

*Filial Universitaria Municipal "Urbano Noris Cruz"
Facultad Agroindustrial.*

Trabajo de Diploma.

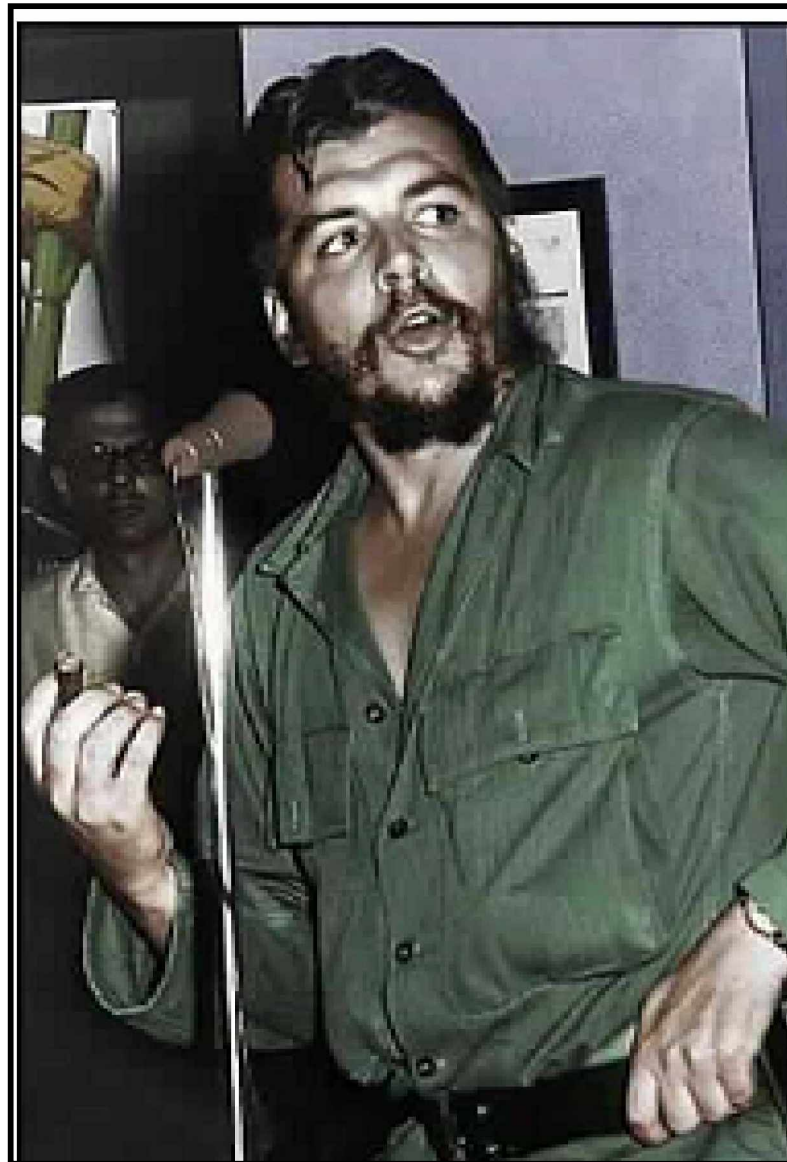
Título: Análisis y evaluación de variables en las etapas de fermentación y destilación para mejorar los niveles de producción y calidad de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris", de la Empresa Azucarera Holguín.

Autor: José Elider Garnica Guerra

Tutor: MsC.. Marjoidis Oquendo Gómez

Consultante: MsC. Arámides Hernández Velázquez

Pensamiento.



"...Llegará el día en que los derivados de la caña de azúcar, tengan tanta importancia para la economía nacional como la que hoy tiene el azúcar"

Ernesto (Che) Guevara de la Serna.

Dedicatoria

A mi madre, hijos, y a mi querida esposa, que me han apoyado para hacer de mí un profesional.

A mis compañeros por las ideas brindadas y su cooperación.

Agradecimientos

A la Revolución cubana, por permitirme formar parte de esta batalla de ideas.

A mi tutora Marjoidis Oquendo, por su incondicional ayuda, a todos los que de una forma u otra han ayudado con dedicación, colaboración y sabias lecciones.

Al Msc Arámides Hernández Velázquez por sus valiosas indicaciones y el tiempo dedicado a esta investigación.

Al Ingeniero Yoel Suárez Paneque por su dedicación y ayuda desinteresada.

A todas aquellas personas que de una forma u otra en estos seis años de estudios aportaron a mi formación técnico profesional, conocimientos, valores humanos y éticos.

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Derivados "Urbano Noris" perteneciente a la Empresa Azucarera Holguín, del Grupo Empresarial Azucarero *AZCUBA*. El mismo tiene como objetivo principal la caracterización y análisis de las principales variables que rigen el proceso de fermentación y destilación para mejorar la calidad y eficiencia del proceso productivo de obtención de alcohol etílico rectificado. Para ello se aplicaron los métodos de investigación; del nivel teórico: análisis y síntesis e inducción-deducción; del nivel empírico: observación científica y revisión de documentos y del nivel estadístico. Se llegó a la conclusión de que las variables que más inciden en la eficiencia del proceso y la calidad del producto final, en las etapas de fermentación y destilación, lo constituyen la calidad de las mieles y la temperatura.

SUMMARY

This work was carried out at "Urbano Noris" Sugar by-products Basic Unit Empresarial (UEB), which is part from the Holguín Sugar Enterprise, from the Sugar Enterprises Group (*AZCUBA*). It has as main goal the characterization and analysis of main variables that govern the process of fermentation and distillation to get the best quality and efficiency of productive process of obtaining of fixed ethyl alcohol. For it investigation methods were applied; from theoretic level: analysis and synthesis and induction deduction; from empiric level: scientific observation and revision of documents and other from statistical level. The variable what has a most important effect on the efficiency of process and the quality of the final product is the quality of the molasses used for the fermentation at distillery was the main conclusion reached at the end of investigation. Molasses quality and control of temperatura, both in fermentation and distillation; were identified as the main variables to get efficiency through industrial process and quality at the end of it.

ÍNDICE

CONTENIDO	Pág.
Introducción	1
Capítulo I:	
1.1 Bases de la investigación	5
1.2 Miel final como materia prima para la producción de alcohol	8
1.3 Principios básicos de la fermentación alcohólica.	10
1.3.1 Etapas de la fermentación alcohólica	11
1.4 Principios básicos que rigen la destilación	12
Capítulo II:	
2.1 Caracterización de la UEB Derivados "Urbano Noris".	13
2.2 Fase de fermentación.	14
2.2.1 Prefermentación	14
2.2.1.1 Descripción de las variables a tener en cuenta en la etapa de prefermentación.	15
2.2.1.2 Fermentación	16
2.2.1.3 Descripción de las variables a tener en cuenta en la etapa de fermentación	17
2.3 Destilación	19
2.3.1 Proceso de destilación de la UEB Derivados "Urbano Noris"	19
2.3.2 Estudio de la columna destiladora. Elementos interiores	20
2.3.3 Variables a tener en cuenta en la etapa de destilación	21
2.4 Parámetros a determinar para el control de la calidad del alcohol	22
2.5 Determinación de las variables que mayor grado de significación obtuvieron en el análisis.	24
2.6 Procesamiento estadístico de los resultados	26
2.6.1 Análisis de la variable más significativa. Miel Final.	26
2.6.2 Parámetros de calidad que se determinan a la miel.	29
2.7 Análisis Económico	34
Conclusiones	
Recomendaciones	
Bibliografía	

Anexos	
--------	--

INTRODUCCION.

A partir del año 1990, Cuba se enfrentó a una crisis económica sin precedentes debido a factores de incidencia generalizada en el mundo (la globalización y la crisis financiera) y a factores de acción específica (desaparición del campo socialista con lo que se perdió casi el 85% de sus mercados de importación y exportación y el recrudecimiento del bloqueo de EE.UU.). Esto obligó a acometer una generalizada y rápida reconversión tecnológica, financiera, de mercados, productos y formas de propiedad y gestión.

A pesar de todas las complejidades de este proceso, a partir del alza de los precios del petróleo y en la medida en que la producción de alcohol se fue haciendo competitiva en lo que a costos se refiere, se han incrementado progresivamente sus niveles de producción a nivel mundial.

Cuba, país subdesarrollado, trabaja fuertemente en este campo para reducir los costos de sus producciones y lograr precios competitivos para nuestros alcoholes y rones.

Actualmente la demanda de alcoholes en el mercado internacional se ha incrementado, y la calidad es un factor de competitividad. La calidad del alcohol, reviste una especial importancia, pues constituye la base para la inserción y permanencia en el mercado con precios competitivos, ante tal situación nuestras destilerías tienen que tomar conciencia de la importancia de trabajar con eficiencia y calidad.

La producción de alcohol abarca dos aspectos básicos: fermentación, etapa en que los azúcares fermentables son transformados en alcohol, anhídrido carbónico y otros productos secundarios, y destilación, en la que el alcohol es separado de la mezcla fermentada. Los tipos y calidades dependen de las características y ordenamiento de los equipos de destilación denominados sistemas, según los cuales se puede obtener desde alcohol crudo hasta alcoholes extrarefinados.

Por todo esto es de vital importancia realizar investigaciones que ayuden a mejorar la eficiencia y calidad del proceso de obtención de alcohol mediante el análisis de las principales variables que rigen el producción de alcohol, garantizando un proceso eficiente que nos permita mantenernos en el mercado internacional con las exigencias que nos plantean los clientes.

Atendiendo a estas necesidades; a las nuevas direcciones de trabajo del Grupo Azucarero *AZCUBA* hacia la producción de derivados de la caña de azúcar, fundamentalmente el alcohol etílico rectificado, renglón exportable de privilegiados precios en el mercado mundial y a las exigencias de calidad que demandan los clientes, se ha sugerido estudiar los factores que influyen decisivamente en los procesos alcohólicos buscando los parámetros que ofrecen mayor incidencia para las condiciones actuales de la destilería de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Derivados "Urbano Noris" perteneciente a la Empresa Azucarera Holguín, para lograr una mayor producción con calidad y eficiencia .

Las razones anteriormente referidas hacen pertinente declarar el siguiente **problema científico**: Necesidad de un análisis en las etapas de fermentación y destilación, así como evaluar las variables de mayor incidencia en los niveles de producción y calidad de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris".

Para asumir una investigación para reconocer las variables que más afectan el proceso productivo en la Destilería de la UEB Derivados "Urbano Noris" se asume como **objeto de la investigación**:

VARIABLES que intervienen en el proceso de producción de alcohol rectificado (etapas de fermentación y destilación), en la UEB Derivados "Urbano Noris" de la Empresa Azucarera Holguín, y el **Campo de acción**: La producción de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris", perteneciente a la Empresa Azucarera Holguín.

Se asume como **Objetivo de la investigación:** Análisis de las diferentes variables que actúan en las etapas de fermentación y destilación y definición de las de mayor incidencia para mejorar los niveles de calidad y producción de alcohol metílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris" de la Empresa Azucarera Holguín.

HIPÓTESIS:

Si se actuara sobre las variables que ejercen mayor incidencia en las etapas de fermentación y destilación, se garantizaría mejorar los niveles de producción y calidad de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris" de la Empresa Azucarera Holguín.

