM)	500 035,5936		
Administración	0,15	M. de obra, Supervisión y Mtto	38 626,3548
Distribución y Venta	0,02	CTP	11 355,758
Investigación y Desarrollo	0,02	CTP	11 355,758
Gastos Generales	66 939,8		
COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN (sin Depreciación) (CF+GG)	56 778,89		

3.5.2 Indicadores dinámicos económicos.

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los más importantes indicadores económicos, ya que es el valor que se obtiene cuando se termina la vida útil y es la forma de comprobar si la inversión que se propone es rentable. La Tasa Interna de Rentabilidad o de Retorno (TIR) no es más que la tasa de interés o el tipo de actualización que hace igual a cero el VAN, y como otro indicador fundamental se encuentra el Plazo de Recuperación al Descontado (PRD), el cual establece el tiempo en que se recupera la inversión sobre la base de cálculo del VAN a través de diferentes períodos. Los cálculos fueron realizados con la ayuda del programa computacional Microsoft Excel.

Valor Actual Neto:

Tasa Interna de Rentabilidad o de Retorno:

Plazo de Recuperación al Descontado:

Tabla 32. Indicadores Dinámicos de Rentabilidad.

Indicadores dinámicos	Resultados	Unidades
VAN	-711 786,61	\$
TIR	-	%
PRD	-	año

Como se muestra en la tabla 32, el análisis de factibilidad da como resultado que no es factible la inversión propuesta desde el punto de vista económico. Esto se debe a que, son pequeñas producciones las que se logran en las condiciones fijadas, debido a la miel de que se dispone, por lo que debe valorarse aumentar estas producciones, sin embargo es un producto nuevo que debe tener un valor superior al estimado en este trabajo y por otro lado tiene un impacto social para el territorio, al brindar un nuevo producto ecológico de gran importancia para el país, al igual que el azúcar orgánica.

Conclusiones

1. En la pre-fermentación se alcanzó un conteo celular máximo de 298 millones de células/mL siendo este valor superior al reportado por la literatura (150 millones de células/mL), por lo que es viable la eliminación de la etapa de cultivo para una efectiva propagación de la levadura.
2. Los mejores resultados para la fermentación resultaron ser para una relación de inoculación del 25% del volumen del fermentador, una concentración de sustrato de 22 Brix y 3 g/L de levadura a emplear.
3. El grado alcohólico en la fermentación se ve favorecido cuando las variables Brix del fermento y la concentración de inóculo se encuentran ambas en sus mayores niveles establecidos en el diseño experimental y corroborado por el análisis estadístico, con valores entre 8,56-8,81°GL, para una eficiencia de 80,27 %.
4. En la etapa de fermentación de laboratorio se obtuvieron buenos resultados en los parámetros medidos al proceso fermentativo: eficiencia, productividad y rendimiento alcohol/sustrato, variables que se encuentran dentro de lo obtenido en las destilerías cubanas en los procesos convencionales.
5. Los índices calculados para consumo miel, de agua, generación de vinazas y consumo de vapor están cercanos a los de las destilerías cubanas con valores de 5 kg/L etanol, 0,12 m³/L etanol, 21,4 L/L y 6,24 kg/L etanol, respectivamente.
6. En el diseño de los equipos principales para una destilería de alcohol orgánico, se logran resultados adecuados para la cantidad de alcohol que se desea obtener, fundamentalmente para el pre, fermentador y la columna de destilación con valores de 8,66 m³, 34 m³ y 30 platos en la columna.
7. Se determinaron los costos totales de inversión con \$ 442 895,24 y los de producción con 263 450,91 \$/año. El cálculo del VAN muestra que la inversión no es factible económicamente por lo pequeña de su capacidad.

