

**UNIVERSIDAD CENTRAL
“MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA**

**CENTRO UNIVERSITARIO “JOSÉ MARTÍ PÉREZ”
DE SANCTI SPÍRITUS**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE ENERGÍA Y PROCESOS
INDUSTRIALES**

TÍTULO

**ESTUDIO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR
DE JUGOS DE CAÑA ENERGÉTICA COMO COMPONENTE
DEL SUBSTRATO**

**Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en
Ciencias Técnicas.**

Autor: Prof. Aux., Ing. Joaquín de Jesús Obregón Luna

Tutor: Prof. Tit., Ing. Rolando Alfredo Hernández León, Dr C

**Sancti Spíritus
2008**

AGRADECIMIENTOS

Al Dr.C. Ing. Rolando Alfredo Hernández León quien desde 1995 en su actividad proselitista científica, me convenció e incorporó al proyecto de caña energética.

A los colectivos de trabajo de la extinta Delegación Provincial y actual Grupo Empresarial Azucarero del MINAZ en Sancti Spíritus, a la empresa azucarera Melanio Hernández y al Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar; sin cuya participación directa, estos resultados científicos no se hubieran concretado hasta innovación tecnológica.

A los compañeros del Centro de Estudios de Energías y Procesos Industriales y la Facultad de Ingeniería al que pertenece, quienes hicieron suyos este trabajo.

A todos eternamente agradecido

PENSAMIENTOS

“ Revolución es sentido del momento histórico, es cambiar todo lo que debe ser cambiado....”

Fidel Castro Ruz
2000

“ Lo que un hombre no logró otro lo ha conseguido, y lo que era desconocido en una época se ha puesto en claro en la siguiente...., doy a quién venga detrás de mi cierta facilidad para que la aproveche sin tanto esfuerzo, y se lo hago más flexible y manejable...., como él lo hará a quién le suceda”.

Michel de Montaigne
1582

DEDICATORIA

"A la memoria de mis familiares y amistades que ya hoy no me acompañan, y a los que presentes me apoyaron y impulsaron a realizar este trabajo"

SÍNTESIS

El estudio se origina a partir de la necesidad de incrementar el valor agregado a la cogeneración eléctrica fuera del período zafra, en centrales azucareros que procesen caña energética como biomasa combustible, y destinar sus jugos como componente de sustrato industrial para producir bioetanol y subproductos asociados, en la evitación de que se conviertan en un residual líquido agresivo al medio ambiente, al no ser viable económicamente producir azúcar y melaza con ellos.

Se estimaron las incertidumbres de los microorganismos contaminantes en el sustrato, de variables fermentativas alcohólica y para el caso de la destilería Paraíso la de velocidad media de biosíntesis etanol; que fueron pertinentes para desarrollar las tecnologías de preparación con patente CU 23211 y de conservación con solicitud de patente de Adición OCPI 2007-0164, basadas ambas en la pasterización a alta temperatura por largo tiempo y mezcla con melaza de caña azucarera.

Se ejecutaron evaluaciones industriales integrando central-destilería en la empresa azucarera Melanio Hernández donde se validó la tecnología patentada, se realizó la evaluación preliminar del impacto ambiental y se determinó la viabilidad técnico-económica del empleo de los jugos de caña energética.

El estudio demostró las novedades científicas del hallazgo de un nuevo componente de sustrato industrial para la fermentación alcohólica no reportado antes en lugar alguno, las tecnologías citadas, y el desarrollo de un programa informático de diagnóstico que facilita la generalización conservación de los jugos en cualquier central azucarero.

Ello ha hecho posible que como fuente renovable de energía en Cuba, la caña energética tenga un rol protagónico como biomasa combustible sostenible por las rutas electroenergética y alcoquímica.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
1.1 Caña de azúcar, azúcar y etanol	15
1.2 Biomasa combustible	18
1.3 Fermentación alcohólica	18
1.4 Substratos más empleados	21
1.4.1 Características de substratos líquidos de caña	22
1.4.1.1 Tratamiento térmico en la preparación para uso inmediato	24
1.4.2 Conservación de substratos	25
1.4.2.1 Preservación de substratos de la caña de azúcar	25
1.4.2.2 Costos del almacenamiento de substratos conservados de caña	27
1.5 Microorganismos empleados	27
1.6 Contaminaciones	28
1.7 Principales variables que inciden en el proceso de fermentación	30
1.8 Modelos de fermentación alcohólica	32
1.9 Destilación	32
Conclusiones parciales del Capítulo I	35
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS PARA LOS EXPERIMENTOS Y LAS EVALUACIONES INDUSTRIALES	36
2.1 Antecedentes	37
2.2 Generalidades	37
2.3 Desglose de los elementos principales del estudio	38
2.4 Caracterización de los jugos de caña energética	41
2.5 Tecnología de preparación de jugos de caña energética para uso inmediato en la fermentación alcohólica	43
2.6 Conservación de los jugos de caña energética	43
2.6.1 Necesidad de la conservación	43
2.6.2 Requisitos	44
2.6.3 Variables de restricciones	44
2.6.4 Procedimiento para los ensayos	45
2.7 Evaluaciones de diferentes cepas de levadura	46
2.7.1 Variables de restricciones	47
2.8 Evaluaciones industriales procesando solo caña energética	48
2.8.1 Caracterización de las evaluaciones industriales con enfoque de proceso	48
2.8.2 Creación de las condiciones iniciales	49
2.8.3 Caracterizaciones en el central azucarero del empleo de agua de imbibición y de lavados en los molinos, tiempo real necesario de pasterización y fermentativa alcohólica de los jugos de caña energética industriales	49
2.8.4. Validación de la tecnología para uso inmediato de los jugos de caña energética mediante evaluaciones industriales con integración central-destilería	50
2.8.4.1 Caracterización de la integración material central-destilería	50

2.8.4.2 Procedimiento para la ejecución de la validación fermentativa y de mitigación ambiental preliminar de la nueva tecnología	51
2.8.5 Modelación estadística	52
2.8.6 Rendimiento en L de etanol a 100 ⁰ G.L./t de caña energética	53
2.8.7 Puntos de equilibrio en la integración central-destilería	53
2.9 Bases para la formación del costo de los jugos de caña energética	53
Conclusiones parciales del Capítulo II	56
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1 Principales características distintivas de los jugos de caña energética	58
3.2 Tecnología de preparación de los jugos de caña energética para uso inmediato en la fermentación alcohólica	66
3.3 Tecnología específica para la conservación de los jugos de caña energética	67
3.4 Evaluaciones de cepas de Saccharomyces con jugos de caña energética como componente del sustrato	74
3.5 Evaluaciones industriales procesando solo caña energética en condiciones reales de la producción	77
3.5.1 Central azucarero Melanio Hernández	77
3.5.1.1 Evaluación del empleo de agua de imbibición y de lavados en la planta moledora	77
3.5.1.2 Validación del tiempo necesario de pasterización de 80 ⁰ C a 90 ⁰ C	78
3.5.1.3 Caracterización fermentativa alcohólica de los jugos mezclados de caña energética pasterizados	79
3.5.2 Validación de la tecnología para uso inmediato en la fermentación alcohólica de los jugos de caña energética pasterizados en la destilería Paraíso	80
3.5.2.1 Inversiones capitalizables	80
3.5.2.2 Caracterización de la pasterización HTHT en el central azucarero Melanio Hernández	80
3.5.2.3 Recepción y enfriamiento en la destilería Paraíso	81
3.5.2.4 Caracterización de la prefermentación	81
3.5.2.5 Caracterización de la fermentación con los sustratos Mezcla Jugo+Miel y Miel sola	82
3.5.2.6 Caracterización de la destilación y de las producciones	85
3.5.2.7 Caracterización de las vinazas de la mezcla jugos+miel	87
3.5.2.8 Evaluación en fertirriego de caña azucarera	88
3.5.2.9 Caracterización del rendimiento en litros a 100 ⁰ G.L./ t de caña energética	88
3.5.2.10 Caracterización de la integración central-destilería para uso inmediato de los jugos de caña energética	89
3.6 Actualización del costo de los jugos de caña energética	93
Conclusiones parciales del Capítulo III	96
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXOS	112

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

La crisis energética y calentamiento global con los combustibles fósiles y precios por encima de los \$ 110,00 USD el barril tipo Texas, acentuado a partir de la invasión a Irak, del huracán Katrina y amenazas a Irán entre otros; ha exacerbado la potenciación de fuentes alternativas centradas en la biomasa combustible renovable, sostenible y ecológica, al menos en países pequeños que como Cuba, no tienen grandes y caudalosos ríos, bosques y mucho menos recursos económicos para electronucleares; siendo tal vez el gran y mayor potencial las cañas de azúcar y energética (Rodríguez, 2006).

A inicios de la década del 90 del pasado siglo, el desplome del campo socialista y de la Unión Soviética con traumáticos efectos para la economía y el pueblo cubano, hizo casi colapsar grandes sectores económicos como el transporte, la generación eléctrica y en gran medida la rama agropecuaria; significativamente dependientes de las $14 \cdot 10^6$ t de petróleo/año que importaba el país, por la capacidad financiera que brindaba vender el azúcar crudo a unos \$ 600,00 USD/t en ese mercado perdido abruptamente (Castro, 1998).

En concordancia y a raíz de esto, un estudio realizado por la rama electroenergética nacional con proyecciones hasta el 2005, planteaba incrementar en 100 MW la potencia instalada en los centrales azucareros, empleando bagazo y residuos agrícolas cañeros como combustible (UNE, 1995), lo cual no fue posible alcanzar por falta de financiamiento principalmente.

En este dramático contexto nacional, logros científicos del país permitieron conocer la obtención de nuevas variedades de caña (Campo y otros, 1998), que como promedio tienen el doble del bagazo y la mitad del jugo comparada con la tradicional azucarera; lo que motivó el inicio de estudios de factibilidad, experimentos e investigaciones, con el propósito de cogenerar electricidad fuera del período zafra, empleando esta nueva gramínea denominada *caña energética*, y destinar los jugos entre otros posibles usos, como componente de substrato industrial para la producción de bioetanol y subproductos asociados (Hernández y otros, 1996, 1998).

El bioetanol es obtenido con levadura entre otros microorganismos mediante la fermentación alcohólica (Prescott y Dunn, 1983), conocida y utilizada por la humanidad como arte desde 6 000 años A.C. El país que más produce bioetanol a partir de caña de azúcar es Brasil, tanto a partir de sus jugos primarios, de corrientes secundarias y de sus melazas; cuyo costo de producción fluctúa entre \$ 0,15 y 0,21 USD/L a 100^0 G. L.,

siendo el que con menor costo lo produce en el mundo (Jolly y Woods, 2004), así como, se registra una potenciación internacional creciente debido a la decisión de los países desarrollados de norteamérica y Europa de producir agrocombustible lo que compite con los alimentos.

Con relación al empleo de la caña energética lo único hallado es un análisis técnico-económico integrando central-destilería y cogeneración eléctrica, pero nada refiere a procesos tecnológicos fermentativos de sus jugos como sustrato (Keenlside, 1986), por lo que se definió como **Problema Científico** de que: La falta de métodos específicos de preparación y conservación de los jugos de caña energética como componente de sustrato para la fermentación alcohólica, y de la identificación de las cepas de levadura más adecuadas para fermentarlos, limita el aprovechamiento de dicha fuente de carbono para producir bioetanol y subproductos asociados, y aumentar así el valor agregado de la cogeneración con esta gramínea.

Por todo lo expuesto, el estudio tiene el **Objetivo General** de: Facilitar la utilización de los jugos de caña energética para la fermentación alcohólica mediante el desarrollo de tecnologías específicas de preparación y conservación de los mismos, con las cepas de levadura más productivas.

Para alcanzar este propósito se desarrollaron los siguientes **Objetivos Específicos**:

- 1.- Completar la caracterización de los jugos de caña energética en propiedades físicas, químicas, fermentativas, microbiológicas, comportamiento frente al calor y la purificación mediante cal-calor.
- 2.- Evaluar a escala de laboratorio las tecnologías específicas de preparación y conservación de los jugos de caña energética que se desarrollen para la fermentación alcohólica, con las cepas de levaduras más productivas.
- 3.- Validar a escala industrial la tecnología específica de preparación para uso inmediato de dichos jugos en la producción de bioetanol y subproductos asociados en la empresa azucarera Melanio Hernández.
- 4.- Realizar evaluación económica y ambiental preliminar de dicha tecnología.

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se realizaron las siguientes **Tareas de Investigación**.

- 1.- Realizar una revisión bibliográfica sobre el uso de jugos caña energética como sustrato para la fermentación alcohólica, métodos de preparación y conservación de otros medios basales industriales, evaluaciones económicas y ambientales entre otros.

2.- Desarrollar a escala de laboratorio tecnologías específicas de preparación y conservación para hacer aptos estos jugos como componente de sustrato para la fermentación alcohólica.

3.- Evaluar a escala de laboratorio diferentes cepas de levadura certificadas, frente al sustrato conteniendo jugos de caña energética como componente y el de melaza sola como testigo.

4.- Ejecutar evaluaciones industriales comparativas en fermentación con el nuevo sustrato y realizar caracterizaciones del comportamiento en el proceso, de las producciones, de las vinazas, de la viabilidad económica y de los puntos de equilibrios de la integración material central-destilería, así como, obtener modelos estadísticos de macrocomposición fermentativa de los jugos y su comportamiento en las variables fermentativas para el caso de la empresa azucarera Melanio Hernández.

5.- Actualizar la ficha de costo de los jugos de caña energética industriales.

Se precisó como **Objeto de Estudio** la fermentación alcohólica para las producciones de bioetanol y subproductos asociados y se puntualizó como **Hipótesis** que: Si se desarrollan tecnologías específicas de preparación y conservación de los jugos de caña energética como componente de sustrato industrial sostenible, y se identifican cepas de levadura más adecuadas para fermentarlos; se facilitará la producción de bioetanol y subproductos asociados para aumentar el valor agregado de la cogeneración con caña energética.

Se definió como **Campo de Acción:** El proceso de producción de bioetanol y subproductos asociados al utilizar los jugos de caña energética como componente del sustrato.

En el trabajo se desarrollan y validan las tecnologías que integran de forma lógica, armónica y sistémica varias herramientas y algoritmos matemáticos; desarrollando entre otros, un programa de diagnóstico para la conservación de los jugos; identificación de las cepas de levadura de mejor comportamiento, así como, del análisis de factibilidad económica inversionista, que logra minimizar su costo mediante nuevas utilidades de equipamientos existentes y rediseño de ingeniería de otros salidos de centrales azucareros desactivados.

En la ejecución del mismo se emplean métodos empíricos: experimentación, observación y medición; y los métodos teóricos: histórico lógicos, hipotético deductivo, modelación y dialéctico.

Se efectúan balances de materiales, de estimaciones y diagnóstico de microorganismos contaminantes, ajustes predeterminados de concentración de sólidos solubles para garantizar la suficiente presión osmótica en la conservación de los jugos. Por otra parte, entre otros se estiman los rangos de las incertidumbres de los niveles de contaminantes en el sustrato, de las variables de restricciones para identificar cepas de levadura a recomendar, y de parte de las de proceso de la destilería Paraíso; se precisan los parámetros de temperatura y tiempo de pasteurización adecuados, de las inversiones capitalizables a realizar y de las normas y regulaciones sanitarias para la manipulación, transporte y almacenamiento del nuevo sustrato.

En correspondencia con el estudio el autor defiende los siguientes aportes:

- 1.- Caracterización en macrocomponente fermentativos y comportamiento químico-biológico en el tándem de los jugos de caña energética que pueden ser empleados como componente de sustrato industrial para fermentación alcohólica, que demostró sus notables diferencias con relación a los jugos de caña azucarera y sus melazas, y necesidad de mezclarlos con estas últimas nunca antes referido por otros autores; generando nuevos conocimientos para las ciencias microbiológica y la biotecnología industrial.
- 2.- Desarrollo de novedosas tecnologías de preparación y conservación específicas para jugos de caña energética, con destino a la fermentación alcohólica y otros usos.
- 3.- Elaboración de un programa informático de diagnóstico para la tecnología conservación que permite su generalización en cualquier empresa azucarera; donde se pueden almacenar los jugos de caña energética durante 80 días de forma segura, lo que flexibiliza su empleo para otros destinos que no sea propiamente el bioetanol.
- 4.- Profundización en la factibilidad técnica-económica de producir bioetanol y subproductos asociados con jugos de caña energética como componente del sustrato, dada la fortaleza que brinda la oportunidad de realizarse en período fuera de zafra..
- 5.- Obtención de modelos estadísticos de macrocomposición para la fermentación alcohólica y de comportamiento de variables fermentativas en la empresa azucarera referida en condiciones concretas industriales.
- 6.- Demostración mediante caracterización y empleo en fertirriego que a las nuevas vinazas originadas, le son aplicable la misma metodología normada por el Ministerio del Azúcar [MINAZ] desde 1999 para este propósito, que a las originadas cuando se fermentan melazas solas, así como, su similar potencial de empleo como sustrato en Plantas Modulares, producción de biogás y compost.

7.- Se demostró el aumento al valor agregado a la cogeneración eléctrica con caña energética fuera del período zafra, al destinar sus jugos como componente de substrato industrial para la fermentación alcohólica en la empresa azucarera Melanio Hernández.

Novedades científicas del estudio:

- El estudio permitió demostrar que los jugos de caña energética de las variedades C-90 176 y C-90 178, son un nuevo componente de medio basal industrial para la producción de bioetanol y subproductos asociados en el sector azucarero, mediante fermentación anaerobia sumergida con levadura, novedad que representa la contribución teórica al conocimiento científico.
- La alternativa de poder utilizar la pasterización a alta temperatura y largo tiempo, que facilitó desarrollar la tecnología específica de preparación para uso inmediato de los jugos de caña energética, con ajuste de los azúcares mediante mezcla con melaza de caña azucarera patente CU 23 211.
- El desarrollo de la tecnología de conservación fiable por 80 días con solicitud de patente de Adición a la anterior OCPI 2007-0164, que utiliza preservación multivariable mediante pasterización, regulación del contenido máximo de microorganismos contaminantes y alta presión osmótica, que se ejecuta por mezcla de los jugos calientes con melaza de caña azucarera seleccionada al respecto, que facilita procesar caña energética en cualquier empresa azucarera en período inactivo y emplear los jugos en otros destinos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Caña de azúcar, azúcar y etanol

La caña de azúcar *Saccharum officinarum* fue introducida en las Antillas durante la colonización, cuyo estudio integral de su cultivo agrícola tuvo su máximo exponente en el sabio científico cubano Alvaro Reynoso, en su monumental obra publicada en La Habana en 1862: “*Ensayo sobre el Cultivo de la Caña de azúcar*”, con seis ediciones hasta el presente (Reynoso, 1998).

Durante decenios incluidas las etapas de la seudorrepública 1902-1958 y la independentista de la Revolución 1959-1998, la producción del azúcar caña fue el eje fundamental de la economía cubana (Castro, 1998), muy en especial antes del derrumbe del campo socialista europeo.