Para dar cumplimiento al objetivo y respuesta a la hipótesis se asumen las siguientes **tareas científicas:**

1. Estudio de los referentes teóricos que existen sobre la obtención de alcohol etílico rectificado a partir de las mieles finales del proceso agroindustrial de la caña de azúcar.
2. Análisis de las variables que inciden en la calidad y producción de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris", Holguín.
3. Determinación y demostración de las variables que inciden en la calidad y producción de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris".

La investigación permitió el empleo de diversos métodos del nivel científico entre los cuales se citan los siguientes.

- **Análisis-Síntesis:** En la elaboración de conclusiones lógicas referidas con el tema.
- **Sistémico-estructural funcional:** En: Todo fenómeno se mueve en el tiempo y por tanto tiene su historia.

- **Histórico-Lógico** Este método se utiliza en el análisis de la historia del tema objeto de investigación.
- **Observación científica:** En la observación del comportamiento del fenómeno, siempre como un observador participante activo.
- **Entrevista:** Se aplicará a los directivos y trabajadores de operaciones de la UEB Derivados “Urbano Noris” para conocer los conocimientos y experiencias que tienen sobre el tema.
- **Método estadístico-matemático:** Para el procesamiento estadístico y matemático de las encuestas y entrevistas

El **aporte** de la investigación lo constituye la determinación de las etapas más importantes en el proceso tecnológico de la UEB Derivados Urbano Noris, la selección y demostración de las variables con más incidencia en los niveles de calidad y producción de alcohol rectificado

CAPITULO I

1.1 BASES DE LA INVESTIGACION.

Se decide realizar la investigación teniendo como punto de partida que el tema está recogido en el banco de problemas de la UEB Derivados "Urbano Noris", Empresa Azucarera Holguín y del municipio, conociendo además que la calidad y la producción de alcoholes de la UEB ha presentado dificultades durante los últimos años.

Desde 1959 muchos han sido los esfuerzos por lograr que la producción azucarera y sus derivados mantengan la posición del renglón más importante de las exportaciones del país; el alcohol etílico rectificado es un producto importante en el comercio mundial, y muchos países están vitalmente interesados en disponer de un suministro regular del mismo. Con los precios actuales este producto se ha convertido en un renglón indispensable para el desarrollo de la economía nacional.

En Cuba, producto de la diversificación de la agroindustria azucarera es indispensable desarrollar los derivados de la caña de azúcar y entre ellos la de alcohol, lo que constituye una fuente importante de ingresos en divisas para el país. Holguín como parte del potencial azucarero y de los derivados aporta una elevada producción de alcohol etílico rectificado, que para exportarlo es necesario mejorar su calidad elevar y sus niveles de producción.

La calidad del alcohol etílico rectificado, reviste una especial importancia, pues constituye la base para la inserción y permanencia en el mercado con precios competitivos, además de garantizar la satisfacción de los clientes.

En el año 2012 el grupo *AZCUBA* se propone el reto de comercializar por primera vez el alcohol etílico rectificado (según los requerimientos especificados en la *NC 792:2010 Alcohol Etílico. Requisitos* y de acuerdo a otras exigencias de mercado) e inmersos en este proceso se presentaron dificultades en la mayoría de las destilerías, lo que conllevó a análisis y medidas concretas en cada una de estas, así como la activación de un plan para asegurar la eficiencia y la calidad del proceso.

Son significativos los pasos que se han dado para completar en la práctica los resultados investigativos obtenidos en la producción de alcoholes para lograr soluciones en las áreas que lo requieran, con el propósito de elevar la eficiencia de la producción y la calidad del alcohol etílico rectificado.

Solucionar estas dificultades de inmediato es imposible, por lo que es necesario buscar alternativas que mejoren la producción, entre ellas la calidad de la miel, la asepsia del sistema, así como el cumplimiento de las disposiciones tecnológicas que inciden en la eficiencia de la producción y la calidad del alcohol etílico rectificado.

La miel final es la materia prima fundamental en la producción de alcohol etílico rectificado, por lo que debe cumplir con ciertos parámetros definidos por los documentos normativos, para mejorar la eficiencia de la producción.

El lineamiento 211 del último Congreso del Partido Comunista de Cuba plantea: "Aumentar de forma gradual la producción de azúcar y derivados de la caña, asegurando una correcta organización y planificación de la zafra y la reparación industrial, cumpliendo con la disciplina tecnológica para lograr ingresos en divisas que permitan financiar los gastos totales de operación, más el valor de las inversiones y las reparaciones que se ejecuten, y realizar un aporte neto para el país."
(27)

El lineamiento 212 del Congreso del Partido Comunista de Cuba plantea: "Diversificar las producciones azucareras teniendo en cuenta las exigencias del mercado internacional e interno. Avanzar en la creación, recuperación y explotación

acertada de las plantas de derivados y subproductos, priorizando las destinadas a la obtención de alcohol, alimento animal, bioproductos y otros. " (27)

El alcohol etílico se puede considerar uno de los más antiguos productos orgánicos conocidos por el hombre, su producción por vía fermentativa data de la antigüedad en que se elaboraban vinos y otras bebidas antiguas, este proceso ha sido a lo largo de la historia uno de los más estudiados, dando origen al descubrimiento de la participación de los microorganismos en la producción de diferentes compuestos de difícil acceso por vía de la síntesis orgánica.

La palabra fermentación se deriva etimológicamente de la palabra del latín "**fervere**" que significa ebullición y burbujeo. Esto se debe al parecer por la forma de ebullición que presenta la fermentación en la superficie del fermentador debido al movimiento desde las paredes hacia el centro, formando espumaraje que hace parecer un burbujeo.

Este proceso consiste en la hidrólisis del azúcar o sacarosa a anhídrido carbónico (**CO₂**) y alcohol etílico (etanol) en ausencia de oxígeno (proceso anaerobio) según la reacción:



En este proceso la levadura obtiene menos energía del azúcar y crecerá muy lentamente.

El etanol se produce a partir de distintos tipos de materias primas renovables, como caña de azúcar (subproductos), granos que contienen almidón o materiales lignocelulósicos (residuos agronómicos, yerbas y maderas)

De los subproductos de la caña de azúcar, en Cuba, se utiliza la miel final como materia prima fundamental para la producción de alcohol.

Según Murtagh, "dentro de los que contienen altos contenidos de almidón para la producción de alcohol, se encuentran el maíz, el arroz, el trigo, etc. que está entre un

(60%-80%), siendo esta la manera en que estos tipos de granos almacenan sus carbohidratos. " (30)

Además plantea que "existen también otras materias primas para la obtención de alcohol como son los sueros derivados de los productos lácteos, los cuales contienen el azúcar en forma de lactosa. También se pueden utilizar otros productos, como, residuos de materiales que sirven para la obtención de etanol. " (30)

1.2 Miel final como materia prima para la producción de alcohol

La producción de alcohol por vía fermentativa esta basada en la "conversión de los hidratos de carbono en etanol por la acción de las levaduras. Como fuente de hidrocarburos se pueden utilizar diversas fuentes como el azúcar, el almidón, la celulosa, etc. Por ser Cuba un país productor de azúcar se toma como materia prima la miel final o algunos productos intermedios de la fabricación de azúcar. " (14)

La miel final o melaza es un subproducto del proceso azucarero que se obtiene de la centrifugación. Este producto contiene una gran cantidad de sacarosa, alrededor de un 50%, que no puede ser recuperada por métodos rentables y es necesario darle un uso que permita una mayor revalorización de la caña.

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 las producciones de bioproductos por vía fermentativa como son: alcohol etílico, torula forrajera, dextranasa, alfa-milasa, otras enzimas, ácido láctico y otros ácidos, etc. Además de sus diversos usos como alimento animal y anticorrosivos. (3)

La miel final es el sustrato más utilizado en cuba para la producción de bioetanol. En esta producción se utiliza la levadura *saccharomyces cerevisiae* la cual degrada los monosacáridos y los convierte en etanol y CO₂ siguiendo la ecuación de Gay-Lussac. En la miel la mayor cantidad de azúcares están constituidos por la sacarosa que es un polisacáridos por tanto es necesaria la acción de las enzimas de las

levaduras para su hidrolización en monosacáridos asimilables por las levaduras. En el caso de los reductores libres están compuestos por glucosa y fructuosa, ambos monosacáridos, que son directamente asimilables.

Además de ser la miel final portadora de carbohidratos tiene una serie de componentes que benefician al crecimiento de la levadura y a la reacción de producción de alcohol. Todos los elementos fundamentales necesarios para el desarrollo del microorganismo existen en mayor o menor medida en la materia prima, el carbono esta en forma de azúcares fermentables, el nitrógeno esta en forma de aminoácidos, proteínas y nitrógeno amoniacal pero solo de un 35-50 % del total en asimilable, estas cantidades no cumple con las necesidades de la levadura por tanto una parte debe ser suministrado. Otro de los elementos que aporta la miel es el fósforo formando una parte principal de los componentes de las cenizas, pudiéndose encontrar mieles hasta de 0.3 % de fósforo total con 65-88 % de P_2O_5 asimilable por la levadura. El fósforo aportado por la miel no es suficiente para el desarrollo celular por tanto también es necesario suministrarlo. El último elemento fundamental para el desarrollo de cualquier microorganismo es el potasio el cual esta muy ligado a la fertilización de la caña, este se encuentra en cantidad suficiente y en forma asimilable para cumplir los requerimientos de las levaduras.

Las mieles finales del proceso azucarero tienen en la presencia de los probióticos una gran fortaleza sobre cualquier otro sustrato. Estas vitaminas favorecen la propagación celular y la degradación de la glucosa en etanol y CO_2 . Los probióticos inciden de forma directa en los tiempos de fermentación y por tanto son un elemento primordial en la eficiencia en fermentación.

Está definido claramente que " para crear un medio óptimo para la nutrición y desarrollo de la levadura es necesario que en el medio tenga todos los elementos nutritivos indispensables y la densidad sea igual a la del líquido intracelular, medio isotónico." (3)

Como ya vimos la miel tiene los nutrientes pero la densidad es muy alta, para su uso en fermentación, es necesario disminuir la densidad, hasta 120 g/l, para que sea un medio isotónico.

Para evaluar la eficiencia en una destilería hay que tener en cuenta que la eficiencia en el proceso fermentativo nunca puede ser de un 100% debido a que una parte de los azúcares fermentables que son utilizados por las levaduras para el crecimiento celular, en el proceso tradicional llegan a ser mayores de un 15 %. El otro factor importante en la eficiencia de las fábricas de alcohol es la eficiencia de la operación de destilación la cual generalmente se comporta en valores mayores del 95% de eficiencia. Existe un factor que pudiera desviar los valores que se manejan en las plantas de los valores reales, las pérdidas durante el proceso.

Además según Piñón "La fermentación alcohólica tiene 3 grandes enemigos a saber, la acidez del medio, las temperaturas superiores a 35 °C y la inhibición del propio alcohol generado en el proceso y existe pues un cuarto enemigo que reside en las mieles que son las Cenizas o sales inorgánicas, cuanto más elevada es su concentración y la concentración relativa a los azúcares será más lenta la fermentación y peores los resultados. " (12)

1.3 Principios básicos la fermentación alcohólica.

La producción de alcohol abarca dos aspectos básicos: fermentación, etapa en que los azúcares fermentables son transformados en alcohol, anhídrido carbónico y otros productos secundarios, y destilación, etapa en la que el alcohol es separado de la mezcla fermentada. Los tipos y calidades dependen de las características y ordenamiento de los equipos de destilación denominados sistemas, según los cuales se puede obtener desde alcohol crudo hasta alcoholes extrarefinados.