Recomendaciones

1. Realizar la etapa de fermentación añadiendo la miel a utilizar con varios refrescos.
2. Considerar que el fermento se caliente con el vapor del condensador no con la vinaza sola, con vistas al ahorro de consumo de energía.
3. Estudiar en el laboratorio los niveles mínimos de levadura que debe ser inoculada al cultivador con el objetivo de lograr una disminución de los costos de producción por este concepto.
4. Los resultados alcanzados evidencian la necesidad de continuar estudiando diversas vías para elevar los conteos celulares en la etapa de prefermentación, a través de la búsqueda de fuentes orgánicas de nitrógeno, fósforo y demás elementos y disminuir la cantidad de azúcar en los fermentadores, pues con valores más bajos se obtienen buenos grados alcohólicos y se pueden obtener mayores producciones.
5. Continuar trabajando en el diseño detallado de los equipos de la planta e incluir otros equipos auxiliares como las bombas.

Bibliografía

1. 2000. HOJA DE SEGURIDAD ALCOHOL ETILICO.
2. 2016. Wikipedia.
3. (2018B), F. OrganicAgriculture: ¿Por qué son más caros los alimentos orgánicos que los alimentos ordinarios? .
4. BORDONS, A., REGUANT, C. 2013. Bioquímica de las bacterias lácticas del vino y la fermentación maloláctica. *ACENOLOGIA*. Revista de enología científica: Publicación trimestral, 14-17.
5. CARRETERO CASADO, F. Procesos de fabricación de bebidas alcohólicas.
6. FRIEDMANN, A. P., REINALDO Abril, 2010. AZÚCAR ORGÁNICA : POTENCIAL DE NEGOCIOS.
7. GARCÍA MELÓN, M. 2017. *Fundamentos del diseño en la ingeniería*
8. GARCÍA, R. 2006. *Cultivo mixto en el desarrollo de la fermentación para la producción de alcohol orgánico*. . Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
9. GLYNN, E., & NUFFIELD FOUNDATION 1973. *Química: etanol y otros alcoholes: Barcelona*.
10. HERNÁNDEZ, M. T. 2007. Tendencias actuales en la producción de Bioetanol. *In: TEC LANDIVAR, U. R. L., 2-17 (ed.)*.
11. [HTTP://WWW.ALCOHOLORGANICOCADO.COM/MONOGRAFIAS.COM.HT](http://www.alcoholorganico.com/monografias.com.htm)
[M](#). *Alcohol orgánico otra alternativa de diversificación from*
12. [Online].
13. [HTTP://WWW.ALCOHOLORGANICOCADO.COM/PAGINA-PRINCIPAL.HTML](http://www.alcoholorganico.com/pagina-principal.html). *Alcohol Delivery Service North London. from [Online]*.
14. KERN, D. 1999. Procesos de Transferencia de Calor.
15. LUNA, R. marzo 2001. Guía para elaborar estudios de factibilidad de proyectos ecoturísticos.
16. MARÍA, P. *APLICACIONES DEL ALCOHOL ETÍLICO from*
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m7.htm>[Online]. Lourdes Cornejo Arteaga.
17. MONTAÑEZ, J. L. 2011. Fermentación de los fructanos del Agave tiquilana Weber Azul por *Zymomonas mobilis* y *Saccharomyces cerevisiae* en la producción de bioetanol. *Información Tecnológica, 22, Nro. 6, 3-14*.
18. MONTERO OVIEDO, K. 2019. *Estudio de una alternativa tecnológica para la producción de etanol orgánico*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
19. NORA, E. MÉTODOS DE DISEÑO.
20. OJEDA MARTÍNEZ, R. 2005. *Propuesta de introducción de la tecnología de obtención de alcohol orgánico en la destilería del CAI. "Heriberto Duquesne"*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
21. PEÑA SUÁREZ, D. 2019. Estudio de Factibilidad Económica como herramienta en la determinación de la rentabilidad para la implementación de la producción y comercialización de frutas oriundas de la Amazonía en almíbar en LA CIUDAD DEL PUYO. *REVISTA INVESTIGACION OPERACIONAL*.