Actualmente desplazada por el sector de los servicios particularmente el turismo y la salud como fuente principal de ingresos de divisas al país, no deja de constituir una fuente nacional importantísima de empleo, sustento y alimentación nacional; así como, uno de los principales ingresos de moneda libremente convertible del sector productivo por exportaciones de azúcar, mieles y sus derivados, predominando considerablemente en esto último el bioetanol, obtenido por fermentación y sus producciones de mayor valor agregado: las bebidas alcohólicas aunque de poca incidencia económica (Almazán, 2005).

Las producciones de azúcar de caña representa el 70% de la producción mundial de este alimento calórico (Ministerio del Azúcar [MINAZ], 2001), toda vez que al ser autosuficiente energéticamente por poseer alrededor del 30% en peso del biocombustible bagazo (Valdes, 2004), reduce sensiblemente los costos de producción comparada con la de remolacha, lo cual entre otros también se manifiesta en todos y cada uno de los subproductos y derivados que de esta gramínea se obtiene (López y Peláez, 2006). No obstante, el denominado proteccionismo del Norte con los subsidios a sus agriculturas, originan no pocas veces precios ruinoso incluida Cuba y los países del Convenio de Lomé (Engel y Reichert, 2000).

En las naciones productoras de azúcar de caña se producen más de 50 derivados con potencialidades de otros 100, cuyo estado de desarrollo tecnológico ha sido objeto de estudio (de la Cruz, 2002); y sin lugar a dudas, el bioetanol es uno sino el que más se produce, con Brasil como líder de los productores. Los Estados Unidos de América es el gran productor a partir del maíz subsidiado. En el **Anexo 1** se brindan a grandes rasgos una compilación de estimados de costos (Jolly y Woods, 2004). Estudios sobre tendencias (Williams, 2004; ACE, 2006), procesos inversionistas (Richmand, 2004;

Bullion, 2004), desarrollo y perspectivas hasta el 2025 (USDOE, 2004); han sido realizados en diferentes países y publicados incluyendo aspectos ambientales (RFA, 2002; Correa, 2003; Atkinson, 2004).

La decisión del presidente de los Estados Unidos de utilizar el bioetanol como combustible automotor producido a partir de la caña de azúcar, el maíz y el sorgo entre otros; ha sido justa y fuertemente fustigada por competir contra los alimentos encareciéndolos, con terribles consecuencias para países del tercer mundo donde ya de por sí existe hambruna y escasez de agua (Castro, 2007). Ello se puede observar en la Figura 1.1 que recoge las tendencias hasta 2010 (Obregón, 2007a)

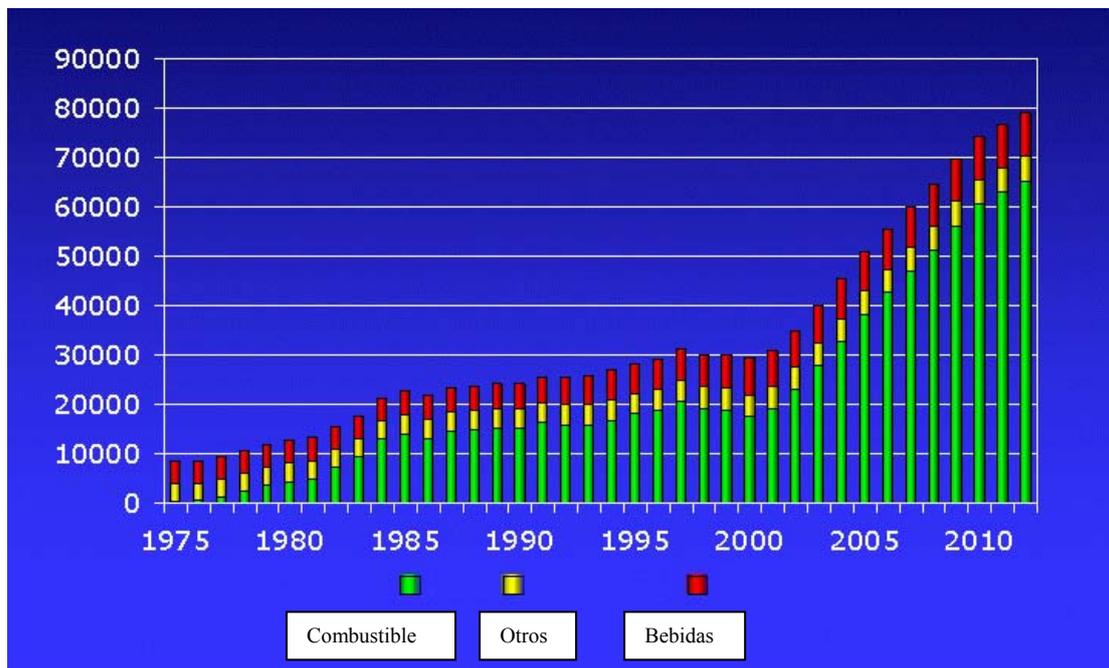


Figura 1.1 Tendencias y destinos de la producción de etanol

Se constata la explosión de la demanda como combustible automotor, que evidencia la enorme actualidad protagónica del etanol en el mercado, la economía y el medio ambiente mundial; toda vez que los países desarrollados hacen muy poco para cambiar sus insostenibles patrones consumistas, y avanzan en el desarrollo científico-técnico con la producción de hidrógeno a partir del bioetanol entre otros, con un reformador y celdas de hidrólisis para generar electricidad con alrededor de 92 % de eficiencia (Abreu, 2008).

Al cierre de 2007 los consumos serán de alrededor del 80% como combustible, 12% en bebidas alcohólicas y 8% en las industrias de cosméticos, farmacéutica y otras.

En la América se produce el 65% de la producción mundial, correspondiendo al Brasil el 43% como resultado del programa Proalcohol iniciado en 1975, fundamentalmente a

partir de biomasa cañera (Macedo, 2002), en proceso de significativo incremento por la crisis mundial con el calentamiento global y del agotamiento y precios de los combustibles fósiles (Farrel y otros, 2006). En tal sentido el país no se mantiene ajeno, ejemplo de ello es la obtención de variedades de caña energética que no compite con la azucarera, ni con las áreas para las producciones de alimentos, pastos naturales, frutales y maderables entre otros; toda vez que se cultivan en terrenos agrícolas liberados de caña azucarera que no se emplean en las anteriores producciones agropecuarias, al no reunir las características mínimas apropiadas para estos propósitos (Vera, 2007).

1.2 Biomasa combustible.

La citada crisis energética y ambiental mundial con los combustibles fósiles en particular el petróleo, ha hecho potenciar significativamente trabajos que se venían realizando en los países del tercer mundo no petroleros (López y Cruz, 1998), dada la necesidad de utilizar fuentes alternativas de combustibles como la biomasa en todas sus manifestaciones, y para Cuba aún con el surgimiento de Petrocaribe dentro del marco de la Alternativa Bolivariana para la América.

Una de esas posibles fuentes que se concatena con la necesidad nacional de incrementar el desarrollo de tecnologías y nuevos productos de forma sostenible y flexible, lo constituyen las cañas azucarera y *energética*; tanto en forma de producciones de derivados como de la biomasa combustible (Valdés, 2004), máximo a raíz de la reingeniería realizada en el sector agroindustrial azucarero denominada Tarea Alvaro Reynoso (MINAZ, 2002).

La caña energética F1 del cruzamiento de Saccharum officinarum y Saccharum spontaneum difiere sustancialmente de la azucarera (Vera, 2000; 2001), ya que contienen como promedio el doble del bagazo y la mitad del jugo, siendo resultados de trabajos de investigaciones nacionales (Campos y otros, 1998; Peña y Castro, 2000), y se evalúan nueve variedades más nacionales y foráneas (Vera, 2007).

En la provincia de Sancti Spíritus está proyectada entre otros, a su utilización en períodos fuera de zafra sin competir con la producción azucarera y de derivados, como completamiento del biocombustible proveniente de la caña de azúcar: la paja y el bagazo (Romero, 2005), y hasta el presente las variedades más empleadas son las C-90 176 y la C-90 178 (Vera, 2006).

En tal sentido hace más de una década, se viene trabajando en la empresa azucarera Melanio Hernández para generar vapor y electricidad durante todo el año (Hernández y

otros, 1996, 1998) ; así como, destinar los jugos que se originan como componente adicional no convencional de substrato industrial, para producir alcohol y biomasa proteica por fermentación con levadura Saccharomyces. Con relación a esto último, lo único que se encuentra en la literatura especializada, es un estudio técnico-económico realizado integralmente comprendiendo caña de azúcar, caña con alto contenido de fibra, y caña con muy alto contenido de fibra (Keenlside, 1986), estas últimas denominadas en Cuba como caña energética. Otros estudios se han publicado pero solo a partir de caña azucarera y en evaluar la integración central-destilería (de la Cruz, 2002; Ayram y Stark, 2004).

La Figura 1.2 brinda la concepción como estudio de factibilidad económica del proyecto al respecto (IPROYAZ, 2002a).

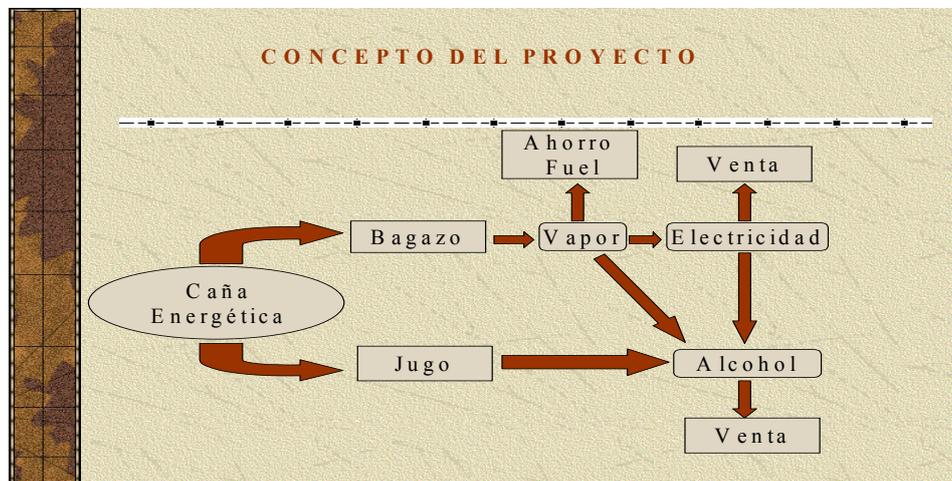


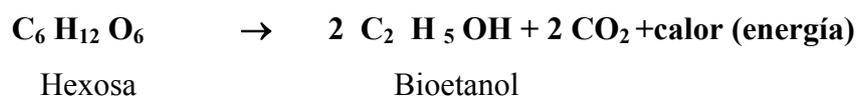
Figura 1.2 Concepto del Proyecto

1.3 Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es una de las más estudiada microbiológica , bioquímica y biotecnológicamente (Jaques y otros, 1999), y sin lugar a dudas la más universalmente utilizada.

Globalmente la reacción bioquímica se expresa de la siguiente forma de acuerdo con el modelo aceptado en el mundo de Embden-Meyerhoff (Lehninger,1988):

zimasa



Por supuesto, esto no es tan sencillo ya que participan 12 enzimas y coenzimas, denominadas en su conjunto grupo zimasa (Prescott y Dunn, 1983), siendo una de las formas de la glucólisis sin participación de célula de microorganismo alguna, sino

solamente las enzimas, que en la unidad de tiempo representa su cinética. La catálisis enzimática pueden ser afectada por la presencia de inhibidores competitivos y no competitivos en el sustrato (Lehninger, 1988). Cuando la fermentación tiene lugar como mecanismo natural para la conservación de la especie, las células de levadura Saccharomyces necesitan de una fuente de energía para poder biosintetizar todos y cada uno de sus componentes celulares. Esa fuente la obtiene al convertir el difosfato de adenosina (ADP) en trifosfato de adenosina (ATP) almacenándolo en forma de energía química, cuya ruta metabólica se representa como sigue ;



Lo anterior explica que durante la fermentación convencional por cultivo sumergido con levadura, parte del azúcar se utiliza en la reproducción de la biomasa celular, por lo que no resulta toda convertida en bioetanol aparte de otros productos que también forman, cuyas fuentes de carbono son fundamentalmente los azúcares.

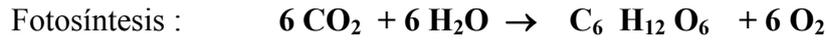
A partir de caña azucarera en condiciones ideales de laboratorio se ha determinado los rendimientos mostrados en la Tabla 1.1 (Upadhlaya, 1998):

Tabla 1.1 Rendimientos obtenidos de distintos sustratos de caña azucarera

Substrato	Rendimiento g Etanol/100g ART	Eficiencia % Yp/s
Jugo de caña	48.3	94.5
Miel B	47.2	92.3
Miel C	44.3	86.6

Upadhlaya plantea (Upadhlaya, 1998) que en la industria azucarera durante la cocción se forman sustancias reductoras no fermentables basado en un trabajo de Ravno (Ravno,1979), lo cual es parcialmente cierto ya que no se puede limitar a la luz de los conocimientos científicos, toda vez que es mucho más complejo porque se originan también sustancias inhibitoras en esos sustratos industriales como el 5-hidroximetilfurfural (El Tabey Shehata, 1960), caramelos y los ácidos volátiles como los de más connotación entre otros (MINAZ, 2007).

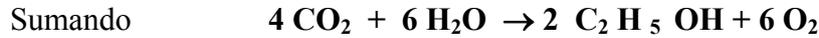
Comúnmente se piensa que la fermentación alcohólica es contaminantes por el dióxido de carbono que se origina, aumentando el contenido del mismo de efecto invernadero lo cual científicamente no es cierto, analizado desde la caña, remolacha, maíz, etc., hasta el bioetanol como sigue (Obregón, 2003a, 2006a):



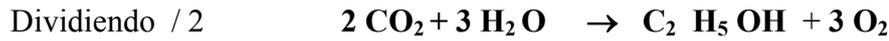
Hexosa



Hexosa Etanol



Etanol



88 54 46 96

Fg $\text{CO}_2/\text{Etanol} = 88 / 46 = 1.9$ Fg $\text{O}_2/\text{Etanol} = 96 / 46 = 2.1$

Fg: factor gravimétrico

Lo anterior demuestra que por cada una parte peso de bioetanol producido se ha extraído de la de la atmosfera 1,9 partes en peso de CO_2 y aportado 2,1 partes de O_2 , dada la materia prima empleada como sustrato. Esto tiene lugar con anterioridad y en ciclos cortos de tiempo. Utilizado como combustible automotor, bebidas y otros que requieren de O_2 y originan CO_2 , su efecto es neutral (Pinto, 2000) y potencial de fondos exportables con certificados de carbono según los Acuerdos de Kyoto (Atkinson,2004). En Cuba incluida la destilería más moderna instalada en Cienfuegos (TOMSA-DESTIL, 1997), todo lo que se utiliza en la producción de bioetanol tiene una etapa aerobia inicial semicontinua de reproducción de la levadura, para obtener la cantidad de biomasa que se requiere a fin de iniciar la fermentación alcohólica propiamente dicha, aplicando procesos Jacquemin con sus variantes y/o Melle-Boinot según el caso (MINAZ, 1971, 1983); que evidentemente consumirá azúcares sin una respuesta en bioetanol.

La Figura 1.3 ilustra como el sustrato que en el caso cubano es mayormente melazas, es consumido para la reproducción de la biomasa de levadura Saccharomyces como subproducto asociado en particular con el proceso Jacquemin.

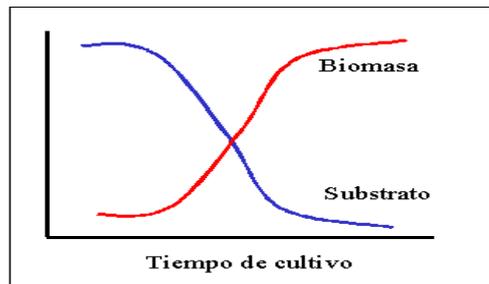


Figura 1.3 Comportamiento de la concentración de biomasa y del sustrato con el tiempo en el metabolismo celular

Tabla 1.2.- Rendimientos de etanol por t y ha de diferentes substratos

Substrato industrial		t/ha	L etanol/t	L etanol/ha
Caña de azúcar	100% etanol	70	80	5 542
	50% etanol 50% azúcar	70	65	4 520
	100% azúcar	70	7	490
Maíz		8	380	3 028
Yuca		14	170	2 428
Remolacha		70	100	6 971

Los 7 L etanol/t de caña de azúcar destinada totalmente a la producción de azúcar, corresponde al que se obtiene de la melaza originada como subproducto asociado.

Es pertinente señalar que los substratos de la Tabla 1.2 no cañeros y de otros no indicados que también se utilizan muy puntualmente, no compiten con la caña de azúcar en la autosuficiencia energética que logra esta a partir del bagazo que se manifiesta en los costos también, con sobrantes para la cogeneración eléctrica y otros destinos; aspecto que es más acentuado en la caña energética.

Con relación a los substratos amiláceos del grupo b) son considerablemente utilizados en las producciones de cervezas, vodka, whisky, sake y bioetanol como los más conocidos (Jolly y Woods, 2004; M; Richman, 2004); resultando muy interesante los altos rendimientos alcohólicos que se obtienen en algunos casos de 20% a 21% en volumen (Thomas e Ingledeu, 1992a, b), más del doble de lo que se alcanza en Cuba empleando melazas de caña, que se explica principalmente por el hecho de que son substratos diferentes.

El último de los grupos el c) que son los substratos lignocelulósicos, existen destilerías en el mundo que las emplea (Deepchand, 2000a,b;Wyman, 2003) y firmas que desarrollan tecnología y procesos a tales fines incluido el bagazo de caña (Knauf y Moniruzzama, 2004; Oliveiro y Proença, 2004).

Aunque bien conocida, la síntesis química del etanol no es objeto de revisión.

1.4.1 Características de los substratos líquidos de caña de azúcar

La Tabla 1.3 muestra las especificaciones de diferentes substratos de caña de azúcar que se emplean para la producción de etanol

Tabla 1.3 Especificaciones de los jugos, miel B y melaza para etanol

ESPECIFICACIÓN	Jugos para etanol			
	1 (MINAZ, 2006a)	2 (CATIC, 2006)	3 (BHP-PRAJ, 2006)	(DEDINI, 2006)
% Brix	13,03	16,00	15,50 – 16,00	18,00 – 20,00
% Azúcares Totales (AT)	-	-	-	-
% Azúcares Infermentables (AI)	-	-	-	-
% Pol	-	13,25	-	-
% Azúcares Reductores Totales (ART)	12,11	-	15,00 – 15,50	> 15,00
% Azúcares Fermentables (AF)	-	-	> 14,50	-
pH	5,4	-	-	5,4
% Lodos	1,0 máx.	-	0,5 máx.	≤ 0,5
Unidadesformadoras de colonias / g (ufc)	-	-	-	< 10 000
p.p.m. ácidos volátiles (AV)	-	500	-	500
p.p.m. ácidos orgánicos (AO)	-	-	500	-
Temp. de tratamiento térmico (°C)	120	125	125	125

Tabla 1.3 Continuación...