En la industria alcoholera la fermentación se logra mediante la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, excelente productora de alcohol, como fuente de

carbono asimila únicamente hexosas y después de secada tiene un contenido bruto de proteínas que fluctúan entre 35 y 45 %.

1.3.1 Etapas de la fermentación alcohólica

- I. **Preparación de la materia prima y auxiliares:** Operaciones que posibilitan convertir la miel final de la fabricación de azúcar en un sustrato o medio adecuado para el proceso fermentativo de la destilería
- II. **Fermentación aerobia para propagar y desarrollar levadura:** En esta etapa se produce la cantidad de levadura necesaria para la etapa de producción de alcohol. Las condiciones de trabajo del prefermentador se regulan de forma tal que se pueda garantizar la propagación de la levadura hasta obtener una óptima población celular, con conteos celulares entre 120-150 millones de células/cm³ de batición. Como es un proceso expuesto al medio ambiente con mezcla cruda miel-agua, existen parámetros sobre los cuales es necesario establecer un riguroso control.
- III. **Fermentación anaerobia para la obtención de alcohol:** Es en esta etapa donde realmente se obtienen los productos de interés comercial para la empresa, siendo estos, el alcohol, el CO₂ y la levadura.

Los valores de eficiencias que son posibles obtener en esta etapa oscilan entre 85 y 90%, por la sencilla razón de que las levaduras utilizan para su alimentación y reproducción entre un 10 y un 15% azúcares fermentables. Los valores de porcentajes alcohólicos están en dependencia del método empleado y de las condiciones en que se desarrolla esta.

Existen diferentes factores que regulan el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, la presencia de sustancias nutritivas adecuadas en los substratos es una condición previa necesaria que influye sobre su actividad vital. Incluso cuando las sustancias nutritivas son las correctas y los probióticos se encuentran presentes en altas concentraciones, muchos otros factores juegan un papel en el crecimiento de cada microorganismo. Estos factores pueden ser químicos, físicos o biológicos.

1.4 Principios básicos que rigen la destilación

La destilación propiamente dicha, tiene como objetivo el extraer de una mezcla sus componentes más volátiles, dejándolo completamente agotado. En el caso de la destilación alcohólica, el líquido de que se trata es el vino fermentado, del cual se extrae la casi totalidad de alcohol que contiene, justamente con los productos más volátiles y algo de agua, esta mezcla extraída recibe el nombre de flemas, llamándose vinazas a la parte del líquido agotada de alcohol, que posee agua, impurezas de cola y materias sólidas contenidas en el vino.

CAPITULO II.

El presente capítulo reflejan los aportes principales que resultaron del proceso investigativo realizado por el autor, de los materiales y métodos utilizados y los resultados obtenidos, los problemas tecnológicos que afectan las condiciones en la fermentación provocan bajos porcentajes alcohólicos que afectan la eficiencia del proceso y la calidad del producto terminado.

Por esta razón se decidió trabajar en función de hacer un estudio donde se definieran cuales variables tienen un mayor grado de significación tanto para la eficiencia del proceso productivo como para la calidad del producto terminado para una correcta toma de decisiones en función de resolver esta situación.

2.1 Caracterización de la UEB Derivados "Urbano Noris".

La UEB Derivados "Urbano Noris" , se tomó como referencia para la realización de este trabajo, la misma pertenece a la Empresa Azucarera Holguín, y está situada

en el Consejo Sur “Los Pinos” en la calle 8 sur s/n, entre 1ra y 3ra, San Germán, municipio “Urbano Noris”.

Misión: Satisfacer las necesidades cada vez más crecientes de las producciones de derivados (rones, alcoholes) a partir de los subproductos de la caña de azúcar, basadas en la ética, unidad y el patriotismo.

Visión: Elevar la calidad y el servicio al cliente, la competitividad y la alta eficacia, lo que permitirá el posicionamiento entre las principales empresas que caracterizaran la gestión empresarial de la UBE Derivados “Urbano Noris”, para lograr su presencia e inserción en el ámbito nacional e internacional.

Esta destilería cuenta con el siguiente sistema de depósitos y operaciones: un tanque principal para almacenamiento de mieles, dos para operación diaria, cuatro para almacenamiento de alcoholes, y cuatro para operaciones diarias para los diferentes tipos de alcoholes, tres prefermentadores, diez fermentadores, una columna destiladora, una rectificadora, una purificadora, y una columna para procesar aguardiente, existen además tanques para la recuperación de levadura, y una planta recuperadora de CO₂.

Constituyen las producciones principales de la planta, el alcohol etílico rectificado; aguardiente y alcohol etílico fino, utilizados para la producción de rones; alcohol etílico flema destinado a la producción de alcohol para uso doméstico, así como la producción de CO₂, muy cotizado actualmente por sus diversos usos, además se recupera la levadura que no se utilizó en el proceso, constituyendo una fuente de proteína para la alimentación animal.

2.2 Fase de fermentación.

Para facilitar su análisis la fase de fermentación se dividirá en dos etapas: prefermentación y fermentación. En la UEB Derivados “Urbano Noris”, como en la mayoría de las del Grupo *AZCUBA*, se ha hecho una práctica común realizar la siembra directamente en los prefermentadores con levadura panadera, manteniéndose el cultivo de un prefermentador a otro hasta que el mismo pierde vitalidad, entonces se hace necesario realizar una nueva siembra.

2.2.1. Prefermentación.

El objetivo de esta etapa es lograr la propagación y desarrollo de la biomasa necesaria, para garantizar óptimos rendimientos en la etapa de producción de alcohol, propiciando condiciones óptimas al medio de cultivo.

Los prefermentadores son tanques cilíndricos verticales, que tienen una capacidad de 20 000 litros (para el caso de esta planta), poseen conexiones de alimentación de batición, ácido, vapor, descarga del fermento y un difusor de aire.

2.2.1.1. Descripción de las variables a tener en cuenta en la etapa de prefermentación.

- q **Brix de la mezcla alimentada:** Para cargar un prefermentador debe ser respetado el brix prefijado por el laboratorio, debido a las graves consecuencias que puede traer para la levadura el incumplimiento de este parámetro. El brix de la mezcla alimentada al prefermentador debe ser el 70% del brix de la mezcla adicionada en la etapa de fermentación, para garantizar los azúcares necesarios para el desarrollo de la levadura o evitar inadecuados niveles de densidad del medio que dificulten el crecimiento y desarrollo de la levadura.

- q **pH:** Como se ha dicho la levadura es capaz de soportar valores de pH que no son capaces de soportar otros microorganismos, aprovechando esta situación se adiciona ácido sulfúrico en los fermentadores hasta obtener un valor de pH entre 3.8 y 4.2, garantizando así que no se desarrollen otros microorganismo que compitan con la levadura por los azúcares. La determinación del pH la realiza el laboratorio cada dos horas, comenzando cuando se termina de llenar el fermentador.

- q **Concentración de nutrientes:** La levadura necesita de determinados nutrientes para su metabolismo, los fundamentales lo constituyen el fósforo, el nitrógeno y el potasio. Si los nutrientes deficitarios no son correctamente suministrados, la levadura no crecerá y la fermentación será mucho más lenta, y bajo estas condiciones el contenido máximo de alcohol no podrá ser alcanzado.

- q **Temperatura:** Como se conoce, en esta etapa, el valor de la temperatura es un parámetro de gran interés. No debe elevarse tanto que afecte el desarrollo del microorganismo, ni bajar al extremo que se produzca un estado de latencia en la célula. Murtagh aconseja mantenerla en 28⁰ C, esto resulta difícil si no se cuenta con un sistema de enfriamiento, peor aún en nuestro clima, por lo que se recomienda la instalación de un medio que no permita la elevación de la temperatura.

- q **Flujo de aire:** Insuflando la cantidad suficiente de oxígeno necesaria durante todo el proceso, se facilita la degradación total de la hexosa a CO₂ y H₂O y se propicia una gran multiplicación de la célula de levadura. No aportando aire, la degradación es sólo parcial, y se forma alcohol. El oxígeno es requerido por la célula para la síntesis de esterol y ácidos grasos insaturados que son fundamentales para la conservación de su integridad. En una destilería, se

gobierna el proceso de modo que a voluntad es posible aumentar la reproducción de la levadura.

2.2.2 Fermentación.

La fermentación es el proceso mediante el cual en ausencia de oxígeno los azúcares son transformados en etanol y CO₂. Su objetivo fundamental es el agotamiento total de los azúcares y como consecuencia lograr la mayor producción de alcohol posible.

Los fermentadores son tanques cilíndricos verticales, con una capacidad de 150 000 litros (en el caso de la UEB Derivados "Urbano Noris") con conexiones de agua caliente, vapor, alimentación del fermento y descarga del vino fermentado.

Para garantizar una buena calidad del alcohol es conveniente mantener un estricto control sobre un grupo de variables en la etapa de fermentación, que son decisivas en la obtención de productos que perjudican la calidad del producto.

2.2.2.1 Descripción de las variables a tener en cuenta en la etapa de fermentación.

q **Brix de corrida de la batición:** Como se ha planteado anteriormente es de suma importancia que la levadura, durante el proceso de fermentación tenga garantizado el brix establecido, de acuerdo a los azúcares fermentables que presenta la miel y a los requerimientos nutricionales del microorganismo, de forma tal que se mantenga durante el llenado del fermentador una cantidad de azúcares fermentables entre 120 -150 gramos por litros de batición cruda. Altos brix provocan fermentaciones incompletas, ciclos de fermentación más largos, entre

otros problemas, en caso inverso se tiene un acortamiento indeseable en el ciclo de fermentación y la levadura puede morir por falta de azúcares. De su mantenimiento en los valores prefijados depende en gran medida el porcentaje alcohólico que logra la fermentación y la eficiencia del proceso para consumir al máximo los azúcares disponibles.

- q **Brix del medio en fermentación:** El valor de esta variable es medido por el laboratorio cada dos horas. Se considera que finalizó la fermentación y el vino está listo para destilar, cuando esta variable repite su valor en dos ocasiones consecutivas, el brix representa la cantidad de sólidos disueltos que quedan en la solución en cada momento, dentro de ellos están los azúcares que no han fermentado. Cuando, al final del proceso, el valor del brix es mayor que el esperado, (aproximadamente de 5 a 7), se dice que no se ha logrado una fermentación completa.
- q **Temperatura:** En la fermentación se produce gran desprendimiento de calor, que es necesario controlar pues la levadura soporta temperaturas hasta aproximadamente 36⁰ C, en la planta analizada los valores de temperatura tienden a elevarse porque no existe sistema de enfriamiento, esto puede traer problemas en la cantidad de levadura recuperada, y en el contenido de congéneres del vino fermentado, perjudicial para la calidad del alcohol, especialmente el utilizado en la producción alcohólicas de calidad. .
- q **Reductores Residuales:** Se denominan así los que estando presentes en la fermentación no se utilizaron en la misma. Tienen una importancia vital ya que de su concentración es posible deducir la cantidad de azúcares que han intervenido realmente en el proceso de fermentación y los que no se han utilizado, están formado por los in fermentables y otros azúcares fermentables que no fueron aprovechados en el proceso de fermentación. Valores fuera de parámetros indican que la fermentación se ha realizado con baja eficiencia. Los reductores

residuales se determinan en el laboratorio mediante un análisis químico, luego de terminada la fermentación.