22. PERALTA, S. 2009. *Estudio de factibilidad económica y financiera para la creación de un restaurante de comida Sushi-Thai con ambiente "Premium" en el municipio el Hatillo, estado Miranda.*, Universidad Católica Andrés Bello.
23. PÉREZ, F. J. METODOLOGIA DEL DISEÑO, HISTORIA Y NUEVAS TENDENCIAS.
24. PÉREZ ONES, O. G. L., OSVALDO & JIMÉNEZ CABEZAS, OSCAR 2003. PRODUCCION DE ALCOHOL POR VIA FERMENTATIVA. *In: FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA, C. (ed.)*.
25. PERRY, R. H. C., CECIL H. 1985. *Chemical Engineers' Handbook*.
26. PETER, M., TIMMERHAUS, K 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineer*.
27. RADIO SURCO. *Empresa Agroindustrial Ceballos, sello distintivo de Ciego de Ávila* [Online]. Available: <http://www.radiosurco.icrt.cu/empresa-agroindustrial-ceballos-sello-distintivo-ciego-avila/11451/>.
28. RODRÍGUEZ OVALLE, A. 2016. *Evaluación de una propuesta tecnológica para la obtención de etanol orgánico en la destilería "Santa Fe", perteneciente a la UEB Derivados "Heriberto Duquesne"*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
29. ROYCROFT-BOSWELL, E. 2001. *Perspectivas Orgánicas en Cuba. New Directions Magazine*.
30. RUIZ, Á. A. Á., HERNÁN 2011. *Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico*. Universidad Nacional de Colombia-Medellín.
31. SOSA, D. 2018. *Propuesta de modificación tecnológica para la producción de alcohol orgánico en la destilería Alcoholes Finos de Caña SA.*, UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS SEDE: "CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ", Cienfuegos. .
32. TORRES JOMOLCA, D. 2005. *Estudio de la etapa de fermentación alcohólica utilizando mezclas de diferentes sustratos.*, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
33. WWW.ECURED.COM/FERMENTACIONALCOHOLICA.HTML.
34. WWW.OTISA.COM.
35. WWW.SICOAR.COM.UY/CLAES. 2000.

Anexos

Anexo 1: Certificación de la azúcar orgánica de Carlos Baliño.

86001200220Processing - Page 1/1



CERTIFICATE OF CONFORMITY FOR E.U. ORGANIC PRODUCTS

Documentary evidence to the system according to Article 20 of Regulation (EC) No 853/2007
Operated by ECOCERT S.A. - 87100 - 1, rue F. J. LEBLANC - France
Member of COFAC 45-0074 for agricultural products and food of domestic origin according to the contract
This document has been issued in accordance with Article 20(1) of Regulation (EC) No 853/2007 and Article 20(1) of Regulation (EC) No 1831/2003 for the category of products

Empresa Azucarera Carlos Baliño
c/ra 10 de la Cañalera Sagua
Sagua Domingo, Villa Clara
Cuba

Activities: Processing

The following products are certified according to the Organic Regulation:
 Date of issue: 24/04/2012 y 24/04/2012

See reference to the specific conditions of the system in the contract and in the Organic Regulation (EC) No 853/2007. Any other use of labeling or advertising to indicate food origin is not allowed. The product labeling may refer to the certification by ECOCERT according to ECOCERT labeling rules.

PROCESSING INFO			
Empresa Azucarera Carlos Baliño, c/ra 10 de la Cañalera Sagua Santo Domingo, Villa Clara, Cuba La Empresa de Ingeniería y Tecnología, Tecnología Agropecuaria - TECNOLAGRO Calle 12, N. 200 de 30 a 30, Miraflores, Playa, La Habana			
Product to be marketed	Category of certification	Validity period	
		From	To
Granulated sugar	E.U. organic product	24/04/2012	24/04/2013
Molasses	E.U. organic product	25/04/2012	24/04/2013

This certificate is not valid as a marketing guarantee. If required, certificates must be accompanied by a marketing certificate according to the rules determined in the certification contract and in agriculture provided.