ESPECIFICACIÓN	Miel B				Melaza			
	1	2	3	(TPCC, 2007)	(NC, 1989)	(NCR, 2007)	(Olbrich, 1969)	
							Tipo I	Tipo II
% Brix	80 - 82	80 - 82	80 - 82	80 - 82	85 mín.	> 75	≥ 80	≥ 76,8
% AT	-	-	-	-	52 mín.	-	-	-
% AI	-	-	-	-	3,8 máx.	-	-	-
% Pol	-	44 - 46	-	≥ 44	-	-	-	-
% ART	60 mín.	60 - 62	62 - 63	≥ 62	-	> 54	-	-
% AF	-	-	> 60	> 60	48,2 mín.	-	-	-
pH	5,1 – 5,4	-	-	-	5,2 – 5,7	-	-	-
% Lodos	-	-	-	-	13 máx	-	-	-
ufc/g	-	-	< 10 ⁶	-	-	-	< 10 ⁵	< 10 ⁶
AV	-	5 000	-	5 000	-	-	-	-
AO	-	-	5 000	-	-	-	-	-
°C	120	125	125	120	85 - 120	-	-	-

La Tabla 1.3 muestra que con los jugos solo DEDINI incluye especificaciones microbiológicas, el MINAZ nada refiere al respecto ni a los AV y AO, pero sí lo hace al pH igual que DEDINI, las otras no. Para miel B el MINAZ no indica especificación alguna a los AV y AO que sí lo indica en el pH a diferencia de los otros reportes de la literatura. Tanto para jugos como para miel B de caña azucarera, las especificaciones cubanas no son tan rigurosas, explicable por el hecho científico-técnico del atraso tecnológico de la industria alcoholera nacional totalmente por proceso discontinuo; a diferencia del resto de las referencias bibliográficas que son para procesos continuos de

fermentación alcohólica, con empleo de antibióticos para controlar contaminaciones y estimulantes a dicha fermentación, así como, flexibles a fermentación discontinua también de ser pertinente. Este escenario real del país no puede ser obviado para cualquier nuevo sustrato industrial como los jugos de caña energética componente de este.

Para melaza la Tabla 1.3 muestra que las especificaciones NC cubanas para la fermentación alcohólica son más estrictas que las de NRC costarricense, dada la mayor tradición y nivel de producción de etanol a partir de este sustrato. El caso europeo de producción de levadura de panificación también utilizada en forma seca activa en la fermentación alcohólica industrial (Olbrich, 1969), difiere en el %Brix toda vez que el clima es más frío que en el Caribe y Centroamérica, y generalmente priorizan la melaza de remolacha. Puede constatarse que en la clasificación Tipos I y II son rigurosas las especificaciones microbiológicas, y señala que las del Tipo II conlleva a un tratamiento especial. El autor valora que en este último caso no se puede extrapolarse linealmente el aspecto microbiológico para melaza con destino a la fermentación alcohólica, no solo por la diferencia climática, sino en esencia, por el producto objeto de obtención, ya que la biomasa de levadura es un subproducto asociado a la fermentación alcohólica con destino a la alimentación animal, y no levadura de panificación para elaborar pan entre otros para consumo humano.

Debe señalarse que cuando la melaza se emplea directamente en la formulación de piensos para animales, al menos en España las especificaciones microbiológicas son extremadamente rigurosas con las bacterias coliforme, y no admiten presencia de Escherichia coli ni Salmonella (FEDNA, 2007); aspectos que no pueden obviarse si se destinan los jugos de caña energética a este propósito.

Las especificaciones para jugos de la Tabla 1.3 tienen plena validez como referencia para los de caña energética, pero no es suficiente toda vez que su caracterización para la fermentación alcohólica implica compararlos con el tradicional melaza de caña utilizada en Cuba, que motiva para homologar las grandes diferencias en sus concentraciones de sólidos solubles (Brix), dividir el componente medido entre los azúcares totales, con lo que se alcanza análogas condiciones (Obregón, 2006b).

1.4.1.1 Tratamiento térmico en la preparación para uso inmediato

La Tabla 1.3 muestra que el tratamiento térmico de sustratos de caña azucarera tiene un rango de incertidumbre de 85°C a 125°C, lo cual se ejecuta por pasterización, choque térmico de uno a cuatro minutos en el límite superior y hasta 20 minutos a

ebullición. En la producción flexible azúcar-etanol se emplea la purificación cal-calor normal de la tecnología azucarera en particular con el jugo de los filtros de cachaza (López y Peláez, 2006). Por su lado, en la industria alimenticia entre otras, prevalece la pasterización con tres alternativas: alta temperatura corto tiempo (HTST) hasta 88°C no más de dos minutos, baja temperatura largo tiempo (LTHT) a 62°C y 30 minutos y combinación entre ambas de alta temperatura largo tiempo (HTHT) (Frazier y Weshtoff, 1993); esta última también utilizada para pasterizar melazas de caña en las producciones de levadura torula y en una destilería en Cuba (MINAZ, 1977, 1979a; THOMSA-DESTIL, 1997).

La preparación de todo nuevo substrato diluido para uso inmediato en la fermentación alcohólica como los jugos de caña energética, tiene que considerar todas las soluciones de ingeniería comprobadas viables de tratamiento térmico; pero con la previsión de que si bien a mayor temperatura más efectividad en la reducción de los microorganismos contaminantes (moc), tiene de adverso de que se originan más inhibidores a la fermentación como antes se ha expuesto, así como, la ventaja de que las variables organolépticas no tienen significación en estos casos por lo que no hay que considerarlas.

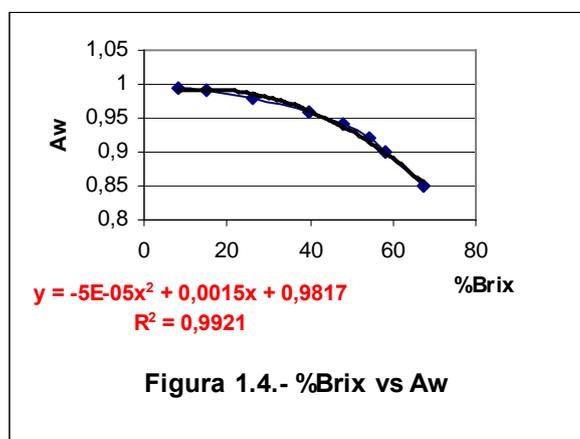
1.4.2 Conservación de los substratos

Los substratos de los grupos b) y c) se presentan mayormente en estado sólido, que con el control de la humedad y condiciones sanitarias durante su almacenamiento, se conservan durante semanas y meses sin cambios significativos en sus características. Por su parte los del grupo a) cuando están diluidos son muy vulnerables al deterioro en horas, principalmente por contaminaciones microbianas, aspecto no considerado por otros autores con substratos de la caña de azúcar (Fabelo, 1999; de la Cruz, 2002), que sí hay que tenerlo en cuenta con los jugos de caña energética.

1.4.2.1 Preservación de substratos de la caña de azúcar

En Costa Rica esta norma se fija en 75% Brix refractométrico mínimo para la melaza según la Tabla 1.3, concentración que ha sido ensayada en Cuba en la conservación ácida de melazas cubanas (Alvarez y otros, 2002); en Francia con un enfoque más integral de recirculación de levadura para aumentar el rendimiento alcohólico (Pierre-Oliviere, 1994), y para conservar caña azucarera a procesar después del período de cosecha (Batstone, 2005). Esta convergencia científico-técnica independientes en 75% Brix, concuerdan con un análisis profundo realizado por el autor a problemas concretos de la producción como sigue:

De publicaciones de la literatura para soluciones de sacarosa con mediciones de la actividad acuosa (A_w) a diferentes % Brix (Honig, 1987), se construyó la Figura 1.4 y se le halló la ecuación polinomial de tendencia de la línea que se muestra.



Al sustituir para Brix = 75% se determinó que la $A_w = 0,8125$

Por su parte la Tabla 1.4 muestra las A_w mínimas reportadas por la literatura para los microorganismos comunes (Olbrich, 1969):

Tala 1.4 A_w mínimos de desarrollo

Microorganismo	A_w
Bacterias normales	0,91
Levaduras normales	0,88
Hongos normales	0,80
Hongos Xerófilos	0,65
Levaduras osmófilas	0,60

Al compararse el resultado con la tabla, se observa que algunos microorganismos escapan a la presión osmótica de inhibición del desarrollo vegetativo a una $A_w = 0,8125$, pero estos no han sido aislados por decenas de años de caracterizaciones microbiológicas de las melazas de caña cubanas normales (ICIDCA, 2000). Por lo expuesto, se determina que el valor mínimo de Brix es 75% para la conservación de los jugos de caña energética (Obregón, 2007b).

Para el caso de la melaza de caña específicamente desde 1944 W. L. Owen demostró lo que se muestra en la Tabla 1.5 citado por Olbrich (Olbrich, 1969):

Tabla 1.5 .- Influencia de la concentración sobre el metabolismo de la microbiótica de la melaza de caña

% Brix	Tipo de Acción microbiana	Efecto predominante sobre el contenido de azúcar	Velocidad de la actividad
75-80	Bioquímica	Inversión de la sacarosa	Muy lenta
70-75	Hongos	Inversión de la sacarosa	Rápida con fuerte inoculación
60-72	Levaduras	Fermentación del azúcar invertido	Cambio lento, excepto en los niveles más inferiores
50-62	Bacterias	Conversión de la sacarosa en goma	Lento, excepto en los niveles más inferiores

Los microorganismos utilizados por Owen fueron aislados de productos intermedios de la producción de azúcar crudo, y especifica que dado los disímiles que son pone límites a cualquier esquematización. Por lo tanto, 75 % Brix mínimo se convierte a su vez en una de las variables de restricciones para la conservación pero no suficiente ella sola, sino, hay que tener presente el aspecto microbiológico en el estado sanitario del substrato, con énfasis a los destinados para la fermentación alcohólica.

1.4.4.2 Costos del almacenamiento de substratos conservados de caña

Es ciencia económica demostrada por la logística, que cualquier materia prima incrementa su costo con el tiempo de almacenamiento por lo que se trata de alcanzar su más rápida rotación (Torres y otros, 2007). Salvo el MINAZ (MINAZ, 2006a) y Oblrich (Oblrich, 1969) que no hacen referencia al respecto, las citas bibliográficas de la Tabla 1.3 estipulan que el almacenamiento para mieles B y melazas de caña azucarera es viable económicamente hasta los 60 días, y excepcionalmente puede llegar a 90 días si la fuente de suministro es lo suficientemente cercana de forma que minimice los costos de transportación. Este decisivo aspecto de viabilidad económica, tiene que ser considerado con cualquier materia prima a fermentar que se almacene, incluidos los jugos de caña energética.

1.5 Microorganismos empleados en la fermentación alcohólica

Los microorganismos utilizados en la fermentación alcohólica son las bacterias y levaduras (Brack y Madigan, 2002), y dentro de estas últimas la *Saccharomyces cerevisiae*, dadas sus bondades del tamaño celular, ser facultativas de fácil reproducción e inocuidad ambiental y para la salud; alrededor del 96% de toda la fermentación alcohólica para la elaboración de diferentes productos en el mundo se realiza con dos cepas de *Saccharomyces* (Anónimo, 2007).

Estas cepas se caracterizan por tener pH óptimo en un espectro amplio de 3,5 a 6,0 que es el rango en que se emplea, en correspondencia con las características intrínsecas del proceso biotecnológico en particular de que se trate.

Con relación a la temperatura, esta levadura tiene el rango óptimo para reproducirse aeróbicamente entre 28⁰C y 32⁰C, mientras que para la fermentación anaerobia está en el orden de 32⁰C a 35⁰C; lo cual obedece a las rutas metabólicas y enzimas participantes (Estévez, 2006).

Las necesidades nutricionales de esta levadura para un kg base seca se brinda en el **Anexo 2** (Faust y otros, 1984); y para el caso de Cuba en el **Anexo 3** se recoge esta caracterización (Klibansky, 1986).

Existen cepas que se diferencian en su comportamiento y en las características que imprimen al substrato que fermentan incluidas las organolépticas (Guilisaste, 2004), ampliamente utilizadas en las industrias cerveceras, vinateras y de producción de bioetanol a nivel mundial (Arias y Lastra, 2004). Este aspecto no se ha considerado en varias investigaciones precedentes, en particular con los substratos formulados con vinazas, jugos de los filtros y melazas (Fabelo, 1999; de la Cruz, 2002); lo que restringe el criterio de selección del substrato a una cepa única sin brindar científicamente alternativas de selección del modelo biológico vivo.

Por otra parte, variando el substrato para una misma cepa, los congéneres cambian poco en su contenido y proporciones entre sí, pero sí el rendimiento alcohólico (Valdés, 1996); así como, para diferentes cepas sus necesidades en micronutrientes esenciales difieren (Olbrich, 1969). Por todo lo expuesto, se valora que es correcto ante cualquier nuevo substrato industrial, identificar cuáles cepas de levadura son las de mejores comportamientos, así como, que sean certificadas por instituciones científicas autorizadas al respecto, aspecto que no está bien precisado en trabajos de autores nacionales con otras cepas (Sánchez, 1997; Jover, 2000).

1.6 Contaminaciones en la fermentación alcohólica

Otro factor importantísimo son las contaminaciones bacterianas, variable que origina un grado significativo de afectaciones al estar presentes y que no se ha tenido en cuenta en otras investigaciones (Fabelo, 1999; de la Cruz, 2002; Romero, 2005), cuya norma es como sigue (MACU, 1975):

- 2 – 4 bacterias / 100 levaduras, contaminación suave o normal
- 5 – 14 bacterias / 100 levaduras, contaminación mediana

- 14 – 20 bacterias / 100 levaduras, contaminación fuerte

mayor de 20 bacterias / 100 levaduras, contaminación muy fuerte.

Específica admisible hasta mediana y peligrosa de la fuerte en adelante.

De los contaminantes los *Lactobacillus* anaerobios son de los más peligrosos ya que un 1,4% en peso de ácido láctico inhibe el desarrollo de la levadura en cualquier destilería del mundo, y cuando llega a 10^7 bacterias lácticas/g afecta el rendimiento alcohólico en 5% - 10% (Jaques y otros, 1999). Por su parte, los tiempos de generaciones reportados por la literatura para diferentes microorganismos, se exponen en la Tabla 1.6 donde se asigna a la levadura velocidad normal (Frazier y Weshtoff, 1993).

Tabla 1.6 Tiempo de generación de los microorganismos

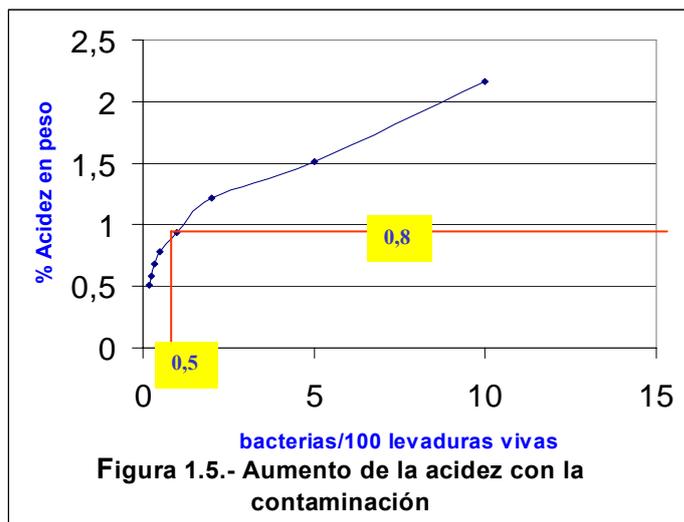
Microorganismo	Tiempo de generación en minutos	Velocidad de duplicación
Bacterias mesófilas	15 a 60	Alta
Levadura Saccharomyces	120 a 180	Normal
Hongos comunes	Más de 300	Baja

Puede apreciarse que las bacterias juegan el rol protagónico en las contaminaciones.

En la industria alcohólica a partir de trigo, es práctica común considerar que un incremento de la acidez en la fermentación alcohólica industrial en 1,5 veces se considera normal y no peligroso, que Jacques y colaboradores valoran que no está sustentado sobre bases científicas (Jacques y otros, 1999).

En Cuba, el autor demostró en la destilería Paraíso que cuando la acidez final es 0,8% peso o mayor a la inicial fermentando melazas de caña, se originan afectaciones al rendimiento alcohólico y a la calidad del alcohol fino A obtenido en la destilación, que registra valores de acidez por encima de la norma (Obregón, 2000).

Experimentalmente inoculando con fermentadores contaminados de esta fábrica a tubos de cultivo conteniendo solución de melaza a 20% Brix esterilizados, añadido un g/L de urea, completada la concentración a 4 g/L con levadura seca activa, conteo microscópico con cámara de Thomas y recuento vital en placa Petri en Agar Nutritivo con 10 p.p.m. de actidión para inhibir el desarrollo de la levadura (MACU, 1975), obtuvo los resultados recogidos en la Figura 1.5:



Experimentalmente demostró que el nivel máximo de contaminación en la fermentación alcohólica sin riesgos de afectaciones a los rendimientos alcohólicos y calidades, es muy diferente al rango de incertidumbre fijado como admisible (MACU, 1975), o sea:

1 bacteria/200 células de levadura vivas

Frazier y Weshtoff (Frazier y Weshtoff, 1993) reportan que a partir de una célula de bacteria con un tiempo de generación de 30 minutos al cabo de 20 horas se ha multiplicado hasta alrededor de 10^8 células, si dicho tiempo es de 60 minutos a cerca de $1,05 \cdot 10^6$. Un ciclo normal de la fermentación alcohólica discontinua en Cuba es de 20 horas (MINAZ, 1983), y si la levadura manifestara igual comportamiento en la fermentación alcohólica donde se inoculan los fermentadores con un conteo celular de tres dígitos multiplicado por 10^6 , los conteos finales habrían que multiplicarlos por 10^{12} a 10^{14} , no factible económicamente pues se reduciría considerablemente el rendimiento alcohólico.

El problema de las contaminaciones muy poco tratado en la literatura científica nacional, se incorpora como variable de restricción para la conservación de los jugos de caña energética, que unida a los días de conservación y a la concentración a 75%Brix mínimo, se define como una preservación multivariable (Lima, 1999); toda vez que la esterilización total de substratos industriales no se justifica económicamente, para biotecnologías como la del bioetanol (Negrín, 2003).

1.7 Principales variables que inciden en el proceso de fermentación.

Todo proceso fermentativo en medio líquido es isotérmico (Casas y otros, 1992) y en la fermentación alcohólica se presentan los tres estados de la materia: el líquido

representado por el substrato, el gaseoso por el CO₂ que se desprende más aire si es en la propagación aerobia de la biomasa de levadura, y el sólido a cuenta de dicha biomasa. Por todo ello, científicamente es un proceso biotecnológico isotérmico heterogéneo multiestado, que necesaria e inevitablemente parte de sus variables van modificándose en el transcurso del proceso discontinuo, siendo las más complejas de todas, las biológicas en los estados sólido y líquido (Obregón, 2005a). Las principales variables demostradas de los procesos fermentativos son pH, temperatura, tipo de microorganismo, composición y concentración del substrato (Nielsen y otros, 2003). Analizado con profundidad el grado de complejidad y de variables incidiendo concomitantemente en la eficiencia de la fermentación alcohólica en específico, se detecta que pese a conocerse perfectamente, existen pocos estudios de la incidencia simultánea de las variables físicas, químicas y biológicas. La Figura 1.6 ilustra una compilación realizada al respecto.