- q **Ciclo de fermentación:** Los ciclos también constituyen una medida de cómo ha sido el trabajo del fermentador, tanto los ciclos muy largos como los muy cortos denuncian la existencia de problemas. Un ciclo largo puede ser causado por: elevada concentración de azúcares, bajos conteos celulares, contaminaciones bacterianas, y altas temperaturas. Un ciclo corto puede ser por baja concentración de azúcares o altos conteos celulares. Este valor se determina por la diferencia entre la hora de llenado del fermentador y la hora en que se declara que terminó la fermentación (corbato muerto) de acuerdo a las anotaciones realizada en la hoja de laboratorio.

- q **Porcentaje Alcohólico:** Nos da la cantidad de alcohol producido en la fermentación y depende en gran medida de una correcta disciplina tecnológica que garantice el mantenimiento de las variables de que intervienen en la etapa de fermentación, en los valores establecidos, nos sirve para el cálculo de la eficiencia en fermentación y destilación de la planta. Esta variable se obtiene por análisis de laboratorio, al finalizar la fermentación.

2.3 Destilación.

La destilación tiene por objeto separar de un líquido sus componentes más volátiles dejándolo completamente agotado, mediante un conjunto de etapas de vaporizaciones y condensaciones sucesivas.

2.3.1 Proceso de destilación en la UEB Derivados "Urbano Noris".

En esta planta el método de destilación utilizado es el de destilación continua donde son separados, seleccionados y concentrados los productos alcohólicos

procedentes del proceso de fermentación mediante el proceso de vaporización y condensación, se cuenta con una columna destiladora, columna rectificadora, columna purificadora y columna para depurar aguardiente. (Anexo 1)

Al culminar el proceso de fermentación el líquido fermentado es previamente calentado (hasta 65-70°C) en un intercambiador o condensador primario, de aquí pasa al tanque de flash donde se rompe la espuma, se separa una parte de los alcoholes de cabeza y controla la entrada de batición a la columna (34- 40 m³/h en dependencia del grado alcohólico), esta alimentación se realiza por el plato número 22 de la columna.

En la columna destiladora el calentamiento se realiza mediante vapor directo, la presión de entrada de vapor es de 0.35kgf/cm² (5 lbf/in²).

En la columna destiladora el vino fermentado es agotado completamente extrayéndose todo el alcohol que este contenía, proporcionando un producto de composición compleja que contiene de 40-70 % de alcohol en volumen y cantidades importantes de aldehídos, ácidos, ésteres, alcoholes superiores y agua.

Los vapores alcohólicos que salen de la columna destiladora pasan a la rectificadora, la cual se alimenta por la parte inferior, que son los que aseguran el calentamiento de esta, la misma está regulada para que en los últimos platos pueda extraérsele alcohol de 93 a 95 °GL. De la columna rectificadora salen los vapores de variadas composiciones que garantizan el calentamiento del vino fermentado que se alimenta a la columna destiladora, luego pasan a dos condensadores, del primero de ellos se obtiene el reflujo unido por el condensado del calentavinos, estos dos condensados están compuestos en su mayor cantidad por alcohol etílico, el que regresa a la columna rectificadora para garantizar el enriquecimiento del grado del alcohol que se desea, del segundo condensador salen condensados constituidos en su mayoría por alcoholes o impurezas de cabeza (ésteres y aldehídos), los que son almacenados con el alcohol etílico desnaturalizado para su uso doméstico.

Además de estas extracciones, se extrae alcohol amílico en los platos del 1 al 12. La cantidad de alcohol que se puede lograr está en dependencia del grado alcohólico de la batición, en la destilería de la UEB Derivados "Urbano Noris" se obtienen de 2500-2700 l/h.

2.3.2 Estudio de la columna destiladora, distribución de los platos. Elementos interiores.

La columna destiladora es una torre de forma cilíndrica que permite establecer a contracorriente los flujos de los fluidos líquido y vapor, posee una altura de 13.5 m, y un diámetro de 1.98 m, consta de un envolvente de acero inoxidable, se encuentra dividido en segmentos (rolos), soportado dentro del envolvente van montados 22 platos perforados, con una separación de 51cm para evitar las salpicaduras por efecto de la ebullición y el ascenso de los vapores, cada plato posee 1816 agujeros con un diámetro de 12.5 mm, dispuestos triangularmente. A uno de los lados de cada plato se encuentran 3 tubos que son de retorno o bajada que van a comunicar los platos entre sí, estos bajantes con forma circular van a permitir el ascenso del líquido de un plato al inmediato inferior, posibilitando a la vez una retención transitoria del líquido en cada plato, los platos tienen los bajantes en su extremo superior a ras con el plato donde toman el líquido y el extremo opuesto ligeramente separados del plato inmediato inferior donde descarga.

De esta forma se va llenando el área de evaporación de los platos donde el vapor que va subiendo va haciéndose cada vez más rico hasta alcanzar de 40 a 70 % alcohólico mientras que la batición va empobreciendo hasta llegar a la paila completamente agotada saliendo por la tubería del mosto.

En la paila (parte inferior de la columna destiladora) se aplica vapor mediante un tubo de extremo abierto, también posee un tubo para el desalojo de mosto, el cual tiene un dispositivo para mantener un nivel constante de líquido en la paila.

La columna cuenta con dos condensadores uno primario donde se realiza una condensación parcial que retorna a los platos superiores de la columna y uno secundario donde se hace la condensación final.

2.3.3 Variables a tener en cuenta en la etapa de destilación

- q **Alimentación de batición a la columna destiladora:** Cuando la concentración de alcohol en batición es baja es necesario alimentar mayor cantidad de vino fermentado a la columna destiladora, de forma tal que se mantengan los parámetros de operación. Una excesiva alimentación puede provocar pérdidas en mostos (alcohol que no se recuperó), anegamiento de la columna (la altura del líquido en el plato alcanza la parte inferior del plato superior), caída brusca de la presión en el sistema, etc.

- q **Presión de vapor en la paila de las columnas destiladora y rectificadora:** Una adecuada presión es imprescindible para mantener de forma estable el equilibrio líquido-vapor y por tanto la energía necesaria para que ocurra la separación. Las perturbaciones por variaciones bruscas de este parámetro pueden provocar inundación, goteo y en general pérdidas de alcohol en el sistema.

- q **Grado alcohólico del producto:** Su valor está en función del tipo de alcohol que se desea producir. La temperatura a lo largo del sistema es función de la concentración alcohólica. Para lograr una calidad determinada, se fija en la columna un perfil de temperaturas estables, de acuerdo a las características del equipo de destilación y el grado alcohólico del producto deseado. Esto se logra

midiendo la temperatura en un plato intermedio de la columna (plato de control) y actuando sobre el flujo de extracción de alcohol.

- q **Temperatura del plato de control:** Mediante la determinación de la temperatura en el plato seleccionado se puede definir el perfil de concentración alcohólica a lo largo de la columna, con esto se logra mantener las concentraciones de alcohol en los diferentes niveles de la columna destiladora (alcoholizada adecuadamente), garantizándose además la ubicación estable de las impurezas en el sistema para facilitar su extracción, fundamentalmente, los alcoholes superiores. Cuando se elevan las temperaturas en la columna por encima de los valores establecidos ellas se desplazan a zonas superiores y son extraídos con el alcohol afectando su calidad; esta situación es un síntoma de bajas concentraciones de alcohol en el sistema.

- q **Temperatura de vapores alcohólicos a la salida del condensador principal:** Es la que gobierna la cantidad de alcoholes de cabeza que se va extraer, acción que se realiza aumentando o disminuyendo la entrada de agua al condensador principal, cuestión sumamente determinante pues nos define tipos y cantidad de impurezas de cabeza extraídas del sistema.

2.4 Parámetros a determinar para el control de la calidad del alcohol

Todos los tipos de alcoholes tienen parámetros generales para determinar la calidad de los mismos, existiendo para cada uno de ellos magnitudes en que se evalúan los mismos, establecidos según la *NC 792:2010 Alcohol etílico— Requisitos*. Para el alcohol etílico rectificado establece características propias. (Anexo 2)

- q **Grado alcohólico:** Es el primer parámetro a tener en cuenta a la hora de analizar si se cumple con las normas para su aceptación o rechazo.
- q **Tiempo de permanganato:** Indica la cantidad de impurezas presentes en alcohol en función de los ésteres, aldehídos, alcoholes superiores y otras impurezas indeseables en el alcohol, principalmente para producir ron.
- q **Alcoholes superiores:** Alcoholes principalmente amílicos, isoamílicos, butílicos, isopropílicos que propician un desagradable sabor al alcohol y en proporciones grandes son tóxicos al organismo. Su formación es mayor cuando termina el proceso de fermentación. Son extraídos del sistema estableciendo y manteniendo un perfil adecuado de concentración de alcohol en toda la columna.
- q **Acidez:** En altas concentraciones afecta la calidad del alcohol. Se extrae del proceso como impureza de cola.
- q **Aldehídos:** Se forman por la deshidrogenación del alcohol, provocan un olor desagradable al alcohol, poseen un bajo punto de ebullición, por lo que son extraídos como impurezas de cabeza.
- q **Esteres:** Combinación de un alcohol y un ácido, en proporciones adecuadas son favorables. Su punto de ebullición es bajo. Se extrae como impurezas de cola.

Todas estas determinaciones las obtiene el laboratorio mediante análisis químico.

En las condiciones actuales se presentan desviaciones en los valores de estos parámetros que afectan la calidad del producto terminado, atribuibles generalmente a la inestabilidad operacional. Es imprescindible, para resolver esta situación, un control estricto de la operación de forma que queden fijadas: la concentración alcohólica en la columna para lograr la ubicación estable de las impurezas.

2.5 Determinación de las variables que mayor grado de significación obtuvieron en el análisis.

Con el objetivo de determinar las variables que más incidencia tienen en los resultados de eficiencia del proceso productivo y en la calidad del alcohol étílico rectificado de esta destilería se construyeron Gráficos de Tarjado que reflejan el número de veces que las variables utilizadas se encontraban fuera de los valores normados, durante 14 semanas, analizándose los 7 días de cada semana, por lo que el tamaño de la muestra seleccionada fue de 98 días. Se consideraron como variables más significativas aquellas que presentaron problemas con una frecuencia mayor que 15 en el período analizado.

Etapa de fermentación.

Tabla No.1 Gráfico de tarjado para etapa de fermentación.

VARIABLES	F R E C U E N C I A / SEMANA														Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Calidad en la miel final	VII	II	III	I	II	II	IV	III	I	III	III	IV	III	VI	42
Altas temperaturas en fermentadores	II	II	III	I	IV	IV	IV	III	I	II	V	III	VI	II	40
Bajo conteo celular en prefermentador	II	I	II	I	II	--	I	II	I	I	III	--	I	II	19
Alta a	I	II	I	II	I	I	--	II	I	II	II	I	I	II	19
Ciclos cortos en fermentación	I	II	I	---	II	II	I	II	I	II	I	---	I	II	18

Similar procedimiento se utilizó para investigar el proceso de destilación. Para esto se estudió el comportamiento de las variables que actúan de forma más significativa en este proceso.

Etapas de destilación.

Tabla No. 2 Gráfico de tarjado para etapa de destilación.

VARIABLES	F R E C U E N C I A / SEMANA														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
Grado alcohólico inadecuado															19
Impurezas en el alcohol.															18
Inadecuada alimentación a la columna destiladora			--			--				--		--			10
Inadecuada temperatura del plato de control							IV								24
Inadecuada presión en la paila de destiladora		--		--								--			13

En la Tabla No. 1 se observa que los problemas que ocurrieron con mayor frecuencia en el área de fermentación fueron: mala calidad de la miel, y las altas temperaturas en los fermentadores.