Certificate ID: 86001200220Processing Expiry date: 24/04/2012 Issued in 1 file 20120424


 Carlos Baliño

This document belongs to ECOCERT and has to be returned on request. Only the original is valid.

86001200220Processing - Page 1/1

Anexo 2: Determinación de los grados Brix.

Al atravesar un rayo de luz dos medios diferentes, el primero experimenta una variación en su trayectoria en un cierto ángulo, llamándose a esta desviación: refracción.

El índice refracción varía con la temperatura, con la longitud de onda y con la concentración de sólidos solubles presentes, esta nos da una medida d los sólidos solubles en sólidos totales o lo que es lo mismo, los grados Brix.

Anexo 3: Determinación del pH

Determinación de pH. Este método se utiliza para la determinación del pH mediante el método potenciométrico.

Fundamentación del método:

Según la norma NC- 90-13-13:80. Aseguramiento Metrológico. Medidores de pH, reglas generales para efectuar mediciones de pH.

Reactivos:

Según NC- 90-13-13:80. Aseguramiento Metrológico. Medidores de pH. Reglas generales para efectuar mediciones de pH y NC-90-13-08:79.

Aseguramiento Metrológico Medidores de pH. Soluciones reguladoras de pH Soluciones reguladoras de pH. Requisitos para la elaboración.

Aparatos utensilios y medios de medición:

- Balanza técnica con límite máximo de 610 g y valor de división de 0,1 g.

Metro de pH exacto y confiable, equipado con electrodo de cristal y calomer, o combinado, capaz de medir pH en un intervalo de 1 a 10, con precisión de 0,1 pH.

Anexo 4: Determinación de la cantidad de células (conteo celular).

Fundamento del método:

Esta técnica se establece para la determinación cuantitativa de las células de la levadura presentes en el inóculo.

Está basado en el conteo de la cantidad de células por unidad de volumen presentes en una muestra, previamente diluida, al observarla al microscopio.

Procedimiento:

1. Se enciende el microscopio previamente.
2. Se toma una muestra y se diluye con agua en una proporción de 1 en 100.
3. Se toma la muestra diluida y se coloca en la cámara de recuento.
4. Luego se coloca en el microscopio y se ajusta el lente.
5. Se busca el primer cuadrante y se cuentan las células que se encuentren dentro de los cinco cuadrantes de la diagonal.
6. Se cuentan las células que posean mayor tamaño.

Expresión de los resultados:

$$Y = A \cdot D \cdot 25 \cdot 10^4$$

Donde:

Y: Número de células por unidad de volumen.

A: Promedio del número total de células contadas en los cinco cuadros de la diagonal principal.

D: Inverso de la dilución utilizada para llenar la cámara de recuento.

Anexo 5: Determinación del grado alcohólico.

Método picnométrico:

Se toman 100 ml de fermento más 50 ml de agua destilada y ambos son adicionados a un balón, se calienta y se hace que la mezcla ebulle, a través de un condensador. Se recoge un volumen de 50 ml de destilado en un matraz de 10 ml y se enrasa con agua destilada.

Con este producto se procede a realizar los análisis de medición del grado alcohólico que consiste en realizar un conjunto de pesadas al picnómetro, vacío, con agua destilada y hervida, y con el destilado. Entonces a través de la fórmula se obtiene la gravedad específica y con ese valor se va a la tabla "Determinación del alcohol en volumen y en peso por ciento según K. Windish, a 15°C" donde se obtiene el valor del grado °GL.

Todo el procedimiento se realizó a 15°C pues a esa temperatura es a la que viene referido el valor del grado alcohólico.

$$S = 0.99913 (C - A) / (B - A)$$

S: Gravedad relativa.

A: Peso del picnómetro vacío.

B: Peso del picnómetro con el agua destilada y hervida

C: Peso del picnómetro con el destilado

Anexo 6: Tabla para determinar el grado alcohólico.

TABLA I. - Determinación del alcohol en volumen y en peso por ciento, según K. WINDISCH, a 15°C.