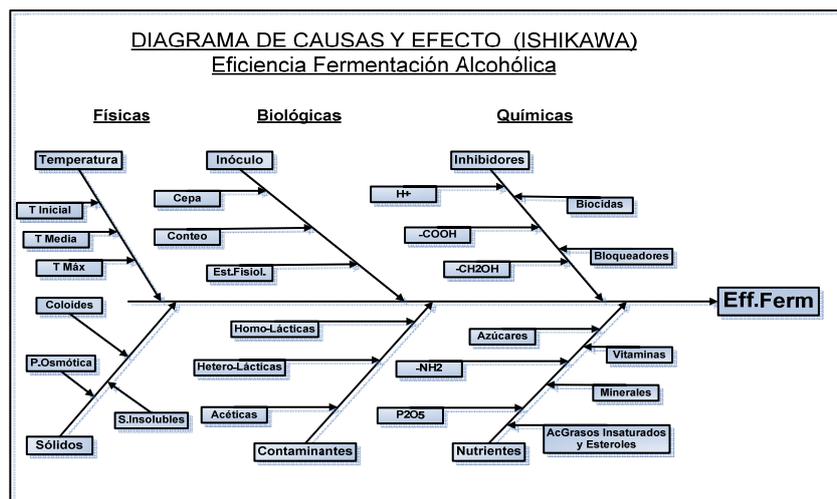


Figura 1.6.-Incidencia de variables en la eficiencia de la fermentación alcohólica (Estévez, 2006)

La fermentación alcohólica es un proceso de naturaleza factual, cuyos datos experimentales son obtenidos mediante mediciones físicas, químicas y microbiológicas, que aún realizados en laboratorios acreditados por las normas ISO/IEC 17025 (ISO,2002; Robinson, 2004) aplican la norma ISO/IEC 21748 a las incertidumbre de las mediciones (Nezhikhovskii, 2004; Alvarez y Rosso, 2005) ; implícitos a su vez al modo formal como los modelos de rendimientos de Monod (Ertola y otros, 2007). Estos aspectos no han sido referidos como fundamentación científica de incertidumbres por

otros autores (Fabelo, 1999; Jover, 2000; de la Cruz, 2002), que sí deben ser consideradas para cualquier nuevo sustrato como los jugos de caña energética.

Las variedades de caña azucarera comerciales y las nuevas energéticas, tuvieron un ancestro genético común (Jorge y otros, 2005), variable que subyace solapada y definen las características comunes y diferentes de sus jugos entre otros, por lo que el autor considera que no deben esperarse comportamientos linealmente iguales de las variables de fermentación alcohólica, entre los jugos de ambos grupos varietales (Obregón, 1998, 1999; Obregón y otros, 2000).

1.8 Modelos de la fermentación alcohólica

Metodológicamente las investigaciones científicas han de obtener los modelos de demostración, que describan entre otros el rendimiento de los sustratos con determinada cepa de microorganismo en los procesos fermentativos. La selección adecuada de los mismos están muy signada por el criterio: *Mínimo de Parámetros de Entrada*, lo cual ha sido fundamental para seleccionarlos (Nielsen y otros, 2003), y ya han sido utilizados en Cuba en la fermentación alcohólica (Fabelo, 1999).

Con la premisa científica de que el rigor se debe caracterizar por la sencillez y precisión, y complicar siempre cuando sea estrictamente necesario hacerlo; los modelos estadísticos simples son una gran herramienta para procesamiento de datos experimentales que dan respuesta satisfactoria en determinados procesos estocásticos de baja complejidad, como las evaluaciones por comparación entre grupos poblacionales a partir de sus muestras (Coto, 2007), por lo que se considera que para evaluar jugos de caña energética comparativamente con el sustrato tradicional melaza de caña, los modelos de rendimientos de Monod complementados con el de velocidad media de biosíntesis del etanol resultan adecuados a estos propósitos.

1.11 Destilación

La fermentación alcohólica no puede por sí sola definir y garantizar las calidades en la gama de surtidos que se elaboran incluido el Aguardiente Crudo para bebidas alcohólicas, aunque sin lugar a dudas, incide directa y decisivamente en ello, en particular lo relacionado con los contenidos de congéneres en el sustrato fermentado (Jover, 2000). En tal sentido, se requiere de la operación y proceso unitario de la destilación donde están involucradas las transferencias de masa y de calor, y por ende, los balances de materiales y entálpicos con sus propias incertidumbre (Kafarov, 2005),

hoy día con programas de cálculos y simulación (Ribas, 2005). En la Tabla 1.7 se brindan las especificaciones cubanas entre otras, que regulan nacionalmente los parámetros de calidad por surtidos (NC, 1987, 2005; MINAZ, 1993; ICIDCA, 1999), a la cual se le ha agregado los principales destinos actuales.

Tabla 1.7.- Especificaciones de calidad y principales destinos del bioetanol en Cuba.

Parámetro	Alcohol Superfino	Fino A	Fino B	Téc. A	Téc. B	Aguard Crudo	Alcohol Extra Fino*
% Alcohólico v/v, °G.L.	96,3	95,5	95,5	95,0	93,0	75 ± 1	96,3
Tiempo de Mn O ₄ , min	40	25	25	5	-	-	>35
Acidez,mg AcH/l a 100 ⁰ GL	15	15	30	-	-	20-60	<2
Aldehídos, mg/l a 100 ⁰ GL	8	12	20	30	-	-	<2
Esteres, mg/l a 100 ⁰ GL	20	35	35	100	-	15-55	<2
Alc. Superiores, mg/l a 100 ⁰ GL	-	-	-	-	-	100-350	<1
Destinos	B,C,E,Q y S	B,C,Q y S	B y Q	Q y S	E y Q	B	C, E y Q

Alcohol Fino A para la exportación: 96,0⁰ G.L. mínimo. Especificaciones de calidad de la firma mixta ALFICSA S.A., 2000 .

Leyenda:

B Bebidas alcohólicas **C** Industrias de cosméticos **D** Uso Doméstico
E Exportación **Q** Usos farmacéuticos,

El esquema tradicional y sin excepción instalado en Cuba se brinda en el **Anexo 4** (Obregón, 2005b), donde puede observarse que en la Columna Destiladora se origina el residual líquido agresivo vinaza, que se utilizan mayormente en Cuba para fertirriego con todo un soporte investigativo (Paneque y Mazón, 2000), y una metodología detallada para su empleo (MINAZ; 1999).

El Aguardiente Crudo se obtiene en una columna destiladora independiente del sistema de destilación antes descrito, cuyo residual es vinaza también (Perdomo, 2004). Para alcoholes de calidad técnica, las columnas se construyen generalmente de acero inoxidable AISI 304, 304L, 316 y 316L, los típicos de la industria alimenticia; no obstante para alcoholes Superfinos, Finos y Aguardiente Crudo al menos los platos y rolos de producción e inmediatos en ambos sentidos, se hacen de cobre que actúa como catalizador de la ruptura del enlace azufre de los mercaptanos, principal sustancia responsable de los olores desagradables de los alcoholes técnicos; (Frihost, 2007). Con igual importancia incide la fermentación, pero adicionalmente el substrato fermentado

debe estar exento de urea, garantizable solamente si no se emplea la misma en ninguna parte del proceso incluido el laboratorio microbiológico. El propósito es reducir la formación del carbamato de etilo o uretano, producto que a partir de dosis de 0,0003 mg/kg de peso es muy nocivo para la salud, el cual se origina al reaccionar la urea residual con el etanol mediante el calor que se emplea durante la destilación, aparte de que la arginina procedente de la degradación de las células de levaduras que normalmente mueren en la fermentación son otra fuente de formación (Jaques y otros, 1999); por lo que el modelo biológico vivo cepa de levadura que se utilice en la fermentación alcohólica debe estar adicionalmente certificada de que no origina niveles altos de este aminoácido cuando mueren las células.

Por todo ello, cualquier alternativa de nuevo substrato a fermentar para la producción industrial de bioetanol y sus derivados, no puede omitir esta operación y proceso unitario ya que las calidades de las principales producciones alcohólicas, no la deciden ninguna de las dos por separado, sino el sistema fermentación-destilación: calidades.

Conclusiones parciales.

1.- Los reportes bibliográficos muestran la gran actualidad y potenciación internacional de la producción de bioetanol principalmente como agrocombustible automotor, compitiendo con las producciones de alimentos y empleo de agua; aspecto que no manifiestan las nuevas variedades de caña energética.

2.- La caracterización de nuevos substratos para la fermentación alcohólica se realizan de la forma tradicional utilizada para concentraciones similares, pero cuando las mismas son marcadamente diferentes, es necesario realizarlo mediante relaciones entre las variables medidas para homologarlas a las mismas condiciones.

3.- La preparación de los substratos de caña de azúcar para uso inmediato, muestran varias formas de hacerse: el tradicional cal-calor y altas temperaturas de la tecnología azucarera, y la pasterización; y a partir de ello es realizable la conservación multivariable hasta 90 días a 75 % Brix mínimo y una bacteria contaminante/200 células de levadura máximo, y su fermentación con cepas certificadas de levadura Saccharomyces resulta lo más indicado; todas alternativas a considerar con los jugos de caña energética.

4.- Los modelos de rendimientos de Monod complementados con el de velocidad media de biosíntesis del etanol, resultan suficientes para evaluar nuevos substratos comparativamente con el tradicional melaza de caña en la fermentación alcohólica industrial.

5.- No se encontró en la literatura extranjera consultada, referencia alguna de caracterización, preparación, conservación y utilización industrial de los jugos de caña energética como substrato o componente de este, para la fermentación alcohólica.

CAPÍTULO II

**MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS PARA LOS EXPERIMENTOS Y
VALIDACIÓN DE TECNOLOGIA MEDIANTE EVALUACIONES
INDUSTRIALES**

2.1 Antecedentes

A partir de la decisión del Ministerio del Azúcar de fomentar la siembra de variedades de caña energética para sustituir biomasa forestal y cogenerar electricidad fuera del período zafra, principalmente antes de iniciar e inmediato después de terminar la misma (IPROYAZ, 2002a; Jorge y otros, 2005); surgió la necesidad del estudio para buscarle a los jugos un destino útil, entre otros, como substrato industrial para la fermentación alcohólica a ciclo completo.

Los experimentos y validación de tecnología mediante evaluaciones industriales se centraron en las mediciones de las variables seleccionadas estrictamente necesarias en cada etapa, con tamaño muestral pequeño para obtener el máximo de información con el mínimo de ensayos a menor costo (Montgomery, 2004).

2.2 Generalidades

La información obtenida de la búsqueda bibliográfica, unida a los conocimientos en microbiología y bioquímica aplicadas a procesos biotecnológicos industriales, y la práctica de la industria del bioetanol en Cuba; motivaron toda la experimentación necesaria con el fin de caracterizar los jugos, desarrollar las tecnologías específicas de preparación para uso inmediato y de conservación respectivamente, identificar las cepas de levadura más productivas y con mayores rendimientos económicamente recomendable con este nuevo componente de substrato; así como, ejecutar inversiones capitalizables en la industria, validar industrialmente tecnología y evaluación preliminar de la mitigación ambiental local.

La estrategia trazada fue como sigue:

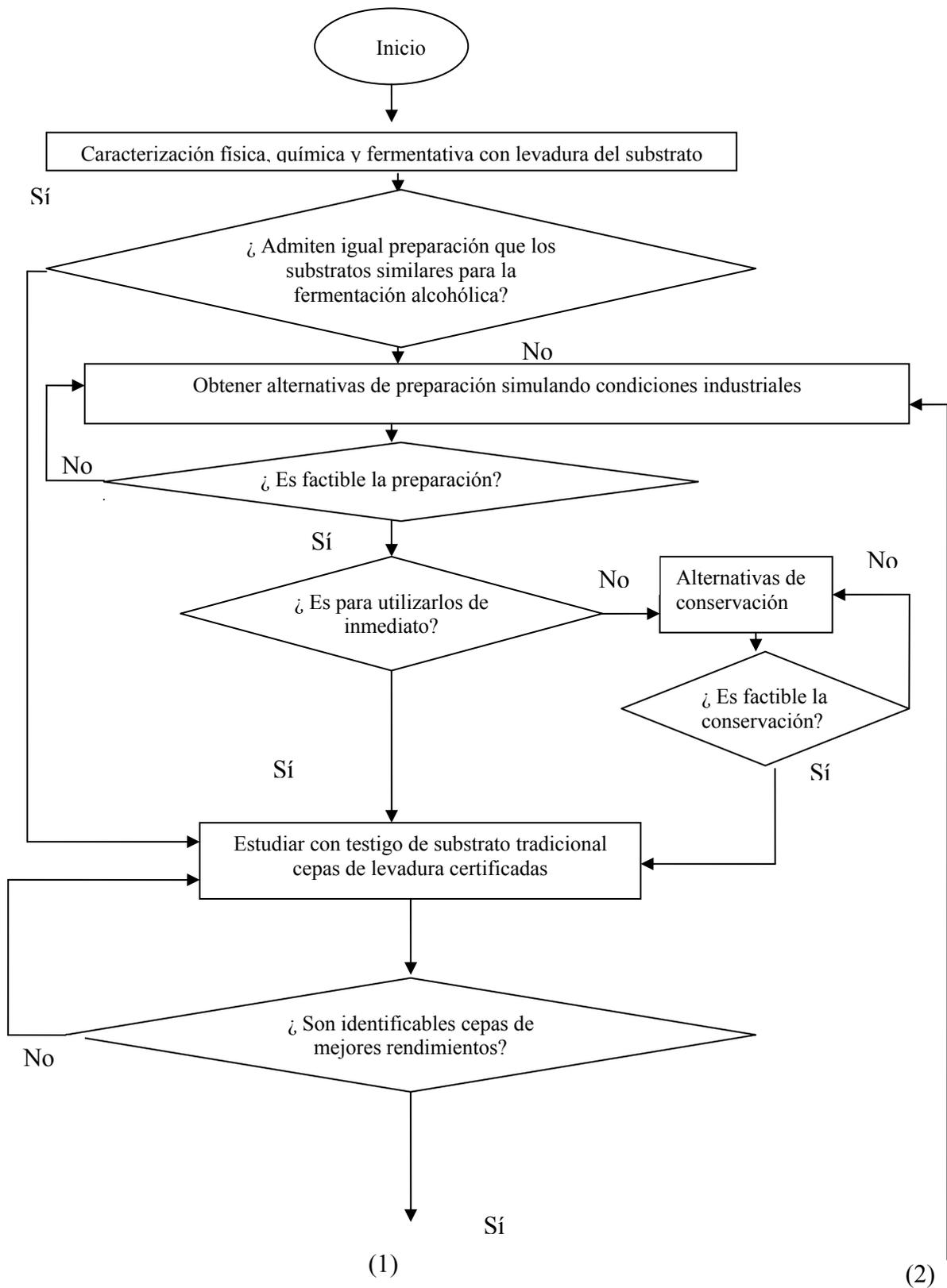
- 1.- Completar la caracterización de los jugos de caña energética en propiedades físicas, químicas, fermentativas y microbiológicas .
- 2.- Evaluar factibilidad de emplear choque térmico, cal-calor, y pasterización en la preparación de dichos jugos para uso inmediato en la fermentación alcohólica.
- 3.- Determinar las alternativas de preparación simulando condiciones concretas de la producción.
- 4.- Desarrollar la tecnología de conservación de los jugos de caña energética.
- 5.- Evaluar cepas de levadura certificadas e identificación de las de mejores resultados.
- 6.- Realizar validación de la tecnología de preparación para uso inmediato de los citados jugos mediante evaluaciones industriales integrando central-destilería, con ejecución de inversiones capitalizables en una empresa azucarera previamente

seleccionada; caracterización de los jugos, los sustratos, del proceso fermentativo, de las producciones, de las calidades, de las vinazas, de los puntos de equilibrio y obtención de los modelos estadísticos de macrocomposición fermentativa alcohólica y de variables fermentativas alcohólicas de los jugos de caña energética como componente del sustrato para producir bioetanol y subproductos asociados.

7.- Demostrar la factibilidad técnica, económica y ambiental.

2.3 Desglose de los elementos principales del estudio

El Diagrama Heurístico detalla los pasos ejecutados en cada uno de los elementos del estudio en la secuencia lógica de realización, cuya concepción para la parte experimental en laboratorio implicó estimar incertidumbres para las evaluaciones de cepas de levadura, así como, las de caracterización del estudio de caso de la empresa azucarera Melanio Hernández; aportes metodológicos que se exponen en este capítulo.



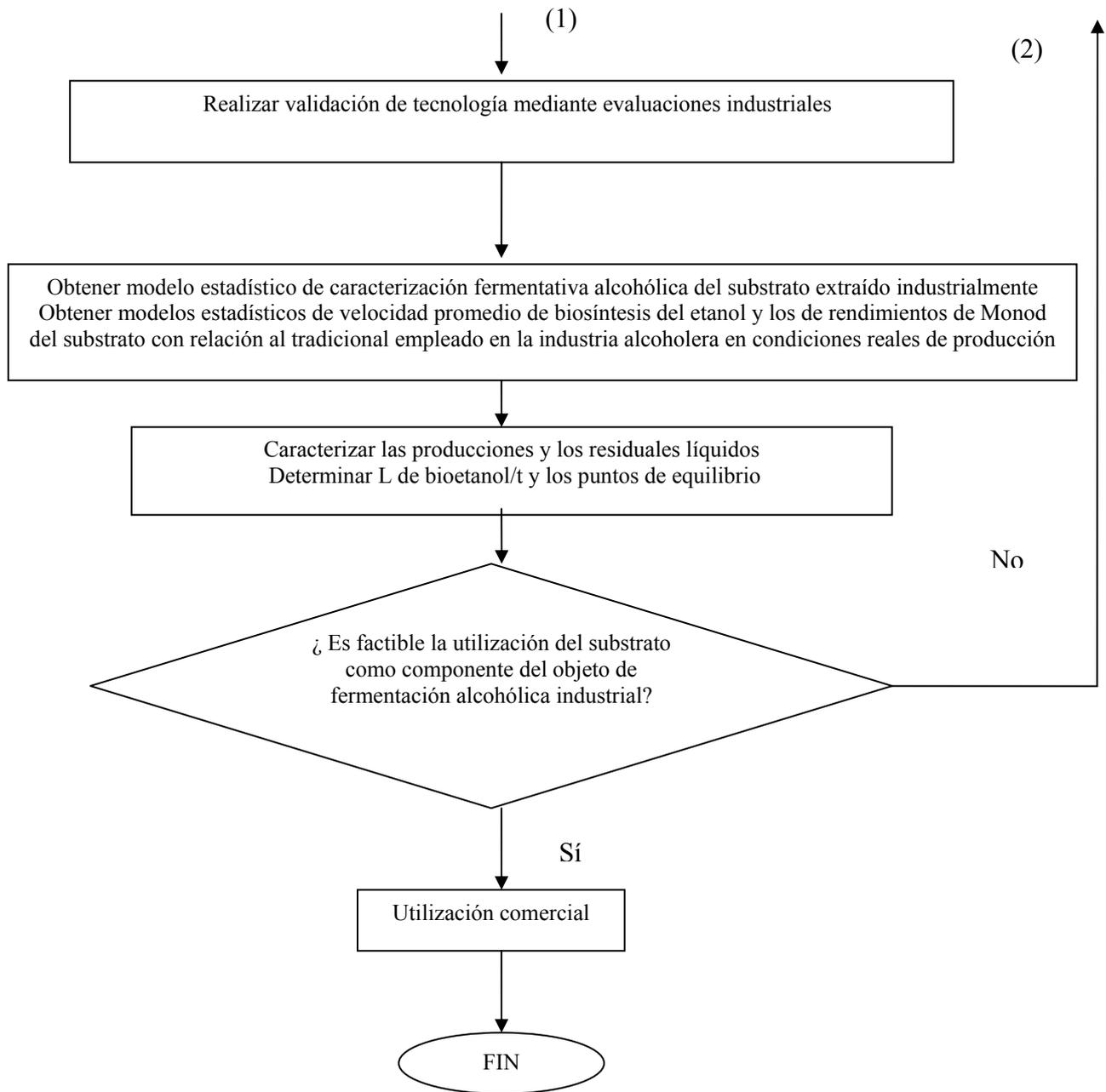


Figura 2.1 Diagrama Heurístico del Estudio

2.4 Caracterización de los jugos de caña energética.

Se realizó comparativamente con las características de los jugos de caña azucarera y las melazas de esta utilizadas como substrato tradicional en la fermentación alcohólica en Cuba, en este último caso, por relaciones de parte de las variables medidas entre el %A.T. respectivo de cada uno, por ser la variable de ajuste de la concentración del substrato en la fermentación alcohólica, con el propósito de homologar a similares condiciones sus notables diferencias de concentraciones.