En la Tabla No.2 se observa que la mayoría de los parámetros han estado afectados un número grande de veces, pero las más significativas por la cantidad de veces que se presentaron, fue la inadecuada temperatura del plato de control.

Para corroborar estos resultados se muestran en los Anexos del 3 al 8, estos gráficos reflejan el comportamiento en el sistema, de aquellas variables que más han incidido negativamente en el proceso, como es el caso de la calidad de la miel (sólidos aereométricos disueltos y azúcares fermentables) y la temperatura en la etapa de fermentación, así como la temperatura del plato de control en la de destilación.

2.6 Procesamiento estadístico de los resultados

Los resultados de las variables elegidas como de mayor significación en la calidad del alcohol y en la eficiencia del sistema, fueron procesados mediante el programa de Microsoft Excel, con el fin de facilitar el análisis del comportamiento de estas variables en el proceso.

2.6.1 Análisis de la variable más significativa. Miel Final.

Por ser la calidad de la miel, la variable que mayor significación tuvo, se centrará la atención en el estudio de la misma, siendo los azúcares fermentables el parámetro que define su calidad, además de los sólidos aereométricos disueltos, también conocidos como grado Brix.

Tabla No. 3 Características generales de las mieles cubanas

CONSTITUYENTE	PROMEDIO (%)
Agua	15.96
Azúcares fermentables	55.00
Azúcares infermentables	4.01
Cenizas	9.57
Sustancias gomosas y coloides	8.06
Cloruros	1.25
Otros no azúcares, sustancias nitrogenadas, ácidos libres y combinados, ácidos no nitrogenados, ácido aconítico y otros	5.68
Nitrógeno total	0.506
Nitrógeno asimilable	0.201
P ₂ O ₅ total	0.123
P ₂ O ₅ asimilable	0.079

La miel es la materia prima fundamental en el proceso de producción de alcohol, constituye alrededor del 60 - 80% de los costos total de esta producción. Es un líquido de alta densidad y viscosidad. Ellas como se muestra refleja en la Tabla No. 3 presentan concentraciones de azúcares, aminoácidos, minerales y probióticos. Siendo los componentes principales: agua, el azúcar (sacarosa, glucosa y fructosa) y no azúcares orgánicos e inorgánicos (compuestos nitrogenados, ácidos, aminoácidos, albúminas, vitaminas, ceras, esteroides, sales minerales o cenizas, etc.) Los compuestos azucarados están formados por la sacarosa o azúcar común y los azúcares reductores libres (glucosa y fructosa), estos son compuestos fermentables. La suma de todos estos azúcares constituye los "azúcares reductores totales" cifra básica para juzgar los valores de las mieles en la producción de alcohol y levadura. Dentro de estos compuestos, están los azúcares infermentables que son aquellos que permanecen inalterables después de fermentada la miel en el laboratorio. Las

mieles cubanas contienen normalmente entre 48 y 62 % de azúcares totales siendo los valores más frecuentes entre 55 y 58. (6)

Los compuestos no azúcares: Normalmente se llaman cenizas. Los más importantes son los que contienen nitrógeno, fósforo y potasio que se encuentran entre los nutrientes básicos de las levaduras. Por los perjuicios que causan son de interés los compuestos de calcio y silicio por ser los causantes principales de las incrustaciones en las columnas destiladoras) según ellos el contenido de cenizas fluctúa habitualmente entre 6 – 12 %. (6)

Además se conocen cerca de cuarenta compuestos resultantes de la acción fermentativa de las levaduras.

La composición de las mieles varía en la constitución del jugo de donde provienen por la influencia de factores agrícolas e industriales tales como: la variedad de la caña, la madurez, condiciones de cultivo, tipos de suelos, fertilizantes utilizados, corte y mecanización.

Durante el proceso de fabricación de azúcar ocurren cambios en su composición por la acción de la cal y otros álcalis calientes sobre los azúcares reductores, esta es la principal causa de los nuevos compuestos.

La complicada composición de las mieles obliga a hacer su estudio en forma sistemática. Ellas no constituyen un líquido homogéneo o una solución verdadera de azúcar.

Para que un producto sea fermentable tiene que producir sustancias oxidables y reducibles y este requisito lo cumplen muy bien los azúcares contenidos en estas mieles.

Las mieles son sometidas a un grupo de procesos encargado de convertirlas en un substrato o medio adecuado para el proceso fermentativo de las destilerías, este proceso comprende:

1. Dilución de la miel hasta obtener una adecuada concentración de azúcares.

2. Incorporación de nutrientes portadores de nitrógeno y fósforo.
3. Adición de ácido sulfúrico para obtener el pH o grado de acidez adecuado para la etapa del proceso que se trate.

Esta materia prima es objeto de una serie de determinaciones analíticas por parte del laboratorio, que indican como ha de efectuarse la mezcla, o sea cual será su brix en dependencia de los azúcares fermentables que poseé la misma, así como otros indicadores que permiten inferir como puede comportarse la fermentación en dependencia de las características de la materia prima.

La dilución de la miel se lleva a cabo en un equipo llamado disolutor, que consiste en dos tubos concéntricos, donde la miel y el agua entran por puntos opuestos y dada la disposición interior se ven obligados a recorrerla en toda su longitud mezclándose íntimamente turbulencia, de esta manera la miel y el agua salen en forma de una mezcla homogénea

A pesar de su sencillez, el disolutor es uno de los equipos más importante en la destilería. La razón es simple y fundamental, en él comienza a prepararse la materia prima y de la calidad de esta preparación, depende muy sustancialmente el buen resultado del proceso industrial.

2.6.2 Parámetros de calidad que se determinan a la miel.

- q **Sólidos aerométricos disueltos (Brix):** Contenido de sólidos solubles presentes en una solución azucarada.
- q **Azúcares reductores totales:** Sustancias que contiene la miel, capaces de reducir el cobre.
- q **Azúcares fermentables:** Azúcares que realmente fermentan durante el proceso de fermentación del vino. Se obtienen de la diferencia de los reductores totales y los infermentables.

- q **Azúcares infermentables:** Azúcares que no fermentan bajo condiciones normales de la fermentación.
- o **pH:** Contenido de iones hidrógenos presentes en una solución.

Las mieles que se utilizan provienen de diferentes centrales por tanto no siempre tienen las mismas características, depende de la eficiencia con que trabaja el central, definiendo tanto la calidad del alcohol, como la eficiencia del proceso productivo.

Al analizar los resultados del proceso se evidenció, que siempre que se trabajaba con miel de mala calidad los resultados son negativos. En el caso de la calidad de la miel, como se muestra en las Tablas No. 4 y 5, cuando las mieles son de mala calidad es evidente un menor contenido de azúcares fermentables y un menor contenido de sólidos aereométricos disueltos (Brix), aspectos fundamentales para lograr una mejor eficiencia en fermentación.

Tabla No. 4

MIELES DE ÓPTIMA CALIDAD			
Muestras	Indicadores		
	Sólidos aereométricos disueltos (°Brix)	Azúcares reductores totales (%)	Azúcares fermentables (%)
1	90.86	55.85	52.80
2	89.36	54.27	53.40
3	88.08	56.87	53.80
4	90.24	57.34	55.14
5	86.08	57.00	52.80
6	86.28	54.27	52.90
7	85.36	57.00	54.80
8	88.22	53.27	51.40
9	88.02	55.22	52.80
10	88.24	54.65	53.40

-----Autor: José Elider Garnica Guerra -----

11	88.04	54.06	52.80
12	88.62	54.66	52.80
13	88.82	55.22	52.80
14	90.40	56.43	55.40
15	89.36	55.27	53.80
16	88.08	56.43	53.80
17	88.62	54.27	53.40
18	88.82	54.27	53.70
19	88.24	54.87	52.80
20	88.04	53.65	52.40
Promedio			53.35

Tabla No. 5

MIELES DE BAJA CALIDAD			
Muestras	Indicadores		
	Sólidos aereométricos disueltos (°Brix)	Azúcares reductores totales (%)	Azúcares fermentables (%)
1	83.00	50.00	44.70
2	82.00	48.54	43.43
3	84.00	51.10	45.52
4	81.00	48.05	43.07
5	82.00	48.26	43.43
6	84.00	50.00	45.49
7	83.00	50.00	45.07
8	81.00	49.95	43.70
9	83.00	49.26	44.49
10	82.00	50.00	45.07
11	81.00	48.26	43.43
12	83.00	49.26	44.49
13	80.00	48.54	43.70
14	82.00	51.10	45.70
15	82.00	50.00	45.07
16	82.00	48.26	42.07

17	83.00	48.26	43.43
18	82.00	49.26	44.49
19	82.00	50.00	45.07
20	81.00	49.95	43.70
Promedio			44.26

Se realizó un análisis similar para determinar la influencia de la temperatura de la batición en fermentadores con respecto a la eficiencia en fermentación, observándose, tal como se muestra en la Tablas No. 6 y 7, que sin importar la calidad de las mieles, las altas temperaturas disminuyen la eficiencia en fermentación y por tanto se originan pérdidas en la obtención de alcohol etílico rectificado.

Tabla No. 6

MIELES DE ÓPTIMA CALIDAD			
Temperaturas aceptables	Eficiencia fermentación	Temperaturas anormales	Eficiencia fermentación
35.70	82.50	37	79.23
35.60	83.00	37	79.10
36.90	83.13	37	79.10
36.90	82.60	38	78.30
36.96	82.50	38	78.90
34.20	82.79	38	78.95
36.00	83.00	38	78.20
36.10	82.59	38	78.10
35.30	82.90	38	78.30
36.50	83.00	38	78.20
34.10	82.58	39	78.10
36.30	82.90	39	79.10
36.80	82.90	39	77.36
36.96	83.00	40	79.20
35.00	83.20	40	77.20
34.90	83.00	40	79.10
36.95	83.10	40	78.95

36.70	83.13	41	78.30
34.60	83.10	41	78.00
36.90	83.20	42	77.20

Tabla No. 7

MIELES DE BAJA CALIDAD			
Temperaturas aceptables	Eficiencia fermentación	Temperaturas anormales	Eficiencia fermentación
34.00	79.33	37.00	78.20
34.00	82.40	37.00	78.10
34.00	80.25	37.00	77.20
34.00	80.00	38.00	77.20
34.00	79.13	38.00	77.90
34.00	80.13	38.00	78.95
35.00	79.90	38.00	77.60
35.00	79.90	38.00	77.40
35.00	80.00	38.00	77.10
36.00	80.12	38.00	78.50
36.00	79.13	39.00	77.10
36.00	80.13	39.00	77.80
36.00	79.20	39.00	76.30
36.00	78.20	39.00	77.20
36.00	78.90	39.00	77.50
36.00	79.50	40.00	76.00
36.00	79.50	40.00	77.50
36.00	79.00	41.00	77.20
36.00	79.90	41.00	77.10
36.00	79.20	42.00	78.50

En la etapa de destilación se realizó un muestreo de la calidad del alcohol al final del proceso, teniendo en cuenta la temperatura fijada para el plato de control (85 °C), demostrándose, como se observa en la Tabla No. 8, que cuando no se cumple este parámetro, se altera la calidad del alcohol por la presencia de impurezas de cola o de cabeza según sea el caso.