Peso específico d (15°/15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso específico d (15°/15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.
0.9800	0.00	0.00	0.00	0.9800	22.49	27.42	21.76
0.9805	0.25	0.33	0.26	0.9805	22.47	27.40	21.74
0.9810	0.50	0.63	0.50	0.9810	22.45	27.38	21.72
0.9815	0.75	0.96	0.75	0.9815	22.43	27.36	21.70
0.9820	1.00	1.29	1.00	0.9820	22.41	27.34	21.68
0.9825	1.25	1.62	1.25	0.9825	22.39	27.32	21.66
0.9830	1.50	1.95	1.50	0.9830	22.37	27.30	21.64
0.9835	1.75	2.28	1.75	0.9835	22.35	27.28	21.62
0.9840	2.00	2.61	2.00	0.9840	22.33	27.26	21.60
0.9845	2.25	2.94	2.25	0.9845	22.31	27.24	21.58
0.9850	2.50	3.27	2.50	0.9850	22.29	27.22	21.56
0.9855	2.75	3.60	2.75	0.9855	22.27	27.20	21.54
0.9860	3.00	3.93	3.00	0.9860	22.25	27.18	21.52
0.9865	3.25	4.26	3.25	0.9865	22.23	27.16	21.50
0.9870	3.50	4.59	3.50	0.9870	22.21	27.14	21.48
0.9875	3.75	4.92	3.75	0.9875	22.19	27.12	21.46
0.9880	4.00	5.25	4.00	0.9880	22.17	27.10	21.44
0.9885	4.25	5.58	4.25	0.9885	22.15	27.08	21.42
0.9890	4.50	5.91	4.50	0.9890	22.13	27.06	21.40
0.9895	4.75	6.24	4.75	0.9895	22.11	27.04	21.38
0.9900	5.00	6.57	5.00	0.9900	22.09	27.02	21.36
0.9905	5.25	6.90	5.25	0.9905	22.07	27.00	21.34
0.9910	5.50	7.23	5.50	0.9910	22.05	26.98	21.32
0.9915	5.75	7.56	5.75	0.9915	22.03	26.96	21.30
0.9920	6.00	7.89	6.00	0.9920	22.01	26.94	21.28
0.9925	6.25	8.22	6.25	0.9925	21.99	26.92	21.26
0.9930	6.50	8.55	6.50	0.9930	21.97	26.90	21.24
0.9935	6.75	8.88	6.75	0.9935	21.95	26.88	21.22
0.9940	7.00	9.21	7.00	0.9940	21.93	26.86	21.20
0.9945	7.25	9.54	7.25	0.9945	21.91	26.84	21.18
0.9950	7.50	9.87	7.50	0.9950	21.89	26.82	21.16
0.9955	7.75	10.20	7.75	0.9955	21.87	26.80	21.14
0.9960	8.00	10.53	8.00	0.9960	21.85	26.78	21.12
0.9965	8.25	10.86	8.25	0.9965	21.83	26.76	21.10
0.9970	8.50	11.19	8.50	0.9970	21.81	26.74	21.08
0.9975	8.75	11.52	8.75	0.9975	21.79	26.72	21.06
0.9980	9.00	11.85	9.00	0.9980	21.77	26.70	21.04
0.9985	9.25	12.18	9.25	0.9985	21.75	26.68	21.02
0.9990	9.50	12.51	9.50	0.9990	21.73	26.66	21.00
0.9995	9.75	12.84	9.75	0.9995	21.71	26.64	20.98
1.0000	10.00	13.17	10.00	1.0000	21.69	26.62	20.96

TABLE I. (Continued)