La simbología utilizada para las diferentes variables a medir fue como sigue:

Brix	Concentración de sólidos solubles
Pol	Concentración aparente de sacarosa
Pureza azucarera	Pol/Brix
A. T.	Azúcares Totales
A.F	Azúcares fermentables
I	Azúcares infermentables
pH	Medición potenciométrica
Acidez	Medición mediante titulación con solución de hidróxido de sodio
θ	Tiempo de fermentación en horas y fracciones
μ_e	Velocidad media de biosíntesis del etanol expresada en % Alcohol en volumen formado/ θ
μ_b	Velocidad media de biosíntesis de la biomasa de levadura expresada en g/L de biomasa base seca formada / θ
ufc/g	Unidades formadoras de colonias/gramo determinadas mediante recuento vital en placa Petri
moc	ufc contaminante/peso
Y	Rendimiento en peso/peso
s	g/L de azúcares fermentables totales
p	g/L de azúcares fermentables convertidos en etanol
x	g/L de azúcares fermentables convertidos en biomasa base seca
Yp/s	Modelo de rendimiento Monod de producto con relación al substrato
Yx/s	Modelo de rendimiento de Monod de biomasa celular base seca con relación al substrato
YT/s = Yp/s + Yx/s	Rendimiento total

Se partió de muestras de caña energética verde limpia, cosechadas manualmente por debajo del canuto superior siete y a ras del suelo según normas técnicas (MINAZ, 2006b); transportadas y procesadas en molinos de laboratorio del Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar, de las empresas azucareras Melanio Hernández y Ramón Ponciano entre 1996 y 2005.

Se colectó no menos de 15 litros de jugos en frascos plásticos PET en cada molida, y se le realizaron los análisis químicos en el laboratorio para determinar su macrocomposición.

Las técnicas analíticas, cálculos y contabilidades azucarera y alcoholera que se emplearon son las mismas normadas y utilizadas por el MINAZ y que comprenden en los análisis principalmente el % Pol, % Sacarosa Real, % Azúcares Reductores Libres y Totales, % Azúcares Fermentables e Infermentables, % Cenizas, pH, Acidez, temperatura y tiempo de fermentación, % alcohol en volumen, g de biomasa base seca/litro, recuento vital en placas Petri; conteo celular, % viabilidad, % gemación, presencia de aglutinación en la levadura y contaminaciones en cámara de Thomas; determinación de velocidad de sedimentación en probetas graduadas de un litro (MACU, 1986; MINAZ, 1995). Para determinar las características clarificativas de los jugos de caña energética con la tecnología azucarera convencional se procedió como sigue:

- Extracción de los jugos en molinos de laboratorio.
- Ajuste del Brix a $14,00 \pm 0,2$ % con agua destilada.
- Alcalización a pH de 6,5; 7,0; 7,5 y 8,0 con lechada de cal industrial.
- Adición de 5 p.p.m. del floculante aniónico utilizados en los centrales azucareros.
- Calentamiento a ebullición durante un minuto.
- Prueba de sedimentación en probeta de cristal graduada de 1 000 ml enchaquetada con circuito cerrado de agua caliente con un termostato a temperatura de $99,5 \pm 0,5$ °C.
- Medición de la velocidad de sedimentación en cm/min.
- Al no clarificar, se redujo escalonadamente el %Brix con agua destilada hasta determinar la concentración a que comenzaba a hacerlo.

Los experimentos de fermentación alcohólica se ejecutaron de la siguiente forma:

- Ajuste de los A.T. a 120 g/L con melaza de caña caracterizada, en dos frascos de cristal de 10 litros conteniendo cada uno cinco litros del substrato para todas las corridas experimentales.
- Ejecución de lo anterior con los jugos directos sin tratamiento térmico alguno.

- Realización de similares ensayos calentando a ebullición durante dos minutos.
- Ensayos con el tratamiento térmico de pasterización al substrato a 70⁰C, 80⁰C, 85⁰C y 90⁰C durante 20 minutos mínimos.
- Se añadió un g/L de urea y se inoculó con 4 g/L de levadura seca activa Nevada fresca en cada corrida.
- Se dio por terminada la fermentación cuando dos mediciones de %Brix ejecutadas a una hora de diferencia, arrojaron los mismos valores con tiempo de fermentación el correspondiente al transcurrido hasta la medición de referencia.

A partir de la información previa experimental obtenida de lo anterior que permitió seleccionar la alternativa de preparación de los jugos para uso inmediato, se realizaron los ensayos con simulación de las condiciones reales de la producción como sigue:

- Similares corridas de fermentación alcohólica añadiendo 30% en peso de agua destilada a los jugos para simular 10% de imbibición en peso de la caña en el tandem.
- Se ejecutaron análogos experimentos con jugos de caña energética atrasada intencionalmente hasta 20 días.
- Realización de nuevas pruebas con jugos mezclados de caña energética obtenidos de la primera molida y preparación industrial real de los mismos, en la empresa azucarera Melanio Hernández.

El procesamiento de los datos se realizó mediante medias estadísticas y la prueba no paramétrica para tamaño muestral pequeño de Mann-Whitney, que se consideraron más apropiadas y sencillas dada las complejidades del mundo biológico.

2.5 Tecnología de preparación de los jugos de caña energética para uso inmediato en la fermentación alcohólica

De acuerdo a todos los resultados anteriores y análisis de los mismos, se realizó la concepción tecnológica de ingeniería de procesos específica para el uso inmediato de los jugos de caña energética en la fermentación alcohólica.

2.6 Conservación de los jugos de caña energética

2.6.1 Necesidad de la conservación

La tecnología específica para uso inmediato de los jugos de caña energética en la fermentación alcohólica es utilizable solamente en centrales con destilerías anexas, la

misma tiene que estar en operaciones y asimilar los jugos de molidas altas de esta gramínea; todo lo cual originó la necesidad de la conservación de dichos jugos.

2.6.2 Requisitos

Lograr factibilidad técnico-económica con validación industrial de la tecnología de preparación para uso inmediato.

2.6.3 Variables de restricciones

De acuerdo a lo analizado en el Capítulo I las variables de restricciones son:

$$\text{Tiempo de almacenamiento} \leq 90 \text{ días}$$

$$\text{Brix} \geq 75\%$$

Como es una mezcla de jugos de caña energética con melaza de caña azucarera requiere el siguiente balance de materiales, para determinar proporciones de cada componente al valor fijado de 75% Brix con su incertidumbre de mediciones, que no tiene en cuenta las contracciones de las melazas al ser diluidas (Olbrich, 1969), por lo que fue y será discretamente mayores en la realidad. En peso el algoritmo es como sigue:

Bxm = % Brix de la Miel Final seleccionada ρm = densidad de la Miel Final en g/ml

Bxj = % Brix de los jugos tratados con calor ρj = densidad del jugo en g/ml

X = Fracción peso de la Miel Final **75** = % Brix de ajuste nominal

Por lo que: $X \cdot Bxm + (1 - X) Bxj = 75$ operando:

$X \cdot Bxm - X \cdot Bxj + Bxj = 75$ extrayendo factor común X y despejando se halla la expresión adimensional:

$$X = (75 - Bxj) / (Bxm - Bxj)$$

Sustituyendo por la densidad ρ en cada término (Honig, 1987), y designando por **W** la fracción peso de la Miel Final se tiene adimensional también:

$$W = (1,37897 - \rho j) / (\rho m - \rho j)$$

Determinando la relación en peso **RP** como se indica, queda fijado en la unidad los jugos, por lo que:

$$RP = W / (1 - W)$$

Para facilitar su ejecución real en los centrales azucareros donde es común trabajar en volúmenes, se ajustaron los cálculos a relaciones de volúmenes **RV** y se obtiene:

$RV = (W / \rho m) / [(1 - W) / \rho j]$ que simplificando se encuentra que:

$$RV = (W \cdot \rho j) / [(1 - W) \cdot \rho m]$$

La Miel Final se fijó en el rango de 85% a 92% Brix y los jugos entre siete por ciento y 75% Brix, aunque en este último caso el valor mínimo del Brix lo definió la operación del tandem.

Para los microorganismos contaminantes permisibles se necesitó ejecutar la estimación de incertidumbre descrita en la literatura (González y otros, 2005), en el estudio de caso de la empresa azucarera Melanio Hernández, lo cual es un aporte metodológico para cualquier destilería del país (Obregón, 2000).

Para estimar la incertidumbre de la variable microbiológica de restricción también descrita en el Capítulo I se procedió como sigue: se tomó la base de datos de decenas de años de la destilería Paraíso donde los conteos de levaduras en propagación industrial tienen una media de $220 \cdot 10^6$ levaduras/cm³, que registra una dilución en volumen de 1/5 al inocularse un fermentador con un prefermentador por lo que este valor se reduce a:

$$220 \cdot 10^6 \text{ levaduras / cm}^3 \cdot 1/5 = 44 \cdot 10^6 \text{ levaduras / cm}^3$$

Por supuesto que esta operación no es instantánea y mucho menos aséptica, además, la levadura sigue reproduciéndose algo más lento al pasar de aerobio a anaerobio.

Se utiliza el valor obtenido y expuesto en el Capítulo I con lo que se obtien:

$$44 \cdot 10^6 \text{ levaduras / cm}^3 \cdot 1 \text{ moc / 200 células de levadura} = 22 \cdot 10^5 \text{ moc / cm}^3$$

que llevado a peso en base a la densidad a 75 % Brix (Honig, 1987) se determinó:

$$(22 \cdot 10^5 \text{ moc / cm}^3) / (1,378971 \text{ g/cm}^3) = 159\,539 \text{ moc / g}$$

Este valor redondeado a 160 000 moc/g por la propia incertidumbre de las mediciones y para facilitar rápida interpretación, es el valor superior de la estimación de incertidumbre de carga contaminante a 75 %Brix, si se incrementa origina diferentes niveles de riesgos con las contaminaciones imputable al substrato como tal, que pueden afectar la fermentación alcohólica, por lo que representa otra variable de restricción para los moc en la conservación de los jugos de caña energética.

2.6.4 Procedimiento para los ensayos

Los experimentos se realizaron como sigue:

- Alcance de las variables de restricciones determinadas mediante mediciones y cálculos.
- Adición de 30% en peso de agua destilada a los jugos de caña energética obtenidos en el molino del laboratorio, para simular la imbibición en el tándem.

- Aplicación de la pasterización a 80⁰C - 90⁰C durante 20 minutos que se determinó experimental y preliminarmente para alcanzar el Requisito.
- Se mezclaron calientes los jugos con melaza de caña caracterizada para 75% Brix nominal y se vertieron 20 kg en un tanque plástico colocándose a la intemperie.
- Otros 20 kg de testigo con la misma melaza empleada para la mezcla anterior diluida a igual concentración con agua destilada esterilizada, colocándolos en otro tanque plástico al lado del de la mezcla a las mismas condiciones de intemperismo.
- Caracterización de todas las variables descritas en la simbología de ambos recipientes, iniciales y cada 10 días hasta completar 150 días de ensayos.
- Se realizaron dos corridas con jugos obtenidos de molinos de laboratorio.
- Otra corrida se ejecutó con jugos mezclados de caña energética extraídos y pasterizados industrialmente, en el central azucarero Melanio Hernández, con las dos cepas de levadura que mostraron mejor comportamiento cuando se evaluaron y la seca activa Nevada, o sea, tres cepas en total lo que más adelante se detalla.
- Los ensayos de fermentación alcohólica se realizaron de igual forma a la descrita antes.
- Se procesaron los datos obtenidos con las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney complementadas con gráficos.

2.7 Evaluaciones de diferentes cepas de levadura

Los jugos de caña energética para uso inmediato obtenidos en molino de laboratorio se emplearon como componente del substrato para evaluar las siguientes cepas de levadura Saccharomyces cerevisiae:

- NRLL s/n , la específica de la destilería Paraíso desde 1959.

Cuatro cepas certificadas y recomendadas por el ICIDCA del tipo Hansen con los códigos:

- C/25-7-11; C/25-7-13; C/25-7-17 y C/25-7-18.

Las principales variables respuesta como criterio de selección fueron μ_e , μ_b , $Y_{p/s}$, $Y_{x/s}$ y $Y_{t/s}$.

Los datos obtenidos se procesaron con las pruebas no paramétricas de Kruskal- Wallis seguida de la Mann-Whitney dos a dos.

Por su parte, las dos cepas que registraron mejor comportamiento se seleccionaron para evaluar jugos de caña energética para uso inmediato también extraídos y pasterizados en el central azucarero Melanio Hernández.

Las mismas dos cepas anteriores más la seca activa Nevada, fueron evaluadas con el substrato jugos de caña energética industriales conservados de la misma forma descrita en el epígrafe 2.5.3. El procesamiento de los datos fue mediante las pruebas no paramétricas de Kruskal- Wallis seguida de la Mann-Whitney dos a dos complementadas con gráficos.

2.7.1 Variables de restricciones

Se condicionó a que las cepas a seleccionar debían cumplir lo siguiente:

$$\mu_e \text{ nuevo substrato} \geq \mu_e \text{ substrato testigo de melaza de caña}$$

$$Y_{p/s} \text{ nuevo substrato} \geq Y_{p/s} \text{ substrato testigo de melaza de caña}$$

En Cuba se norma de 3 g/L a 8 g/L de biomasa de levadura base seca y ciclos de fermentación de 18 horas a 24 horas (MINAZ, 1983), por lo que se hizo necesario estimar la incertidumbre de restricciones de los valores de las μ_b media de naturaleza científica fundamentada fenomenológicamente, para 24 y 18 horas respectivamente, como variable de restricción que se realizó de la siguiente forma::

$$\text{Valor inferior: } 3 \text{ g/L} \cdot 1/24 \text{ h} = \mathbf{0,125 \text{ g/L.h}}$$

$$\text{Valor superior: } 8 \text{ g/L} \cdot 1/18 \text{ h} = \mathbf{0,444 \text{ g/L. h}}$$

Para el estudio de caso de la destilería Paraíso, su sistema de destilación representado en el **Anexo 4**, tiene una capacidad instalada de 700 HI a 100⁰ G.L./día sin incluir Columna de Aguardiente, por su parte, la Sala de Fermentación solo alcanza abastecer substrato fermentado para 600 HI a 100⁰ G.L./día con una eficiencia en destilación de 96%, lo que representa su Norma Potencial actual. Se halló la producción/hora (h) como sigue:

$$600 \text{ HI a } 100^0 \text{ G.L./día} \cdot 1 \text{ día}/24 \text{ h} = 25 \text{ HI a } 100^0 \text{ G.L./h}$$

Se calculó lo que debe entrar a destilación con el substrato fermentado:

$$25 \text{ HI a } 100^0 \text{ G.L./h} \cdot 100/96 = 26,04 \text{ HI a } 100^0 \text{ G.L./h} = 2,604 \text{ m}^3 \text{ a } 100^0 \text{ G.L./h}$$

Como no tiene Sistema de Enfriamiento en fermentación opera a concentraciones de 110 g/L de azúcares totales o menores según la temperatura del proceso, lo cual ha sido corroborado correcto en otra destilería empleando jugos de los filtros y molinos mas Miel Final (MINAZ, 2005), por lo que se aplicó el método científico empírico

observacional a los resultados de las mediciones fabriles que registran de decenas de años, se obtuvo que la duración promedio de los ciclos de fermentación son de 20 a 24 horas de 36 °C hacia arriba, con un caudal máximo de 58 m³/h de alimentación a la Columna Destiladora. Este flujo es el punto de equilibrio insumiendo la norma de melaza, a partir del cual si aumentan originan pérdidas económicas debido al incremento del índice de consumo de vapor motivado por los bajos porcentajes alcohólicos en el substrato fermentado.

Se calculó el valor de esta variable de restricción de forma redondeada por la incertidumbre propia de las mediciones, y se obtuvo para la referida planta:

$$\% \text{ alcohol v/v mínimo} = 2,604 \text{ m}^3 \text{ a } 100^0 \text{ G.L./h} \cdot 1/(58 \text{ m}^3/\text{h}) \cdot 100 = 4,5 \%$$

Se halló el valor inferior de la variable fenomenológica μ_e mediante el siguiente cálculo:

$$\mu_e \text{ mínima} = 4,5\% \cdot 1/24 \text{ h} = \mathbf{0,188 \% h^{-1}}$$

Este resultado completó las variables de restricciones para seleccionar cepas de levadura a recomendar en la destilería Paraíso, cuya metódica es otro aporte.

2.8 Evaluaciones industriales procesando solo caña energética

2.8.1 Caracterización de las evaluaciones industriales con enfoque de proceso.

Dado el alcance y las complejidades de este aspecto se fundamentó científicamente la estrategia a seguir con enfoque de proceso (Alonso y otros, 2003), y se determinó tres funciones básicas: la agricultura cañera, el central azucarero Melanio Hernández y la destilería Paraíso todos pertenecientes a la misma empresa azucarera.

La función agricultura cañera produce y suministra la caña energética, realizó la recepción de las nuevas vinazas refrescadas con no más de cinco días de originadas, caracterizadas y diagnosticadas aptas que mezcló 1:5 con agua de riego y se aplicó a lotes de caña azucarera identificados tal y como establece la metodología existente, teniendo otros lotes de testigo los cuales se previó cosechar y comparar nunca antes de los 12 meses.