Tabla No. 8

Temperatura	Concentración de:		T. Permanganato	G. Alcohólico
	Alc. Superiores	Aldehídos		
83	160	36	4	93.50
83	153	35	4	93.00
84	160	33	6	94.30
84	165	33	3	94.80
85	150	30	5	95.00
85	149	34	6	95.10
85	133	28	7	95.20
85	145	27	7	95.00
85	144	27	6	95.10
85	130	25	8	95.00
85	145	30	7	95.60
85	150	31	7	95.70
87	155	35	3	94.30
87	160	33	3	93.20
87	165	41	2	92.30
87	153	35	3	92.10
88	160	31	2	92.00
88	165	34	1	91.90
88	155	41	2	92.10
89	155	40	3	91.30

2.7 Análisis Económico

Para una producción diaria estimada de 500 HI/día de alcohol a 100° GL, se calcula un sobreconsumo de miel por concepto de bajo por ciento de azúcares fermentables de 35,113 t y 102, 88 HI de alcohol a 100° GL dejados de producir por el mismo concepto.

Los anteriores resultados se obtienen a partir de la siguiente Tabla:

Tabla No. 9

	Mieles de baja calidad	Mieles de óptima calidad
Promedios de eficiencia en fermentación (%)	44.26	53.35
Alcohol producido por tonelada de miel (HI)	2.43	2.93
Miel necesaria para producir 500 HI de alcohol (t)	205.76	170.65

Por tanto teniendo en cuenta que en el mercado nacional el valor de un hectolitro de alcohol etílico rectificado es de \$ 59.05, se calcula que la Unidad Empresarial de Base (UEB) Derivados "Urbano Noris" deja de ingresar \$ 6075.06 por cada 500 HI que produce con mieles de baja calidad.

Además observando que a precios internacionales el hectolitro de alcohol etílico rectificado se cotiza a 75.00 USD, se calcula que la economía deja de ingresar por concepto de venta a mercados externos 7716.00 USD por cada 500 HI de alcohol etílico rectificado producido con mieles de baja calidad.

Conclusiones.

1. Las etapas decisivas en la producción de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris" son las de fermentación y de destilación.
2. Las variables que inciden con mayor fuerza sobre la calidad y los niveles de producción del alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris" son la calidad de la miel para obtener una adecuada concentración en la batición y la temperatura en fermentación y destilación.

Recomendaciones.

1. Realizar un estudio de las características de las mieles que provienen de diferentes centrales azucareros y priorizar la adquisición de aquellas que mejores parámetros de calidad presenten para la fermentación en destilerías.
2. Mantener en los fermentadores un rango de temperatura de 33^o a 36 ° C.
3. Mantener en la columna rectificadora la temperatura del plato de control. (85^o C).

Bibliografía.

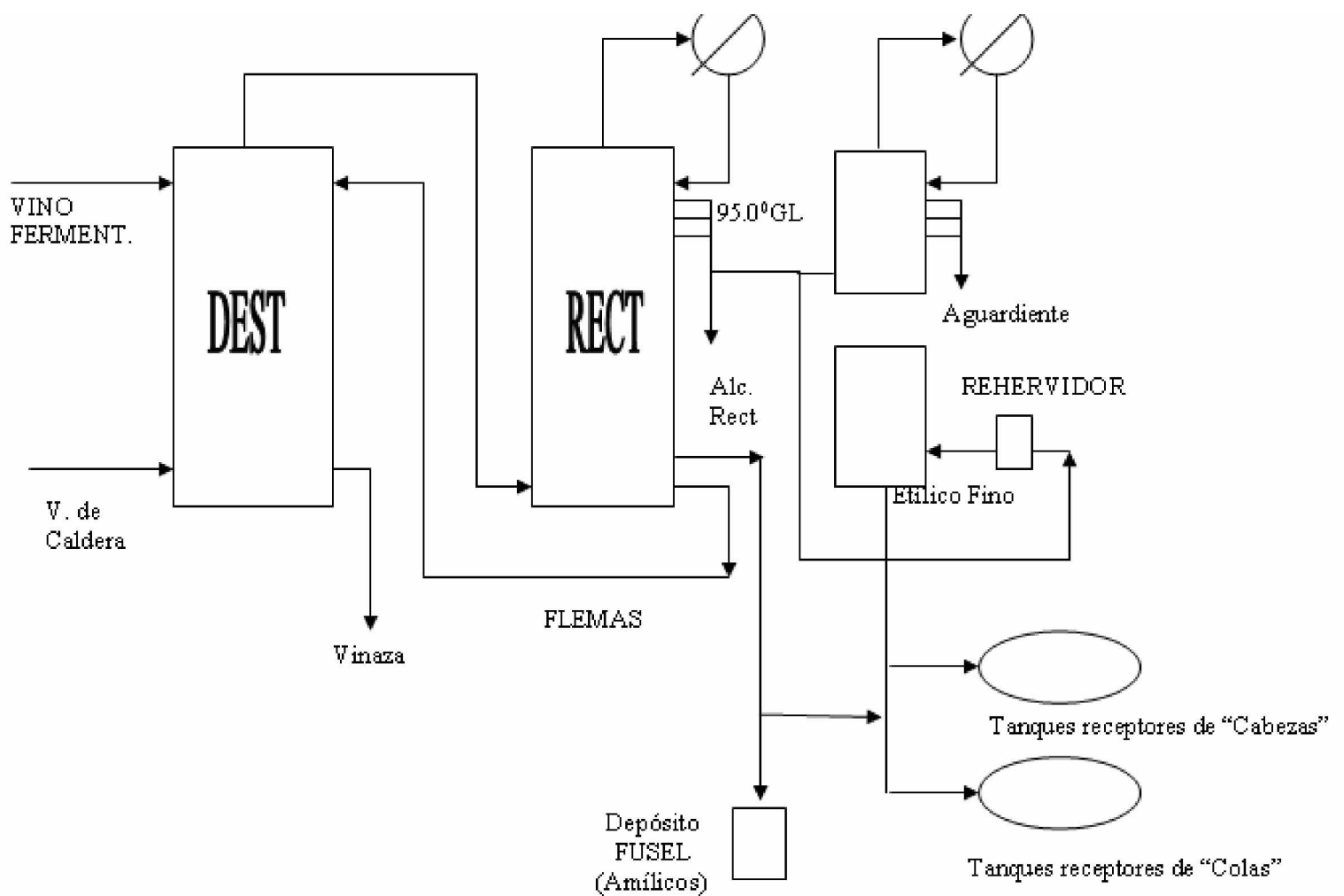
- 1- **Aguilera, F. y Benítez, T.** *Ethanol y sensitive mutants of Saccharomyces cerevisiae.* Arch Microbiol. 142: 337 – 344.1986.
- 2- **Albers, E. Larosson, C.; Lindén, G.; Niklasson, C.; Gustafsson, L.** *Influence of the nitrogen source on Saccharomyces cerevisiae anaerobic growth and product formation.* Appl. Environm. Microbiol. 62 (9): 3187-3195. 1986.
- 3- **Álvarez, L. M.** *Conferencias del postgrado de microbiología, en el marco de la especialidad en producción de alcohol,* CUJAE. Departamento de Bioingeniería, ICIDCA. 1999.
- 4- **Beuchat, L. R.** *Influence the water activity on growth, metabolic activities and sevival of of yeast and molds* J. Food Protect. 46:135. 1983.
- 5- **Brown, S. W. Oliver, S. G.; Harrison, D. E. F. y Riguhelato, R. C.** *Ethanol inhibition of yeast growt and fermentation; differences in the magnitude and comprexity of the effect.* European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 151: 155. 1981.
- 6- **Casey, G. P. Manims, C. A. E Ingledew, W. M.** *Hight brewing: Effects of nutrition on yeast composition, fermentative ability and alcohol production.* Embrión microbiol. 48:469. 1983.
- 7- **Colectivo de autores, MINAZ.** *Manual de operaciones para la producción de alcohol y levadura Saccharomyces.* 1983.
- 8- **Cooper, T. G.** *Nitrogen metabolism in Saccharimyces Cerrevisiae. En The molecular biology of the yeast Saccharomyces. Metabolism and expression.* Ed. Por: Strathern, J. N.; Jones, E. W. y Boarch, J. R. Cold Spring Harbor Laboratory. Cold Spring Harbor New York. 1982.
- 9- **D' Amore, T. Panchal, CH. J.; Russel, I. And Stewart.** *A study of ethanol tolerance in yeast.* Critical reviews in biotechnology. Vol. 9, Issue 4.
- 10- **David, Eduardo. 1987.** *Producción de alcohol y levadura de destilerías.* Centro Nacional de Capacitación azucarera (CNCA). Ciudad de la Habana. 1990.

- 11- **David, E. y Maribona, J. L.** *Cómo ahorrar miel en la destilería. Dirección de producción y entrega. MINAZ.* 1987.
- 12- **Díaz Piñón, Idelfonso.** *Aspectos fundamentales que afectan la eficiencia en destilerías.* Destilería "Antonio Guiteras". Las Tunas. 2010.
- 13- **Dombek, K. M. and Ingram, L. O.** *Magnesium limitation and its role in apparent toxicity of ethanol during yeast fermentation.* Departamento of Microbiology and cell science. University of Florida. 1986.
- 14- **Estévez Báez, Roberto.** *Conferencia sobre influencia de las variables de los procesos de Fermentación y Destilación.* 2010.
- 15- **Estévez Báez, Roberto.** *Posgrado sobre Calidad en proceso de Fermentación y Destilación.* MINAZ. 2012.
- 16- **Flect,G. H. Heard,G. M. and Gao,C.** *The efect on temperature on the growth and ethanol tolerance of yeast during vive fermentation.* Departament of Food Science and Technology, The University of New South Wales, Kensington, Australia. Seventh International Symposium of yeast. 1989.
- 17- **García, G. R.** *Alternativa para la selección de cepas y fuentes nitrogenadas en la búsqueda de una producción eficiente de alcohol.* Facultad de Biología, Universidad de La Habana. ICIDCA. 1999.
- 18- **Grupo de supervisión. MINAZ.** *Normas y Manuales ara la operación de destilerías, fermentación y recuperación de levadura.* 2011.
- 19- **Hohmam, S.** *Shaping up: the response of yeast to osmotic stress.* En: *Yeast stress responses.* Ed. Por Hohmam, S. Y Mager, W. H. Springer Verlag, Heidelberg: 101-145. 1997.
- 20- **Ingledeew, W. M.** *Yeast for production of fuel ethanol.* En: *The yeast,* segunda edición, Vol. 5. *Yeast thechnology.* Edit. Rose A. H. Y Harrison J. S., Academic Press, New York. Pp. 245-291. 1993.
- 21- **Ingledeew, W. M.** *The biochemestry of alcohol production.* Cap. 7. En: *The alcohol Tex Book.* Ethanol production by fermentation and destilation. Nottingham University. Press, Nottingam,pp. 55-79. 1995.