Peso específico d (15°/15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso específico d (15°/15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.
0.9955	55.87	63.60	50.54	0.8710	69.43	76.40	60.63
0.9960	56.09	63.91	50.71	0.8715	69.48	76.45	60.68
0.9965	56.31	64.22	50.88	0.8720	69.53	76.50	60.73
0.9970	56.52	64.53	51.06	0.8725	69.58	76.55	60.78
0.9975	56.74	64.85	51.23	0.8730	69.63	76.60	60.83
0.9980	56.96	65.16	51.40	0.8735	69.68	76.65	60.88
0.9985	57.18	65.48	51.57	0.8740	69.73	76.70	60.93
0.9990	57.40	65.79	51.74	0.8745	69.78	76.75	60.98
0.9995	57.62	66.11	51.91	0.8750	69.83	76.80	61.03
1.0000	57.84	66.42	52.07	0.8755	69.88	76.85	61.08
0.8655	58.06	65.82	52.24	0.8760	69.93	76.90	61.13
0.8660	58.27	66.13	52.41	0.8765	69.98	76.95	61.18
0.8665	58.49	66.44	52.57	0.8770	70.03	77.00	61.23
0.8670	58.71	66.75	52.74	0.8775	70.08	77.05	61.28
0.8675	58.93	67.06	52.90	0.8780	70.13	77.10	61.33
0.8680	59.15	67.37	53.07	0.8785	70.18	77.15	61.38
0.8685	59.37	67.68	53.23	0.8790	70.23	77.20	61.43
0.8690	59.59	67.99	53.40	0.8795	70.28	77.25	61.48
0.8695	59.81	68.30	53.56	0.8800	70.33	77.30	61.53
0.8700	60.03	68.61	53.73	0.8805	70.38	77.35	61.58
0.8705	60.25	68.92	53.89	0.8810	70.43	77.40	61.63
0.8710	60.47	69.23	54.06	0.8815	70.48	77.45	61.68
0.8715	60.69	69.54	54.22	0.8820	70.53	77.50	61.73
0.8720	60.91	69.85	54.38	0.8825	70.58	77.55	61.78
0.8725	61.13	70.16	54.54	0.8830	70.63	77.60	61.83
0.8730	61.35	70.47	54.70	0.8835	70.68	77.65	61.88
0.8735	61.57	70.78	54.86	0.8840	70.73	77.70	61.93
0.8740	61.79	71.09	55.02	0.8845	70.78	77.75	61.98
0.8745	62.01	71.40	55.18	0.8850	70.83	77.80	62.03
0.8750	62.23	71.71	55.34	0.8855	70.88	77.85	62.08
0.8755	62.45	72.02	55.50	0.8860	70.93	77.90	62.13
0.8760	62.67	72.33	55.66	0.8865	70.98	77.95	62.18
0.8765	62.89	72.64	55.82	0.8870	71.03	78.00	62.23
0.8770	63.11	72.95	55.98	0.8875	71.08	78.05	62.28
0.8775	63.33	73.26	56.14	0.8880	71.13	78.10	62.33
0.8780	63.55	73.57	56.30	0.8885	71.18	78.15	62.38
0.8785	63.77	73.88	56.46	0.8890	71.23	78.20	62.43
0.8790	63.99	74.19	56.62	0.8895	71.28	78.25	62.48
0.8795	64.21	74.50	56.78	0.8900	71.33	78.30	62.53
0.8800	64.43	74.81	56.94	0.8905	71.38	78.35	62.58
0.8805	64.65	75.12	57.10	0.8910	71.43	78.40	62.63
0.8810	64.87	75.43	57.26	0.8915	71.48	78.45	62.68
0.8815	65.09	75.74	57.42	0.8920	71.53	78.50	62.73
0.8820	65.31	76.05	57.58	0.8925	71.58	78.55	62.78
0.8825	65.53	76.36	57.74	0.8930	71.63	78.60	62.83
0.8830	65.75	76.67	57.90	0.8935	71.68	78.65	62.88
0.8835	65.97	76.98	58.06	0.8940	71.73	78.70	62.93