La función central azucarero ejecutó y ejecuta la extracción en el Área de tándem y en el Área de Purificación la pasterización con HTHT, filtración y bombeo para la destilería; todo regulado por la nueva tecnología patentada.

A la función destilería correspondió recepción, almacenamiento por no más de 14 horas ni a menos de 55⁰C, enfriamiento solo inmediatamente antes de empleo, alimentación a

los disolutores estáticos por una conexión realizada a la línea de agua que se sustituyó completamente por estos jugos, ajuste de los azúcares totales a 110 g de A.T. /L mediante mezclado con Miel Final de caña azucarera, toda vez que no existe enfriamiento en fermentación.

2.8.2 Creación de las condiciones iniciales.

Este importantísimo aspecto tuvo al hombre en el centro de las evaluaciones, siendo en el central azucarero los operarios y auxiliares de las Áreas de Extracción , Purificación y Laboratorio; incluyó a todo el personal calificado de nivel medio y superior con responsabilidades y funciones en ella; previamente seminariados a las nuevas condiciones de operaciones y controles, y en la destilería Paraíso a los participantes directos e indirectos desde la limpieza y desinfección de las tuberías, recepción y almacenamiento de los jugos, enfriamiento inmediatamente antes de emplearlos y alimentación a los disolutores por la línea de agua que se sustituye totalmente por los jugos de caña energética pasteurizados y enfriados. En lo adelante fueron ejecutadas las operaciones normalmente como se realiza en esta planta.

2.8.3 Caracterizaciones en el central azucarero del empleo de agua de imbibición y lavado en los molinos, tiempo real necesario de pasterización y fermentativa alcohólica de los jugos de caña energética industriales

- Ejecutadas en la empresa azucarera Melanio Hernández.
- En el central azucarero se aplicó 10% en peso de la caña energética como agua de imbibición en la planta moledora, y se midieron los incrementos que registraron cuando fueron lavados los molinos. Se realizaron comparaciones entre molidas de diferentes años y procesaron estadísticamente por la prueba de Mann-Whitney complementada con gráficos.
- Se planificó compilar todos los datos de las molidas reales de caña energética en la planta moledora, desde 2002 hasta 2005 con mediciones del %Brix y % A.F. de sus jugos, para modelar estadísticamente y obtener del primero el pronóstico formal del segundo.
- Se hallaron las medias estadísticas, se construyó la curva y se obtuvo la ecuación de tendencia de la línea, de once grupos de mediciones de moc/g a los 20, 30, 40, 50 y 60 minutos de pasterización de los jugos colectados a la entrada del clarificados del central azucarero, y mantenidos en baño termostataado a $85 \pm 1^{\circ}\text{C}$; con recuento vital en placa Petri por triplicado con el medio de cultivo Mc Cleskey-Faville empleado en la

microbiología azucarera en Cuba (Hernández y otros, 1971); para determinar el tiempo real necesario de este tratamiento térmico en condiciones concretas industriales.

2.8.4 Validación de la tecnología para uso inmediato de los jugos de caña energética en la fermentación alcohólica

2.8.4.1 Caracterización de la integración material central-destilería

Para ejecutar la validación hubo que caracterizar las condiciones concretas reales en que se realizaría en el escenario de la producción, lo cual se analizó con profundidad e implicó realizar los cálculos siguientes al efecto:

Potencialmente el central azucarero Melanio Hernández muele 4 600 t/día de caña azucarera pero como la energética le aporta el doble de bagazo, el régimen de molienda se ejecutó a la mitad 2300 t /día ya que le origina el mismo bagazo que la azucarera en 24 horas. Lo realizó por 12 horas/día durante cinco consecutivos, ya que el propósito fue simultanear la prueba del tándem entre otros antes de iniciar la zafra, acumular bagazo como biomasa combustible y realizar la evaluación industrial con los jugos. Por lo expuesto y por los cálculos correspondientes se determinó:

$$2\ 300\ \text{t/día} \cdot 12/24 \cdot 55/100 = 632,5\ \text{t/d}$$

Se asumió ocho por ciento Brix en los jugos de caña energética industriales pasterizados y se llevó a volumen como sigue, a partir de su densidad hallada en tablas (Honig, 1987).

$$(632,5\ \text{t/día} \cdot 1/(1,0299\ \text{t/ m}^3)) = 614,1\ \text{m}^3/\text{día}$$

Se suplementó con ocho por ciento Brix más con melaza de caña azucarera de 85 % Brix para completar azúcares y un 16 % Brix nominal de corrida en fermentación alcohólica, y se obtuvo:

$632,5 \cdot 8/100 + 85/100 \cdot X = (632,5 + X) (16/100)$, resolviendo $X = 73,3\ \text{t/día}$ se dividió entre su densidad :

$$73,3\ \text{t/día} \cdot 1/(1,4454\ \text{t/ m}^3) = 51,7\ \text{m}^3/\text{día}$$

$$\text{Volumen total} = 614,1 + 51,7 = 665,8\ \text{m}^3/\text{día}$$

Este valor representó aproximadamente el 53,3 % de la necesidad de $\text{m}^3/\text{día}$ de substrato para la destilería Paraíso, por lo que inevitablemente hubo simultáneamente fermentadores con los substratos Mezcla Jugos + Miel y Miel Final sola, lo que favoreció la representatividad de las evaluaciones bajo las mismas condiciones reales, toda vez que operacionalmente en los disolutores de melaza se cerró totalmente la entrada de agua de dilución y se abrió la de jugos de caña energética enfriados, y se

redujo la entrada de melaza para ajustar la concentración al mismo %Brix de corrida de la fermentación alcohólica industrial

2.8.4.2 Procedimiento para la ejecución de la validación fermentativa y de mitigación ambiental preliminar de la nueva tecnología

Se ejecutaron las inversiones capitalizables proyectadas (IPROYAZ, 2002b), y se procedió como sigue:

- No se creó condiciones particulares o especiales en ninguna de las etapas del proceso de extracción y pasterización de los jugos en el central azucarero, ni el productivo del bioetanol y subproductos asociados en la destilería.
- Se emplearon única y exclusivamente en la fermentación, los jugos de caña energética pasterizados que procedían del central azucarero.
- Se seleccionó la cepa de levadura NRRL s/n de la destilería Paraíso que no tiene sistema de enfriamiento en la fermentación, de acuerdo a los resultados de las evaluaciones de cepas.
- Fueron caracterizados los prefermentados y los fermentadores de acuerdo al Esquema Control normal de la destilería Paraíso, y se compararon las principales variables de los primeros utilizados para inocular fermentadores que contenían jugos de caña energética como componente del substrato con los que emplearon melaza sola; así como, similar proceder con los fermentadores. Los datos obtenidos se procesaron con la prueba estadística no paramétrica de Mann-Whitney complementada con gráfico cuando se requirió para mejor comprensión, y en el caso de los fermentadores se modelaron estadísticamente la μ_e y los modelos de rendimiento de Monod por el método que más adelante se detalla.
- Se caracterizaron los subproductos asociados dióxido de carbono y crema de levadura en fermentación, y todos los surtidos de las producciones primarias principales en destilación como normalmente se ejecuta en la destilería, se compararon las medias estadísticas.
- Se caracterizaron y compararon las vinazas entre los substratos con las restricciones de que del fermentador que terminó objeto de evaluación de su residual de la destilación, ocupara no menos del 85% del volumen del tanque balance de alimentación a la columna destiladora; y tomar la muestra entre las dos horas y tres horas de iniciarse la destilación para garantizar que todo el sistema de esta operación unitaria estuviera llenado con ese substrato fermentado. Los análisis químicos e instrumentales se

realizaron en los laboratorios de la destilería y del Grupo de Hidrología y Calidad del Agua del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos en Sancti Spíritus de las siguientes variables: %Brix, % Reductores Residuales, pH, Conductividad Eléctrica y Demanda Química de Oxígeno por el método del dicromato. Los datos obtenidos se procesaron con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney comparando las vinazas originadas con ambos tipos de substratos.

- Certificadas aptas para fertirriego las vinazas procedentes de la fermentación de jugos de caña energética, se aplicaron diluidas 1:5 de acuerdo a la metodología (MINAZ, 1999), a lotes de caña de azúcar teniendo otros de testigo con agua y fertilizantes químicos. Se evaluó preliminar y comparativamente la respuesta, al cosecharse ambos grupos de lotes cañeros al cabo de 12 meses a 13 meses.

2.8.5 Modelación estadística

Se concibió modelación estadística con la mayor sencillez y rigurosidad científica alcanzable mediante modelos MELI de dos variables e intercepto en el origen.

Los modelos propuestos fueron como sigue:

Para la caracterización fermentativa alcohólica de los jugos de caña energética:

$$\% \text{ A.F.} = \beta \cdot \% \text{ Brix Jugo Mezclado}$$

Para la evaluación comparativa como componente de substrato para la fermentación alcohólica:

$$Y_{\text{Substrato nuevo}} = \beta \cdot X_{\text{Substrato testigo melaza de caña}}$$

Se seleccionó Regresión y Correlación lineal simple por el método de Prais-Winsten que tiene en cuenta la autocorrelación en los residuos, que se contrastaron con el estadígrafo d de Durbin-Watson con las siguientes hipótesis y toma de decisiones (Gujarati, 2005):

Tabla 2.1 Hipótesis

Hipótesis nula	Decisión	Si
No existe correlación positiva	Rechazar	$0 < d < d_L$
No existe correlación positiva	No hay decisión	$d_L \leq d \leq d_U$
No existe correlación negativa	Rechazar	$4 - d_L < d < 4$
No existe correlación negativa	No hay decisión	$4 - d_U \leq d \leq 4 - d_L$
No existe ninguna de las dos correlaciones	No Rechazar	$d_U < d < 4 - d_U$

También se fijó que el Error Estandar Medio (Standard Error) fuera $< 0,1$ para validar el ajuste cada modelo. Esta modelación y los procesamientos estadísticos se realizaron con el paquete de programas SPSS versión 11.5.

2.8.6 Rendimiento en L de etanol a 100⁰ G.L/t de caña energética

Se realizaron los balances de materiales con las restricciones de 55% de extracción en los molinos y 77% de eficiencia de conversión de A.F. en etanol, ajustado a las realidades objetivas de la producción de la empresa azucarera Melanio Hernández, para la tecnología de uso inmediato de los jugos de la nueva gramínea, así como, determinar los L etanol/t caña energética cosechada integralmente fuera del período zafra y compararlos con el rendimiento alcohólico de los jugos de caña azucarera y de sus melazas.

2.8.7 Puntos de equilibrio en la integración central-destilería

Antes de 2009 la destilería Paraíso no tendrá sistema de enfriamiento en fermentación, por lo que se realizó la caracterización de la misma a una concentración media de 110 g de A.T. / L, lo cual equivale en A.F. con melazas dentro de las especificaciones de calidad a lo siguiente:

$$110 \text{ g de A.T./L} \cdot (48,2 \% \text{ A.F./} 52,0 \% \text{ A.T.}) = 102 \text{ g de A.F./L}$$

De acuerdo a los resultados concretos del procesamiento industrial de caña energética en la empresa azucarera Melanio Hernández, se determinaron los puntos de equilibrio en la integración material de ambas fábricas para el uso inmediato de los nuevos jugos. Conllevó similarmente balances de materiales con este nuevo componente de substrato adicional no convencional fuera del período zafra, tanto para las capacidades de molidas y de producción de alcohol actuales, como las futuras a corto plazo con la ejecución de las inversiones en proceso de acuerdo al programa nacional del MINAZ denominado EUROALKOHOL (IPROYAZ, 2004; MINAZ, 2006a).

2.9 Bases para la formación del costo de los jugos de caña energética.

La formación del costo de los jugos de caña energética no puede hacerse homologándolos linealmente a los de la caña azucarera, fundamentado en que estas últimas es para producir azúcar como alimento y la energética es como biomasa combustible, es decir, dos objetivos principales diferentes. Por otra parte, los jugos de caña azucarera manifiestan totalmente fermentables los azúcares reductores totales (Estévez, 2006), mientras que los de caña energética no (Obregón, 2006b).

Las bases fueron las modificaciones introducidas a los costos de los jugos de caña azucarera diluidos en 2007 para una destilería de 300 000 L/día, cinco veces la capacidad actual de la destilería Paraíso, que se tomó de referencia a los efectos de simular como se comportarían los costos de los jugos de caña energética con destino al bioetanol, a partir de todos los datos concretos obtenidos en la empresa azucarera Melanio Hernández, única del país hasta el momento que tiene industrializada el procesamiento de estas nuevas variedades de caña.

En la Tabla 2.2 se compila las partidas de conformación de los costos elaboradas por el MINAZ (MINAZ, 2006b; González, 2007).

Tabla 2.2 Ficha de costo para jugos de caña azucarera diluidos con destino al bioetanol

VARIABLES PARA CALCULAR EL COSTO DEL JUGO DILUIDO.

Variables	um	Años de Proyección			
		2009	2010	2011	2012
Capacidad de producción	hl/d	3000	3000	3000	3000
Aprovechamiento de la capacidad	%	80	85	90	90
Insumo de jugo por hl de alcohol (12% ART)	t/hl	1,501	1,501	1,501	1,501
Nivel de producción estimado en zafra	hl	245026	297908	331522	351000
Producción diaria estimada	hl/d	2400	2550	2700	2700
Caña estimada total a moler	t	563560	685189	762500	807300
Caña estimada para producción de alcohol	t	277219	337049	375079	397116
Caña estimada para producción de azúcar	t	286341	348140	387421	410184
Jugo a insumir en la producción de alcohol	t	329894	401092	446348	472573
%ART destinado a la Destilería	%	49,19	49,19	49,19	49,19
%Bagazo en caña para Destilería	%	15,69	15,69	15,69	15,69
Bagazo para la Destilería	t	43485	52870	58835	62292
Valor del bagazo	pesos	321787	391235	435379	460959
Días de Zafra	d	102,1	116,8	122,8	130,0

CONFORMACION DEL COSTO DEL JUGO A DESTILERIA

Gastos comunes	um	2009	2010	2011	2012
Caña	MP	28685,204	34876,104	38811,25	41091,57
Planta Moledora	MP	620,25	620,3	622,35	622,5
Transporte ferroviario	MP	1220,355	1110,5	1115,268	1120,35
Centros de recepción	MP	515,35	518,256	518,2	518,25
Extratiros	MP	265,5	270,25	270,3	270,3
Purificación	MP	98,55	98,3	98,35	98,35
TOTAL GASTOS COMUNES	MP	31405,21	37493,71	41435,72	43721,32
Costo bruto	MP	15448,44	18443,41	20382,51	21506,81
Deducción	MP	0	0	0	0
Costo total	MP	15448,44	18443,41	20382,51	21506,81
Jugo diluido 12% ART	t	329894	401092	446348	472573
Costo tonelada de jugo sin deducciones	p/t	46,828	45,983	45,665	45,510
Costo tonelada de jugo con deducciones	p/t	28,097	27,590	27,399	27,306
Costo de Caña en Divisa	CUC	2863672	3481717	3874565	4102212
Costo de Jugo en Divisa	CUC	8,681	8,681	8,681	8,681
Gastos comunes en Divisa	CUC	1,870	1,870	1,870	1,870
Costo de la tonelada de jugo	CUC/t	10,550	10,550	10,550	10,550

A la ficha anterior se le redujo por el MINAZ el 40% del costo total por conceptos de mejoras en la eficiencia del proceso tecnológico, en la calidad del azúcar producida y en menor consumo de vapor. Por otro lado el 49,19% del peso de la caña son los jugos diluidos para producir alcohol.

Las bases anteriores no se ajustan exactamente para la caña energética que como biomasa combustible se determinó que como promedio el 65% es bagazo y el 35% jugos, se transporta 1,4 veces menos peso cosechada integralmente comparada con la azucarera limpia, no se emplean ventiladores en los centros de recepción ni en las combinadas cañeras modificadas con 2,3 t de menor peso (Romero, 2005), siendo el costo elaborado por el Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar del MINAZ para caña energética cosechada integralmente con paja, cogollos y hojas de \$ 17,36 CUP/t, y mantiene el mismo costo en CUC que la caña azucarera pues se utiliza la misma tecnología agrícola cañera (Vera, 2007).

El resto de los gastos comunes son iguales, por lo que la formación del costo de los jugos de caña energética se previó hacerlo a estas nuevas realidades nacionales.

Se señala que a los agricultores de caña energética les resulta beneficioso cultivar esta gramínea al mantener los precios de venta en CUC como se indicó, al central azucarero Melanio Hernández le reporta utilidades de significación atendido a que es más de dos veces de menor costo que la leña de las empresas forestales (Rodríguez, 2006).

CONCLUSIONES PARCIALES

1.- Se precisaron los materiales y métodos que permitieron completar la caracterización de los jugos de caña energética como componente de substrato industrial para la fermentación alcohólica comparados con los de caña azucarera y sus melazas.

2.- El Diagrama Heurístico concebido, es una herramienta de trabajo que compila para nuevos substratos objeto de investigaciones, toda la secuencia lógica desde su caracterización hasta la incidencia social, económica y ambiental.

3.- Fue necesario estimar las incertidumbres de las variables de restricciones para los siguientes grupos de experimentos:

- Conservación de jugos de caña energética: 160 000 moc/g máximo a 75 %Brix mínimo.
- Evaluación de cepas de levadura: de 0,125 g/L.h a 0,444 g/L.h de concentración de biomasa base seca de levadura para la tecnología de fermentación alcohólica en Cuba.
- Velocidad media de formación de bioetanol en la destilería Paraíso: 0,188 % h⁻¹ mínimo.

4.- Se precisó para las evaluaciones industriales obtener el %A.F. a partir del %Brix de los jugos de caña energética, así como, las variables de fermentación alcohólica de velocidad promedio de formación de bioetanol y los modelos de rendimientos de Monod; comparando el nuevo substrato con la tradicional melaza de caña, con modelos estadísticos MELI mediante regresión y correlación lineal por el método de Prais-Winsten, contrastación de los residuos con el estadígrafo de Durbin-Wayson, y se fijó como validación de ajuste de cada modelo un Error Estandar Medio menor a 0,1.

5.- Se actualizó las bases formación del costo de los jugos diluidos de caña azucarera para la fermentación alcohólica, empleada para la simulación de los costos de los jugos de caña energética como componente de substrato para la fermentación alcohólica en las destilerías cubanas, ajustados a estas nuevas realidades nacionales.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Principales características distintivas de los jugos de caña energética.

Las Tablas 3.1 a 3.6 compilan las medias estadísticas de la caracterización de los jugos de caña energética extraídos en molinos de laboratorio, de las variedades C-90 176 y C-90 178 de 1996 a 2002.