- 22- **Jiménez, O.** *Conferencias en el marco del postgrado de tecnología de producción de alcohol.* CUJAE. La Habana. Cuba. 1999.
- 23- **Jorgensen Hansen.** "Microbiología de las Fermentaciones Industriales" Séptima Edición. Editorial Acribia. Zaragoza. 1997.
- 24- **Johannes, H. de Winde; Johan, M. Thevelein; Joris Winderickx.** *Yeast stress responses.* Austin, TX USA. 1997.
- 25- **Juran, J. M. y Gryna, Frank:** *Manual de control de la calidad,* Vol.1, 4ta. Ed., Ed. Félix Varela. La Habana. 2007
- 26- **Laluce, C.; Palmieri, M. C. y López da Cruz, R. C.** *Growth and fermentation characteristics of new selected strains of Saccharomyces at high temperatures and high cell densities.* Biotechnol. Bioeng. 37: 528-536. 1991.
- 27- **Liberman, B.** *The use of selected yeast strains for ethanol production.* Libro resumen. Segundo taller internacional de producción de alcohol (TIPAL '99). Matanzas, Cuba. 29 de marzo-2 de abril: 3. 1999.
- 28- Lineamientos económicos, políticos y sociales. Partido Comunista de Cuba. Ed. Política. La Habana. 2010.
- 29- **Mizoguchi, H. y Hara, S.. 1998.** Permeability barrier of the yeast plasma membrane induced by ethanol. J. Ferm Bioeng. 85 (1): 25 - 29.
- 30- **Murtagh, J. E.** *The Alcohol Text Book. Ethanol production by fermentation and distillation.* Ed. Popr: Lyons, T. P.; Kellsall, D. R. Y Murtagh, J. E. Nottingham University Press, Nottingham. Pp. 213-225. 1995.
- 31- **NC 792:2010 Alcohol etílico— Requisitos.** Oficina Nacional de Normalización. 1ra edición. Septiembre 2010.
- 32- **NC 715:2010 Miel Final— Especificaciones.** Oficina Nacional de Normalización. 1ra edición. Septiembre 2010.
- 33- **O' Connor - Cox, E. S. C. e Ingledew, W. M.** *Wort nitrogenous sources - their use by brewing yeast,* J. Am. Soc. Brew. Chem. 86: 207. 1989.
- 34- **Oquendo Gómez, Marjoides.** *Fermentación y Destilación. Tesis en Opción al título de Master en Producción de Alcohol.* 2000.

- 35- Oquendo Gómez, M.** *Conferencia de Capacitación y Adiestramiento para operadores de Destilerías.* 2012.
- 36- Pérez García, V.** *Programa del postgrado sobre producción de alcohol.* Escuela de Ingeniería de la Universidad de Camaguey. 2005.
- 37- Richter, K.** A reduced specific ethanol-forming performance of yeast at high biomass concentrations as a result of a changed ethanol tolerance behaviour of the cells under conditions of limitations. *Acta Biotechnol*, 9: 17-23. 1989.
- 38- Richter, K.; Becker, U. and Meyer, D.** *A reduced specific ethanol-forming performance of yeast at high biomass concentrations as a result of a changed ethanol tolerance behaviour of the cells under conditions of limitations.* *Acta Biotechnol*, 9: 25-33. 1989.
- 39- Serrano, P.; Biart, J. R.; Conde, J.** *Mieles cubanas, características principales.* En Colectivo de autores. "La Industria de los Derivados de la caña de azúcar". ICIDCA. Editorial Ciencia y Técnica. Ministerio de Cultura. La Habana. Cuba. 1985.
- 40- Tevelein, J. M.** *Adaptation of yeast to environmental changes.* Libro resúmenes 1^{er} Simposio Europeo en Ciencia de Ingeniería Bioquímica, Dublín, Irlanda, 19 - 21 septiembre, p. 15. 1996.
- 41- Thomas, K. C.; Hynes, S. H. And Ingledew, W. M.** *Practical and theoretical considerations in the production of high concentration of alcohol by fermentation.* University of Saskatchewan. Canadá. 1995.
- 42- Vicente, N. S.** Conferencia sobre contribución al ahorro de miel en las destilerías. Cálculo del Bx de Corrida.
- 43- Vicente, N. S.** *Conferencia sobre contribución al ahorro de miel en las destilerías.* Cálculo del Bx de Corrida. 2004.

ANEXO 1 Esquema del proceso de destilación.



ANEXO 2 Requisitos de calidad de alcoholes. NC 792:2010 Alcohol Etílico-Requisitos

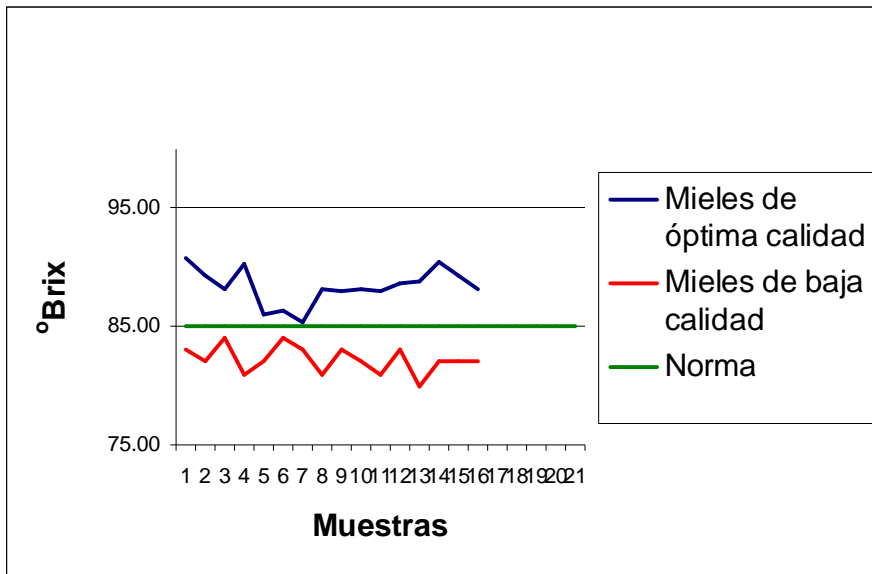
6. 2 Requisitos físicos y químicos: Los alcoholes etílicos deberán cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla No. 1.

Tabla 1 — Requisitos de calidad

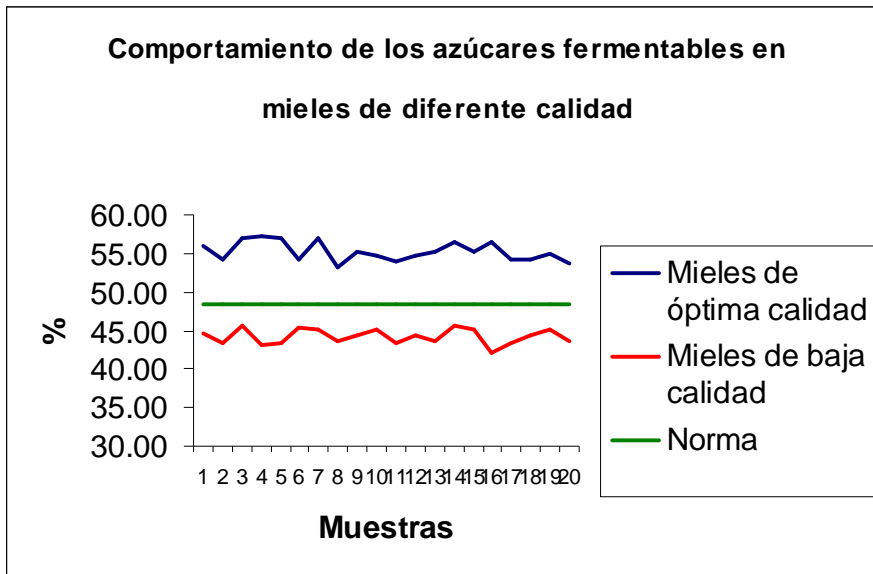
Característica	Alcohol etílico superfino	Alcohol etílico fino	Alcohol etílico rectificado	Alcohol etílico flema	Alcohol etílico desnaturalizado	Alcohol etílico deshidratado
Grado alcohólico expresado en % de alcohol en volumen a 20° C (min.)	96,0	95,5	95,0	93,0	86,0	99.5
Tiempo de Permanganato expresado en minutos (min.)	>35	>30	>5	-	-	-
Acidez Total expresado en miligramos de ácido acético por litro de alcohol absoluto (máx.)	13.0	15.0	30.0	-	-	-
Aldehídos expresados en miligramos de acetaldehído por litro de alcohol absoluto (máx.)	3.0	12.0	30.0	-	-	-
Alcoholes superiores expresados en miligramos de alcoholes superiores por litro de alcohol absoluto (máx.)	25.0	66.0	150.0	-	-	-
Ésteres totales expresados en miligramos de acetato de etil	30.0	35.0	35.0	-	-	-

por litro de alcohol absoluto (máx.)						
--------------------------------------	--	--	--	--	--	--

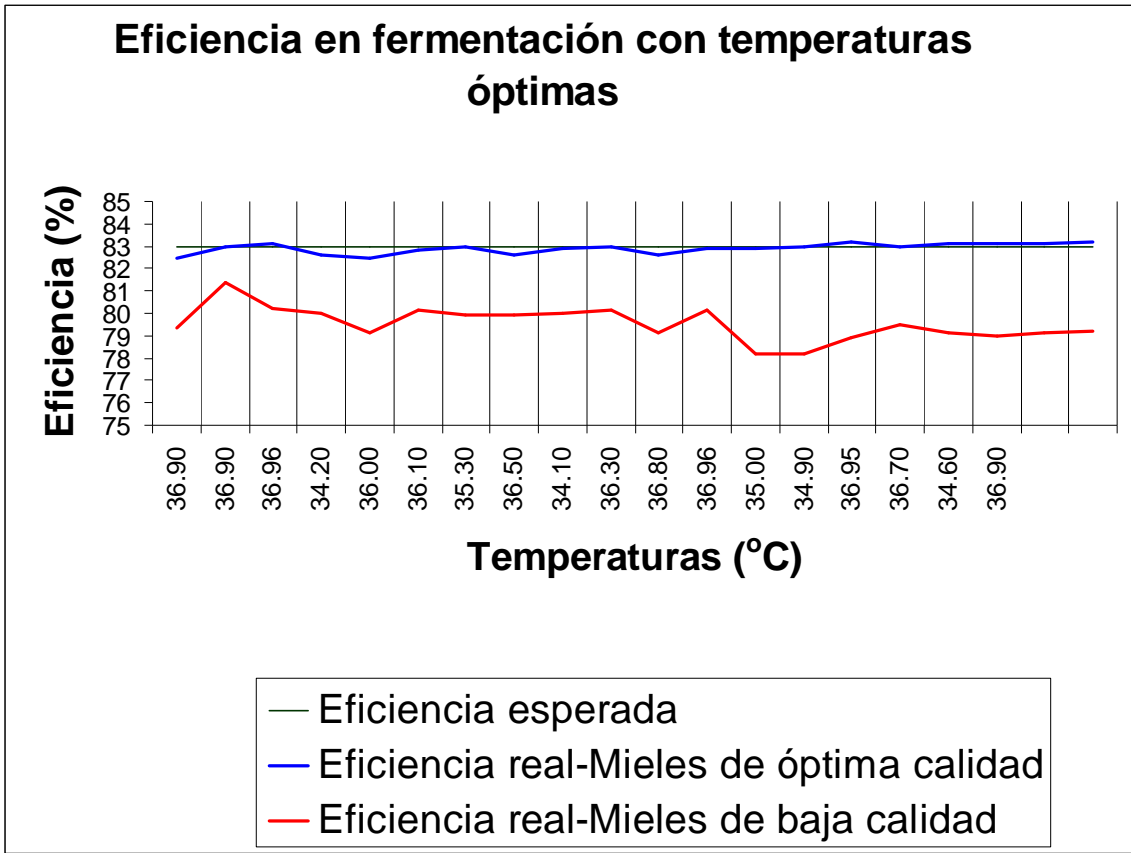
ANEXO 3 Comportamiento del grado Brix en diferentes calidades de la miel.