0.8840	66.19	77.29	58.22	0.8945	71.78	78.75	62.98
0.8845	66.41	77.60	58.38	0.8950	71.83	78.80	63.03
0.8850	66.63	77.91	58.54	0.8955	71.88	78.85	63.08
0.8855	66.85	78.22	58.70	0.8960	71.93	78.90	63.13
0.8860	67.07	78.53	58.86	0.8965	71.98	78.95	63.18
0.8865	67.29	78.84	59.02	0.8970	72.03	79.00	63.23
0.8870	67.51	79.15	59.18	0.8975	72.08	79.05	63.28
0.8875	67.73	79.46	59.34	0.8980	72.13	79.10	63.33
0.8880	67.95	79.77	59.50	0.8985	72.18	79.15	63.38
0.8885	68.17	80.08	59.66	0.8990	72.23	79.20	63.43
0.8890	68.39	80.39	59.82	0.8995	72.28	79.25	63.48
0.8895	68.61	80.70	59.98	0.9000	72.33	79.30	63.53
0.8900	68.83	81.01	60.14	0.9005	72.38	79.35	63.58
0.8905	69.05	81.32	60.30	0.9010	72.43	79.40	63.63
0.8910	69.27	81.63	60.46	0.9015	72.48	79.45	63.68
0.8915	69.49	81.94	60.62	0.9020	72.53	79.50	63.73
0.8920	69.71	82.25	60.78	0.9025	72.58	79.55	63.78
0.8925	69.93	82.56	60.94	0.9030	72.63	79.60	63.83
0.8930	70.15	82.87	61.10	0.9035	72.68	79.65	63.88
0.8935	70.37	83.18	61.26	0.9040	72.73	79.70	63.93
0.8940	70.59	83.49	61.42	0.9045	72.78	79.75	63.98
0.8945	70.81	83.80	61.58	0.9050	72.83	79.80	64.03
0.8950	71.03	84.11	61.74	0.9055	72.88	79.85	64.08
0.8955	71.25	84.42	61.90	0.9060	72.93	79.90	64.13
0.8960	71.47	84.73	62.06	0.9065	72.98	79.95	64.18
0.8965	71.69	85.04	62.22	0.9070	73.03	80.00	64.23
0.8970	71.91	85.35	62.38	0.9075	73.08	80.05	64.28
0.8975	72.13	85.66	62.54	0.9080	73.13	80.10	64.33
0.8980	72.35	85.97	62.70	0.9085	73.18	80.15	64.38
0.8985	72.57	86.28	62.86	0.9090	73.23	80.20	64.43
0.8990	72.79	86.59	63.02	0.9095	73.28	80.25	64.48
0.8995	73.01	86.90	63.18	0.9100	73.33	80.30	64.53
0.9000	73.23	87.21	63.34	0.9105	73.38	80.35	64.58
0.9005	73.45	87.52	63.50	0.9110	73.43	80.40	64.63
0.9010	73.67	87.83	63.66	0.9115	73.48	80.45	64.68
0.9015	73.89	88.14	63.82	0.9120	73.53	80.50	64.73
0.9020	74.11	88.45	63.98	0.9125	73.58	80.55	64.78
0.9025	74.33	88.76	64.14	0.9130	73.63	80.60	64.83
0.9030	74.55	89.07	64.30	0.9135	73.68	80.65	64.88
0.9035	74.77	89.38	64.46	0.9140	73.73	80.70	64.93
0.9040	74.99	89.69	64.62	0.9145	73.78	80.75	64.98
0.9045	75.21	90.00	64.78	0.9150	73.83	80.80	65.03
0.9050	75.43	90.31	64.94	0.9155	73.88	80.85	65.08
0.9055	75.65	90.62	65.10	0.9160	73.93	80.90	65.13
0.9060	75.87	90.93	65.26	0.9165	73.98	80.95	65.18
0.9065	76.09	91.24	65.42	0.9170	74.03	81.00	65.23
0.9070	76.31	91.55	65.58	0.9175	74.08	81.05	65.28
0.9075	76.53	91.86	65.74	0.9180	74.13	81.10	65.33
0.9080	76.75	92.17	65.90	0.9185	74.18	81.15	65.38
0.9085	76.97	92.48	66.06</				