Tabla 3.1.- Caracterización de 11 muestras de jugos de caña energéticas con uno a seis días de cortadas en los meses de mayo, junio y noviembre

% Brix	% Pol	% Pureza Azucarera	% Reductores Libre	% Azúcares Totales	pH	% Bagazo
14,89	9,65	64,81	2,35	12,00	4,94	72,62

Tabla 3.2.- Caracterización de 21 muestras de jugos de caña energética hasta con 20 días de cortadas en los meses de mayo, junio y noviembre

Días de cortadas	% Brix	% Pol	% Pureza Azucarera	% Reductores Libre	% Azúcares Totales	pH	% Bagazo
2 a 9	15,69	8,82	56,21	2,69	11,51	4,30	70,25
10 a 15	16,96	7,00	41,27	3,95	10,95	4,73	75,87
16 a 20	16,48	6,74	40,90	4,07	10,81	4,08	76,15

Tabla 3.3.- Caracterización de 21 muestras de jugos de caña energéticas hasta con 20 días de cortadas en los meses de mayo, julio, noviembre y diciembre

Días de cortadas	% Brix	% Pol	% Pureza Azucarera	% Reductores Libre	%Azúcares Totales (A.T.)	pH	% Azúcares In fermentables (I)	I/A.T.
5 a 9	15,17	8,37	55,17	2,49	10,86	4,50	1,25	0,115
10 a 15	16,59	7,05	42,50	3,47	10,52	4,40	1,20	0,114
16 a 20	16,51	6,29	38,10	3,25	10,40	4,25	1,18	0,113

Tabla 3.4.- Caracterización de 21 muestras de jugos de caña energéticas hasta con 20 días de cortadas en los meses de julio, agosto y noviembre

Días de cortadas	% Brix	% Pol	% Pureza Azucarera	% Reductores Libre	%Azúcares Totales (A.T.)	pH	% Azúcares In fermentables (I)	I/A.T.
5 a 9	14,50	6,00	41,38	2,95	8,95	4,65	1,20	0,134
10 a 15	15,20	5,50	36,18	3,25	8,75	4,50	1,18	0,135
16 a 20	15,30	5,05	33,00	3,25	8,30	4,35	1,12	0,135

Tabla 3.5.- Caracterización de 21 muestras de jugos de caña energéticas hasta con 20 días de cortadas en los meses de mayo, julio y noviembre

Días de cortadas	% Brix	% P o l	% Pureza Azucarera	% Reductores Libre	%Azúcares Totales (A.T.)	p H	% Azúcares Infermentables (I)	I/A.T.
5 a 9	15,80	8,49	53,73	2,59	11,08	4,35	1,24	0,112
10 a15	16,90	7,00	41,42	3,68	10,68	4,20	1,20	0,112
16 a 20	16,58	6,45	38,90	4,11	10,56	4,15	1,18	0,112

Tabla 3.6.- Caracterización de 21 muestras de jugos de caña energéticas hasta con 20 días de cortadas en los meses de mayo, junio, octubre y diciembre

Días de cortadas	% Brix	% P o l	% Pureza Azucarera	% Reductores Libre	%Azúcares Totales (A.T.)	p H	% Azúcares Infermentables (I)	I/A.T.
5 a 9	15,81	8,48	53,64	2,59	11,07	4,30	1,32	0,119
10 a15	16,89	6,99	41,84	3,68	10,67	4,20	1,25	0,117
16 a 20	16,58	6,44	38,90	4,15	10,59	4,10	1,23	0,117

Los resultados mostrados en las Tabla 3.1 a 3.6 permitieron precisar lo siguiente como substrato para la fermentación alcohólica:

- Los jugos de caña energética hasta nueve días de cortadas mostraron pH entre 4,30 y 4,94 muy diferentes al 5,20 a 5,80 normado para los jugos de caña azucarera, y 5,40 a 6,00 para las melazas procedentes de esta última.
- Dichos jugos registraron azúcares infermentables naturales, que se atribuye a que al contener el doble de bagazo contiene similar proporción de hemicelulosa en las membranas celulares de la planta, y esta última se forma a partir de pentosas entre otros azúcares como mecanismo normal de la fotosíntesis. Los jugos de caña azucarera no registran azúcares infermentables naturales, lo cual es otra diferencia entre ambos grupos varietales.
- La relación I/A.T. de los jugos de caña energética hasta nueve días de cortadas registraron valores entre 0,112 y 0,134, o sea, muy superior al 0,073 máximo normado para melaza de caña azucarera con destino a la fermentación alcohólica. Los jugos de caña azucarera no manifiestan azúcares infermentables naturales.

Con relación a las propiedades clarificativas con la tecnología azucarera actual en Cuba, la Tabla 3.7 resume los resultados del grupo de experimentos ejecutados al respecto con tiempo de 20 minutos.

Tabal 3.7.- Caracterización de seis muestras ensayadas para la clarificación mediante cal-calor

% Brix	Velocidad de sedimentación en cm/min, alcalización con lechada de cal industrial y cinco partes por millón de floculante aniónico			
	pH= 6,5	pH= 7,0	pH= 7,5	pH= 8,00
14,00	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan
12,00	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan
10,00	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan
8,00	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan
6,00	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan
5,00	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan	No sedimentan
4,50	0,4	0,5	0,5	0,6
4,00	0,8	0,8	0,9	1,2

El máximo de cachaza formada fue de 0,3 %caña en peso a pH= 8,0 y 4,00 %Brix

Lo anterior demostró experimentalmente que la clarificación cal-calor no es aplicable a los jugos de caña energética de las variedades antes indicadas cosechadas entre mayo y diciembre, distintos a los jugos de caña azucarera en zafra que se le norma 1,5 cm/min mínimo a 14,00 %Brix sin floculante aniónico.

A continuación las tablas 3.8 a 3.10 brindan los resultados de los experimentos de evaluación de los jugos de caña energética como componente principal del substrato en la fermentación alcohólica, con choque térmico a ebullición durante un minuto, sin tratamiento térmico alguno y atraso hasta 20 días de cortadas.

Tabla 3.8.- Resultados de los ensayos de fermentación alcohólica de los jugos de caña energética correspondiente a la Tabla 3.6

Variable	De 5 a 9 días			De 10 a 15 días			De 16 a 20 días		
	Miel	Jugo	Jugo con choque	Miel	Jugo	Jugo con choque	Miel	Jugo	Jugo con choque
Tiempo ferm. h	17,500	18,333	19,500	17,666	19,200	20,500	17,500	19,400	20,500
Acidez g H Ac/l	0,87	1,89	1,00	0,90	1,78	1,09	0,88	2,00	1,00
μ_e	0,345	0,365	0,263	0,348	0,350	0,230	0,349	0,347	0,195
μ_b	0,255	0,287	0,200	0,300	0,170	0,110	0,260	0,160	0,103
$Y_p/s.100$	78,35	86,59	66,41	79,55	86,95	60,12	79,03	87,10	51,72
$Y_x/s.100$	9,85	4,98	7,69	9,35	3,38	4,98	9,88	6,04	7,53
$Y_T/s.100$	88,20	91,57	74,10	88,90	90,33	65,10	88,00	93,14	59,25
Temp. °C	30	30	30	30	30	31	30	30	30
Formación de espuma	Normal	Muy alta	Normal	Normal	Muy alta	Normal	Normal	Alta	Normal

Características de la Miel Final empleada para completar los g/l de A.T.

Origen: Central Melanio Hernández

% Brix = 88,23 % Sacarrosa = 37,80 % Reductores Libre = 16,27
 % Azúcares Totales = 54,07 % Azúcares Infermentables = 3,61 pH = 5,65

Tabla 3.9.- Resultados de los ensayos de fermentación alcohólica de nueve muestras de jugos de caña energética sin tratamiento térmico

Variable	Miel Final	Jugos de caña energética
Tiempo de fermentación, h	15,333	16,000
Acidez, g H Ac/l	0,78	3,03
μ_e	0,397	0,433
μ_b	0,351	0,245
$Y_{p/s} \cdot 100$	78,77	89,05
$Y_{x/s} \cdot 100$	8,97	5,23
$Y_{T/s} \cdot 100$	87,74	94,28
Temperatura promedio $^{\circ}$ C	27,5	27,8
Formacion de espuma	Normal	Muy alta
DQO de la vinaza, mg/l	58200	28500

Tabla 3.10.- Medias estadísticas de los ensayos de fermentación alcohólica de siete muestras de jugos de caña energética sin tratamiento térmico

Variable	Miel Final	Jugos de caña energética
Tiempo de fermentación, h	16,500	17,000
Acidez, g H Ac/l	0,850	3,210
μ_e	0,370	0,395
μ_b	0,235	0,205
$Y_{p/s} \cdot 100$	79,00	86,89
$Y_{x/s} \cdot 100$	6,46	5,81
$Y_{T/s} \cdot 100$	85,46	92,70
Temperatura promedio $^{\circ}$ C	29,4	29,2
Formacion de espuma	Normal	Muy alta
DQO de la vinaza, mg/l	48600	28100

Profundamente analizadas desde la óptica de la fermentación alcohólica las Tablas 3.8 a la 3.10 evidenciaron experimental lo que se expone:

- El choque térmico a ebullición mostrado en la Tabla 3.8 originaron en los jugos reacciones químicas con formación de inhibidores a la fermentación alcohólica, constatables en las afectaciones a las variables μ_e , μ_b , $Y_{p/s}$, $Y_{x/s}$ y $Y_{T/s}$; aunque controló el exceso de espumación asociada a la desnaturalización térmica de las proteínas. Estas reacciones químicas se vinculan al tipo de la familia del furfural, debido al mayor contenido de pentosas, pentosanas y hemicelulosa; el calor y el medio ácido natural de dichos jugos.

- Fermentados sin tratamiento térmico alguno en las tres tablas se registraron una evolución excesiva de la Acidez, debido a que la microbiótica epífita de la caña estuvo intacta y por ende con actividad vital libre; así como, también exceso de espumación al estar también sin cambios las proteínas naturales de los jugos que actúan de estabilizadoras de esta.
- Por todo lo anterior se precisó, que ni el choque térmico a ebullición ni la fermentación directa de los jugos de caña energética son utilizables para su empleo en la fermentación alcohólica.

Por otra parte, las Tablas 3.11 a 3.14 ilustran los resultados experimentales de la pasterización durante 20 minutos a 70⁰C, 80⁰C, 85⁰C y 90⁰C; así como, contrastación sin tratamiento térmico alguno y choque térmico a ebullición

Tabla 3.11.- Caracterización de nueve muestras de la efectividad de las pasterizaciones LTHT y HTHT durante 20 minutos

Medio de cultivo: Extracto-malta-agar, incubacion 48 h a 35⁰ C.

Muestra	% Brix	LTHT a 70 ⁰ C, ufc/g . 10 ⁴			HTHT a 80 ⁰ C, ufc/g . 10 ⁴			HTHT a 90 ⁰ C, ufc/g . 10 ⁴		
		Inicial	Final	% Efect.	Inicial	Final	% Efect.	Inicial	Final	% Efect.
Mayo 10	16,45	9,35	1,85	80,21	9,25	1,15	87,56	8,95	0,09	98,99
Mayo 20	16,32	8,92	1,80	79,82	9,30	1,10	88,17	8,85	0,09	98,98
Junio 5	15,78	7,25	1,75	75,86	8,00	1,05	86,88	8,05	0,08	99,00
Junio 16	15,40	7,65	1,95	74,51	8,10	0,95	88,27	7,70	0,06	99,22
Julio 15	15,05	6,95	2,00	71,22	7,25	0,80	88,96	7,25	0,06	99,17
Set. 15	13,40	9,15	1,85	79,78	8,65	0,90	89,60	8,45	0,09	98,93
Set. 30	13,20	8,65	1,75	79,77	8,85	0,95	89,27	9,00	0,12	98,66
Media Estadística	15,09	8,27	1,85	77,63	8,49	0,99	88,86	8,32	0,08	98,99

Tabla 3.12.- Caracterización de la fermentación alcohólica de ocho muestras de jugos pasterizados con 120 ± 1 g/litro de azúcares totales completados con la melaza indicada la Tabla 3.8

Variable	Miel Final	Jugo LTHT 70 ⁰ C	Jugo HTHT 80 ⁰ C	Jugo HTHT 90 ⁰ C
Tiempo ferm. h	17,250	17,333	17,500	17,666
Acidez, g H AC/l	0,84	1,65	1,05	0,98
μ_e	0,345	0,385	0,381	0,377
μ_b	0,247	0,240	0,215	0,207
$Y_{p/s} \cdot 100$	77,00	86,35	86,28	86,18
$Y_{x/s} \cdot 100$	7,07	6,91	6,25	6,09
$Y_{T/s} \cdot 100$	87,07	93,26	92,53	92,27
Temperatura	30	31	31	31
Formación de espuma	Normal	Alta	Moderada	Normal

Tabla 3.13.- Caracterización de la fermentación alcohólica de los jugos pasterizados con HTHT y choque térmico hasta nueve días de cortadas de la Tabla 3.2

Variable	Jugo sin tratamiento térmico.	Jugo HTHT 80 °C	Jugo HTHT 90 °C	Jugo con choque térmico a ebullición
Tiempo Ferm., h	17,500	17,666	17,700	18,250
Acidez g H Ac/l	2,03	1,12	1,02	0,97
μ_e	0,400	0,392	0,389	0,300
μ_b	0,200	0,193	0,173	0,106
$Y_{p/s} \cdot 100$	90,58	89,61	89,10	70,84
$Y_{x/s} \cdot 100$	4,27	3,59	4,00	5,56
$Y_{T/s} \cdot 100$	94,85	93,20	93,10	76,40
Temperatura °C	29	29	29	30
Formación de espuma	Muy alta	Normal a moderado	Normal	Normal

Tabla 3.14.- Efectividad de la pasterización HTHT a 85 °C media de siete ensayos

Muestra	% Brix	ufc/g $\cdot 10^4$		
		Inicial	Final	% Efectividad
Mayo 5	15,68	6,30	0,13	97,94
Mayo 12	15,87	8,10	0,20	97,53
Mayo 30	14,57	7,20	0,15	97,92
Junio 6	14,00	8,90	0,12	98,65
Junio 22	13,98	9,80	0,11	98,88
Julio 5	13,80	9,60	0,12	98,75
Julio 15	13,65	10,3	0,13	99,87
Octubre 15	13,55	9,1	0,19	97,91
Media Estadística	14,39	8,70	0,15	98,28

Las medias estadísticas analizadas con profundidad demostraron lo siguiente:

- Tabla 3.11, bajo las condiciones de ensayos la pasterización entre 80°C y 90°C durante 20 minutos resultó adecuada para la preparación de los jugos de caña energética con destino a la fermentación alcohólica tanto por la disminución de los moc como por la desnaturalización de las proteínas.
- Tabla 3.12, no se afectaron las variables fermentativas alcohólicas μ_e , μ_b , $Y_{p/s}$, $Y_{x/s}$ y $Y_{T/s}$ en los experimentos entre 70°C y 90°C; la espumación fue alta a 70°C, moderada a 80°C y normal a 90°C respectivamente; por lo que se afianzó que las temperaturas seleccionables para la pasterización se encuentra entre 80°C y 90°C .

- Tabla 3.13, se reiteraron por las mismas causas antes discutidas, las inviabilidades del choque térmico a ebullición y la fermentación de los jugos sin tratamiento térmico alguno; así como, la factibilidad de la pasterización entre 80⁰C y 90⁰C.

- Tabla 3.14, ensayos puntuales a 85⁰C la pasterización que demostró ser adecuada, los ufc/g fueron relativamente bajos al inicio que se asoció por el lavado natural de las cañas debido a las lluvias de esos meses.

A continuación en la Tabla 3.15 se brindan los resultados experimentales simulando condiciones reales de la producción.

Tabla 3.15.- Características de los jugos de caña energética atrasada intencionalmente con imbibición simulada y pasterización HTHT

Días	% Brix	% Pol	% R. Libre	% A.T.	% Inf.	pH	Acidez	% Cenizas	I/A.T.	⁰ C Inicial	⁰ C Final	Tiempo en minutos
6	8,88	4,15	1,87	6,02	0,77	5,3	1,59	0,29	0,128	90	86	25
12	8,67	3,57	2,63	6,20	0,68	5,1	1,92	0,28	0,129	90	88	25
18	9,12	3,81	2,90	6,71	0,85	4,9	1,65	0,30	0,110	90	86	25
23	9,44	3,86	2,56	6,42	0,85	5,1	1,43	0,31	0,127	90	85	25
25	9,29	4,01	2,50	6,51	0,73	5,0	1,67	0,31	0,132	90	89	25
28	9,07	3,62	3,94	7,56	0,96	4,6	1,79	0,30	0,127	87	84	25
30	9,37	3,65	3,90	7,55	0,98	4,2	1,47	0,30	0,130	88	84	25

Tabla 3.15.- Continuación...

Días	pH natural de los jugos de caña energética	pH después de la adición de agua	pH de los jugos con agua después de pasterizados
6	4,5	5,3	4,8
12	4,5	5,1	4,5
18	4,4	4,9	4,4
23	4,3	5,1	4,5
25	4,3	5,0	4,4
28	4,0	4,6	4,1
30	3,7	4,2	3,7

Analizada en detalles la Tabla 3.15 se determinó lo siguiente:

- La adición del 30% peso de los jugos de agua para simular 10% de imbibición en los molinos del central azucarero, incrementó el pH entre 0,6 y 0,7 del inicial medido.
- La pasterización durante 25 minutos redujo el pH entre 0,5 y 0,6.

- Se puntualizó que el aumento del pH por la adición de agua fue sensiblemente contrarrestado por el descenso que registró después de la pasteurización, que se atribuyó a la disminución del contenido de agua al incorporarse una molécula de esta por cada molécula de sacarosa con hidrólisis ácida hasta glucosa y fructuosa; así como, no se descartó la formación de ácidos orgánicos originados por el tratamiento térmico.

Con todo lo expuesto, en la Tabla 3.17 que se muestra a continuación, se resumieron las principales características distintivas de los jugos de caña energética para la fermentación alcohólica comparativamente con los jugos de caña azucarera y sus melazas.

Tabla 3.16.- Resumen comparativo

Variable	Jugos de caña energética	Jugos de caña azucarera	Melaza de caña azucarera
% peso en los tallos	35	70	-
pH	4,30- 4,94	5,20- 5,80	5,40- 6,00
Velocidad de sedimentación en cm/min a 14 % Brix	No sedimentan	1,5 mínimo	-
Temperatura máxima en °C que no origina inhibidores a la fermentación alcohólica	90	125	125
Relación I/A.T.	0,112- 0,134	0,000	0,073 máximo
Cachaza % caña	< 0,3	4,0	-

Analizada con rigor científico la síntesis de la Tabla 3.16 para las variedades C-90 176 y C-90 178 cosechadas de mayo a diciembre, se determinó lo que sigue:

- Los jugos de caña energética registraron un pH medio 0,88 menor que los de caña azucarera y 1,08 menor también que sus melazas, que en ambos casos los favorece pues de forma natural son menos vulnerables a la contaminación bacterianas.

- Diferencias notables en las temperaturas máximas que toleran los jugos de caña energética sin que se originen inhibidores a la fermentación alcohólica, de 35⁰C menos con relación a los de caña azucarera y sus melazas. Por esta causa hubo que desestimar la utilización de cualquiera de las tecnologías existentes para estos últimos que como mínimo son a ebullición.

- Los jugos de caña energética registraron azúcares infermentables naturales y fueron inclarificables, muy distintos a los de caña azucarera.

Por lo hasta aquí expuesto, se demostró experimentalmente que los jugos de caña energética son un nuevo tipo de jugos de caña, y por lo tanto también un nuevo componente de substrato industrial para la fermentación alcohólica.