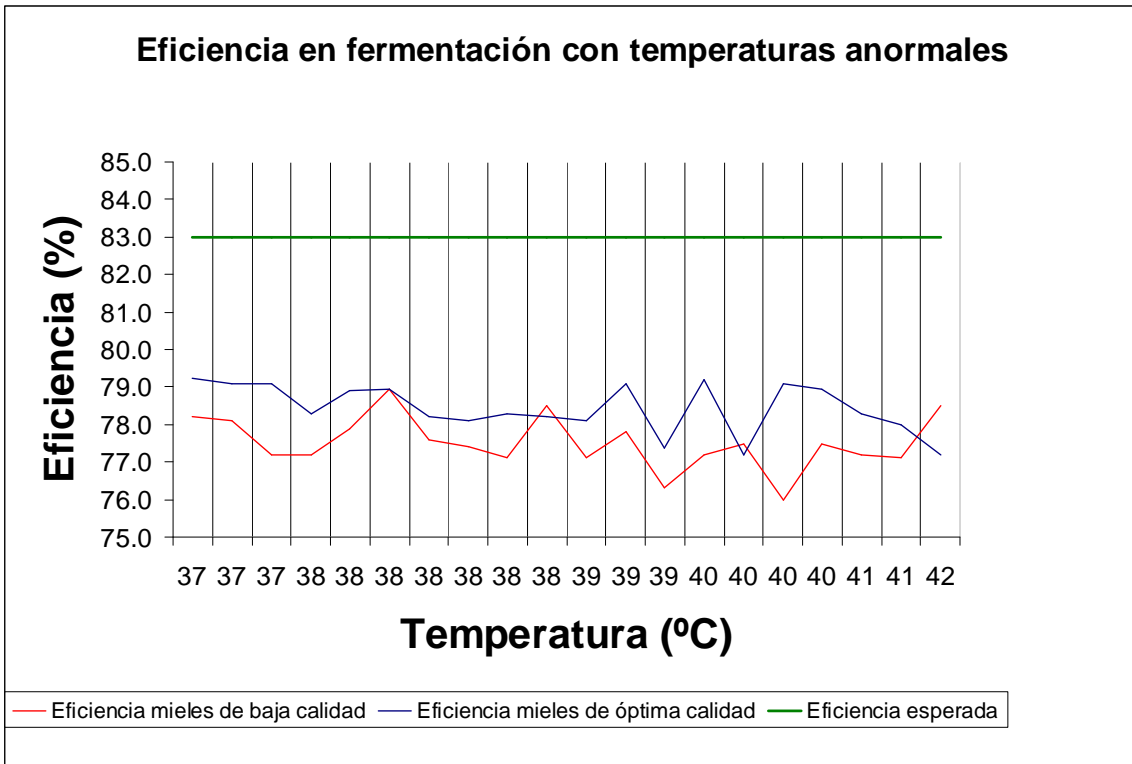
ANEXO 4 Comportamiento de los azúcares fermentables en mieles de diferente calidad



ANEXO 5 Eficiencia en fermentación con temperaturas óptimas.

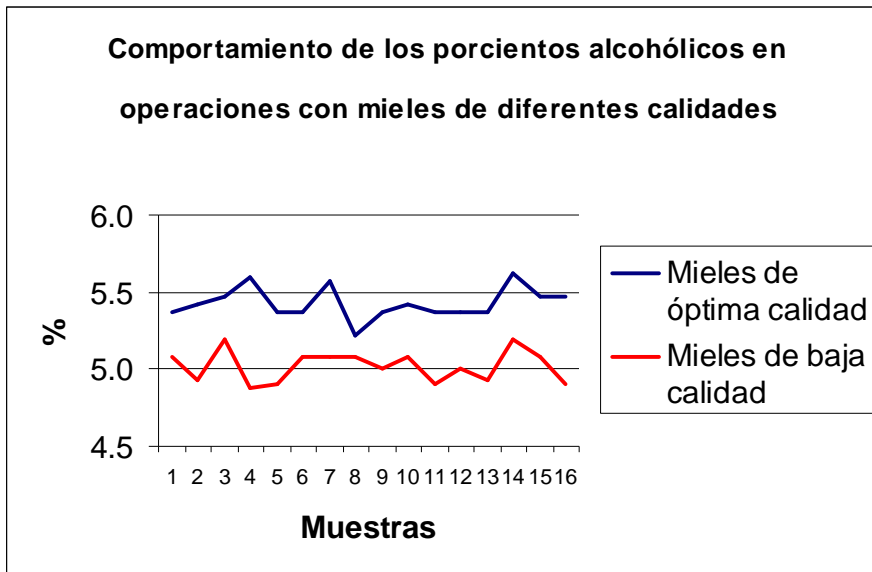


ANEXO 6 ANEXO 6 Eficiencia en fermentación con temperaturas anormales



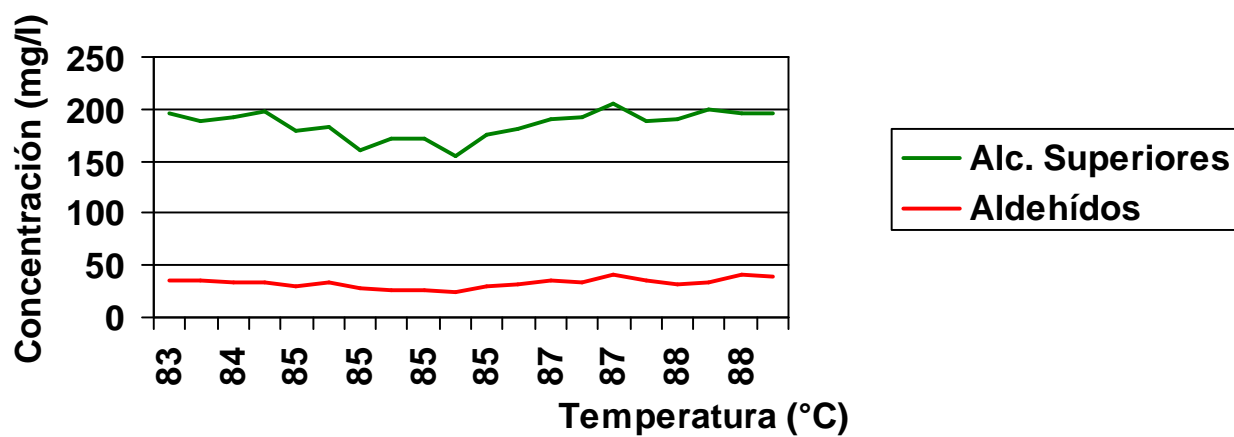
ANEXO 7 Comportamiento de los % alcohólicos en mieles de diferente

calidad

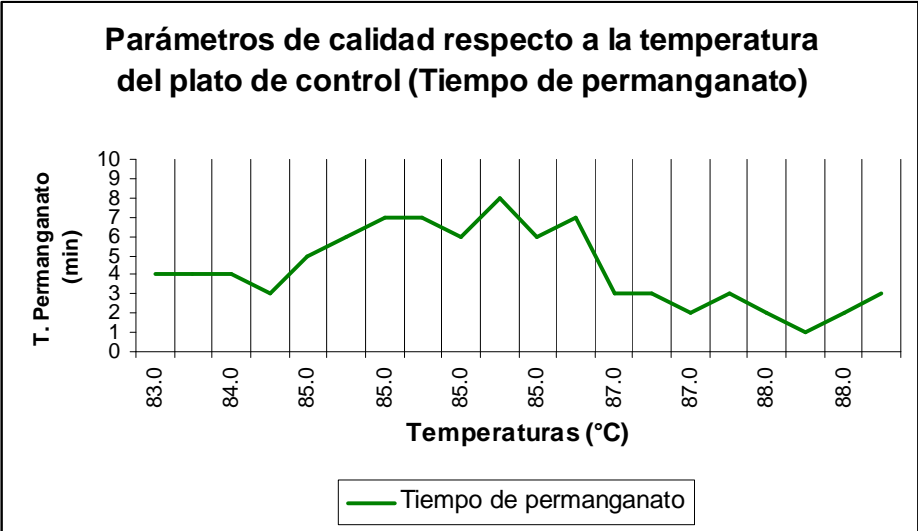


ANEXO 8 Parámetros de calidad respecto a la temperatura en el plato de control (Alcoholes superiores y aldehídos)

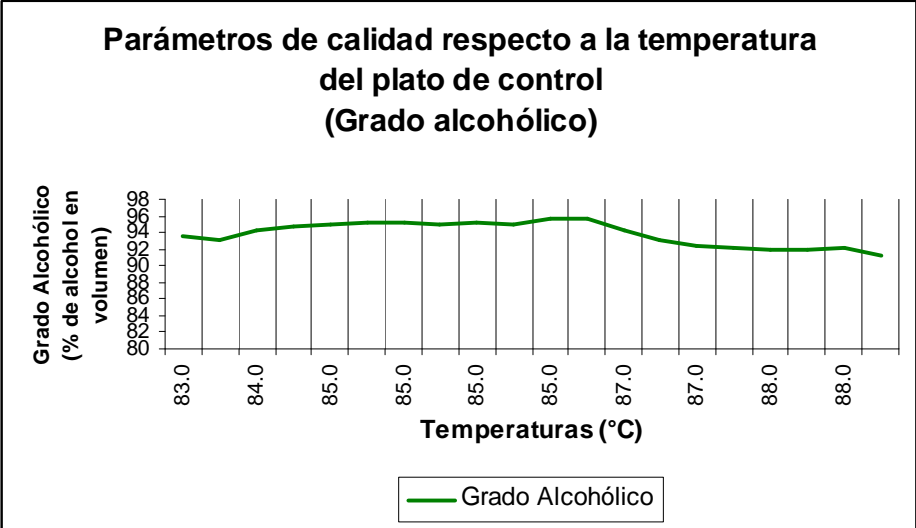
Parámetros de calidad respecto a la temperatura del plato de control (Alc. superiores y aldehídos)



ANEXO 9 Parámetros de calidad respecto a la temperatura en el plato de control (Tiempo de permanganato)



ANEXO 10 Parámetros de calidad respecto a la temperatura en el plato de control (Grado alcohólico)



ANEXO 11

Entrevista aplicada a los directivos de la destilería de la UEB Derivados "Urbano Noris".

Objetivo: Conocer el trabajo desarrollado por los directivos para conocer y actuar sobre las variables que inciden en la calidad y los niveles de producción de alcohol etílico rectificado en la UEB Derivados "Urbano Noris".

Compañero colega, como parte de una investigación que pretende analizar las variables que inciden en la calidad de los alcoholes y su nivel de producción en la entidad, consideramos que sus declaraciones en esta esfera conducirían a elevar la calidad de la investigación. Le pedimos su cooperación respondiendo con toda sinceridad a las siguientes interrogantes:

1. ¿Conoce las variables que inciden en la calidad de las mieles finales que se utilizan como materia prima para la fermentación alcohólica?
 SI NO
2. ¿Conoce las variables que inciden en la eficiencia de la fermentación alcohólica?
 SI NO
3. ¿Conoce las variables que inciden en la eficiencia de la destilación alcohólica?
 SI NO
4. Marque cuales de las siguientes variables considera fundamentales en el proceso productivo.
 Calidad de la miel utilizada
 Temperatura de la batición en los fermentadores
 Operación del disolutor
 Suministro estable de vapor
 Estabilidad de las operaciones de destilación

5. Mencione alguna medida que Ud. sugeriría para mejorar la calidad del alcohol etílico rectificado y sus niveles de producción en esta entidad.