3.1 Tecnología de preparación de los jugos de caña energética para su uso inmediato en la fermentación alcohólica

Mediante la apropiación y utilización de los conocimientos científicos antes obtenidos de la caracterización de los jugos de caña energética, se elaboró la concepción tecnológica de ingeniería de procesos para la preparación y uso inmediato de los nuevos jugos en la fermentación alcohólica, lo cual implicó integrar central-destilería fuera del período zafra como sigue:

- Extracción en la planta moledora del central azucarero con no más de 10% de agua de imbibición y 21,4% cuando coincide con el lavado de los molinos.
- Calentamiento con vapor saturado de 80⁰C a 90⁰C en los intercambiadores de calor de esta fábrica.
- Retención en ese rango de temperatura en un tanque aislado térmicamente o el clarificador que está sin uso hasta la próxima zafra azucarera, por un tiempo mayor a 20 minutos, dadas la notables diferencias sanitarias entre otras, de un molino de laboratorio a una planta moledora industrial de caña.
- Filtración por las telas metálicas filtrantes normales empleadas en zafra azucarera para los jugos clarificados, y almacenamiento calientes en la destilería en tanques aislados térmicamente sin permitir descenso de la temperatura menores a 55⁰C, para controlar contaminaciones por bacterias mesófilas, ni por más de 14 horas toda vez que se destruyen térmicamente los azúcares.
- Enfriamiento de 28⁰C a 32⁰C inmediatamente antes de utilizarse como componente del substrato industrial en la fermentación alcohólica, y mezcla con melaza de caña azucarera para completar los azúcares totales a los de corrida en la fermentación alcohólica, normalmente entre 110 g A.T./L y 120 g A.T./L.

A esta tecnología se le concedió patente CU 23 211 en 2007. En el **Anexo 5** se brinda un esquema tecnológico de la misma para el estudio de caso de la empresa azucarera Melanio Hernández.

3.3 Tecnología específica para la conservación de los jugos de caña energética.

En los **Anexos 6 y 7** se compilan los resultados de dos corridas experimentales con jugos de caña energética obtenidos en molinos de laboratorio. Las **Figuras 1, 2 y 3** que se muestran corresponden al **Anexo 6**, y las **4, 5 y 6** al **Anexo 7**.

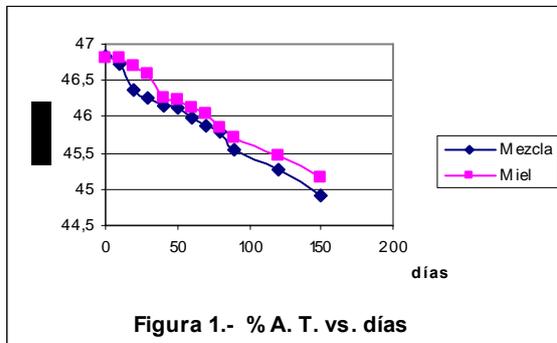


Figura 1.- % A. T. vs. días

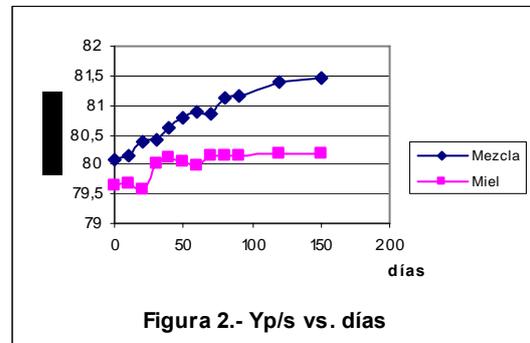


Figura 2.- Yp/s vs. días

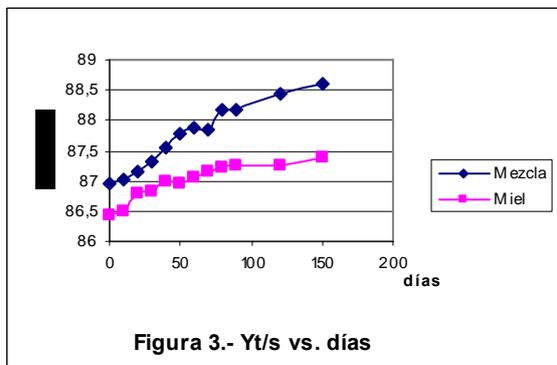


Figura 3.- Yt/s vs. días

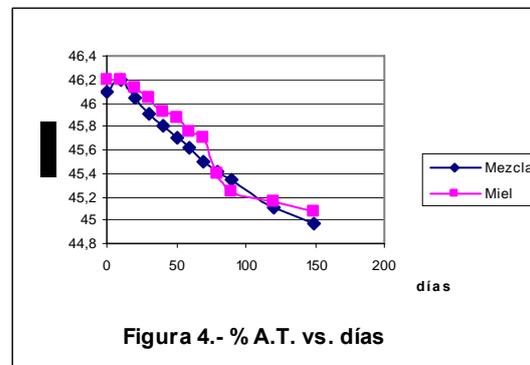


Figura 4.- % A.T. vs. días

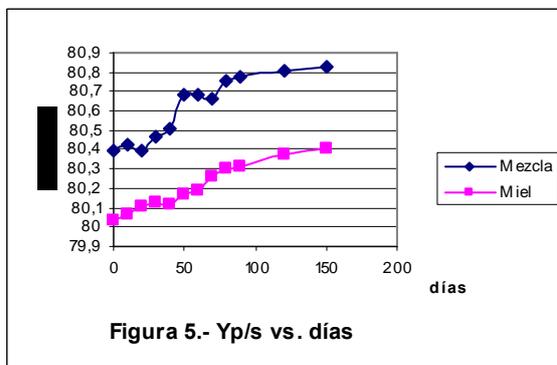


Figura 5.- Yp/s vs. días

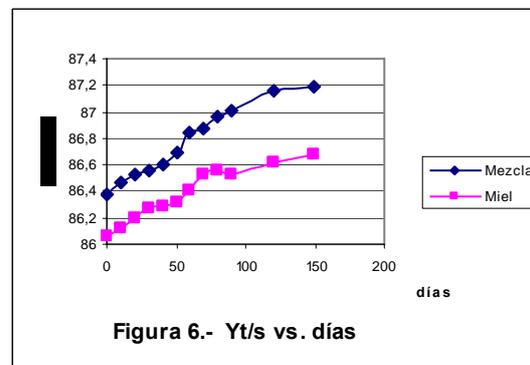


Figura 6.- Yt/s vs. días

Estos experimentos y los resultados de los tratamientos estadísticos contenidos en los propios anexos, permitieron precisar lo siguiente:

- No hubo diferencias significativas entre ambos sustratos en los % Brix y % A. T., esto último observable en las **Figuras 1 y 4** respectivamente, ni Yx/s y Acidez en el resultado estadístico; aunque en esta última variable se evidenció que es mayor el incremento en la Mezcla, asociado a la diferencia significativa que registró el conteo inicial y aumento de las ufc/g con el tiempo, debido a que en la misma los moc después del tratamiento térmico fueron y serán mayores al

agua destilada y esterilizada empleada para diluir la melaza testigo en cualquiera de los casos.

- La velocidad media μ_e y el rendimiento alcohólico Yp/s con ilustración en las **Figuras 2 y 5** respectivamente, fueron significativamente mejores con la Mezcla que se manifestaron también en las Yt/s constatable en las **Figuras 3 y 6**, y significativamente menor el rendimiento en biomasa de levadura Yx/s como muestra el resultado estadístico, ya que la disponibilidad de carbohidratos asimilables simultáneamente son los mismos para ambos productos.

Por su parte, también las **Figura 2 y 5** mostraron que con los días de conservación ambos substratos mejoran su rendimiento en alcohol, comportamiento similar a las melazas cubanas *sin diluir* evaluadas durante decenas de años. Los rendimientos están graficados en por ciento dado a que así se establece en la contabilidad de las destilerías de Cuba. En estos ensayos la variable ufc/g no reveló variación que involucre riesgos de contaminaciones durante la fermentación alcohólica industrial.

Bajo las condiciones de ensayos, se evidenció que la conservación de los jugos de caña energética mezclados con melaza seleccionada fue factible durante 150 días, con las variables de restricciones en regla, salvo el tiempo que fue mayor a 90 días, intencionalmente ejecutado a los efectos de evaluar la confiabilidad de esta variable.

La Tabla 3.17 que se muestra a continuación, fue otra corrida experimental pero con jugos mezclados de caña energética extraídos y pasterizados en el central azucarero Melanio Hernández, o sea, los jugos reales que concretamente serán los objetos de conservación en la utilización comercial de esta tecnología.

Tabla 3.17.- Conservación de Jugos de Caña energética de tándem. 31 °C- 33 °C

Características de la Miel Final empleada

% Brix= 87,10 % Sacarosa= 36,80 % Reductores Libres=17,75 pH= 5,70
% Azuc. Totales= 54,55 % Cenizas= 8,28 % Az. Infermentables= 3,19
ufc mesófilos/g = 69 000 ufc termófilos/g = 3 300

Características del Jugo de Caña Energética pasterizados con HTHT:

% Brix= 9,48 % Sacarosa= 5,15 % Reductores Libres= 1,88 pH= 5,15
% Azuc. Totales= 7,03 % Cenizas= No determinada % Az. Infermentables= 1,04
ufc Total/g = 109 600 Coloración : verde muy oscuro

Tabla 3.17.- Continuación...

Mezcla Miel Final + Jugo

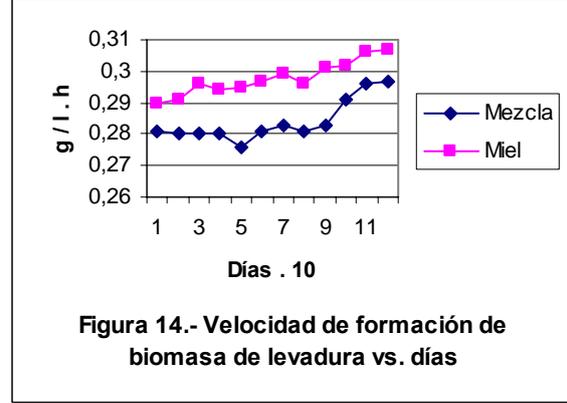
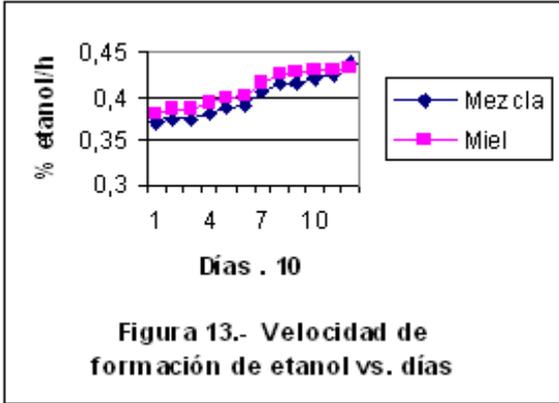
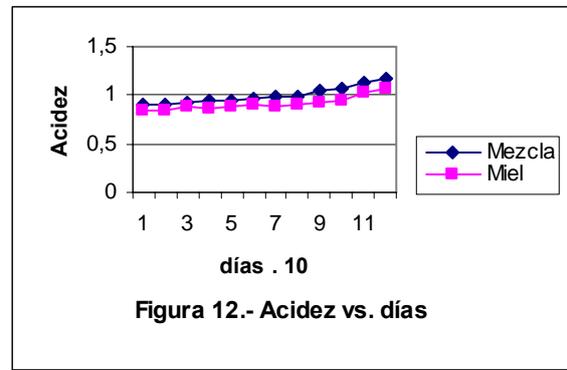
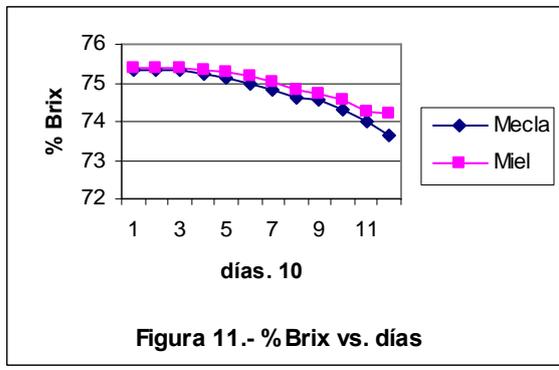
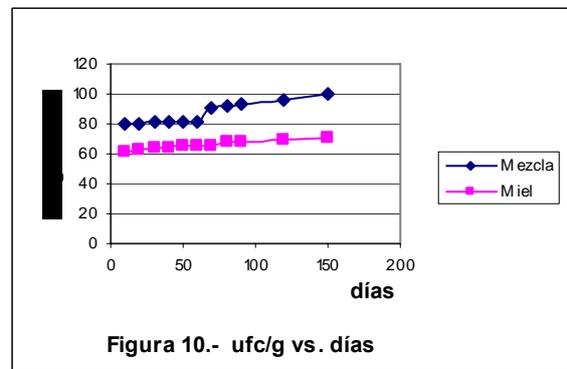
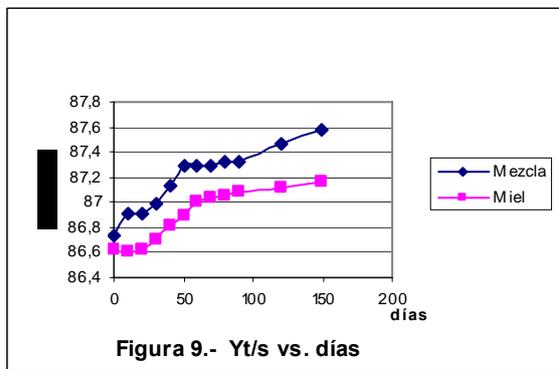
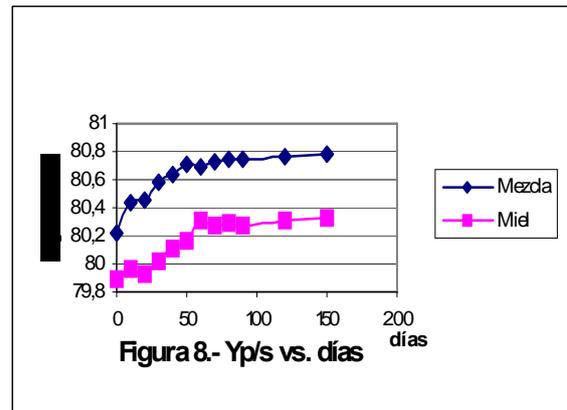
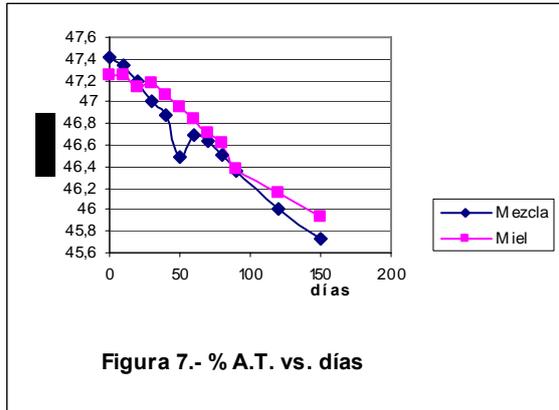
Variable	Inicial	Tiempo de mezclado en días											
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	Δ
% Brix	75,33	75,32	75,35	75,21	75,11	74,98	74,81	74,64	74,56	74,29	74,01	73,63	- 1,70
% Sacar.	32,03	31,97	31,88	31,76	31,68	31,61	31,55	31,41	31,30	31,20	31,00	30,95	- 1,08
% Red. Libres	15,39	15,38	15,31	15,24	15,19	15,18	15,15	15,23	15,20	15,16	15,01	14,78	- 0,61
%Azuc Totales	47,42	47,35	47,19	47,00	46,87	46,49	46,70	46,64	46,50	46,36	46,01	45,73	- 1,69
% Inf erm .	2,88	2,89	2,85	2,87	2,84	2,83	2,83	2,81	2,79	2,77	2,73	2,72	- 0,16
% Ce niza	7,17	7,17	7,15	7,11	7,08	7,10	7,11	7,07	7,06	7,04	7,03	7,00	- 0,17
pH	5,60	5,60	5,55	5,60	5,57	5,55	5,55	5,53	5,50	5,50	5,50	5,50	- 0,10
ufc Tota l/g . 10^3	79,9	80,3	80,6	81,0	81,1	81,5	81,9	90,6	91,8	93,0	96,6	99,8	+ 19,9
μe	0,373	0,375	0,375	0,383	0,389	0,393	0,406	0,416	0,421	0,426	0,432	0,438	+ 0,065
μb	0,281	0,280	0,280	0,280	0,276	0,281	0,283	0,281	0,283	0,291	0,296	0,297	+0,016
$Y_p/s .100$	80,21	80,43	80,46	80,59	80,63	80,71	80,69	80,72	80,75	80,74	80,76	80,79	+0,58
$Y_x/s .100$	6,52	6,48	6,45	6,40	6,50	6,58	6,60	6,57	6,58	6,59	6,71	6,79	+ 0,27
$Y_T/s .100$	86,73	86,91	86,91	86,99	87,13	87,29	87,29	87,29	87,33	87,33	87,47	87,58	+ 0,85
Acidez	0,91	0,90	0,93	0,94	0,94	0,96	0,98	0,99	1,04	1,06	1,12	1,18	+ 0,27
Espu- ma- ción	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tabla 3.17.- Continuación...
Miel Final sola diluida

Variable	Inicial	Tiempo de mezclado en días											Δ
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	
% Brix	75,41	75,40	75,36	75,34	75,28	75,16	75,01	74,81	74,73	74,54	74,26	74,18	- 1,23
% Sacar.	31,879	31,88	31,83	31,85	31,81	31,76	31,69	31,61	31,58	31,57	31,54	31,49	- 0,40
% Red. Libres	15,36	15,36	15,30	15,32	15,25	15,20	15,16	15,11	15,03	14,80	14,62	14,45	- 0,91
%Azuc Totales	47,25	47,24	47,13	47,17	47,06	46,96	46,85	46,72	46,61	46,37	46,16	45,94	- 1,31
% Inf erm .	2,75	2,78	2,76	2,74	2,71	2,66	2,63	2,61	2,62	2,61	2,63	2,62	- 0,13
% Ce niza	7,19	7,19	7,17	7,18	7,18	7,14	7,13	7,11	7,11	7,08	7,05	7,01	- 0,18
pH	5,70	5,70	5,70	5,65	5,65	5,63	5,63	5,61	5,60	5,60	5,60	5,60	- 0,10
ufc Tota l/g . 10 ⁴	61,3	61,9	62,8	63,6	63,9	64,8	65,6	66,0	68,0	68,6	69,4	71,2	+ 9,9
<i>μe</i>	0,382	0,388	0,387	0,394	0,398	0,401	0,416	0,426	0,429	0,430	0,431	0,433	+ 0,051
<i>μb</i>	0,290	0,291	0,296	0,294	0,295	0,297	0,299	0,298	0,301	0,302	0,306	0,307	+ 0,017
<i>Y_{p/s}</i> . 100	79,89	79,96	79,93	80,01	80,11	80,16	80,31	80,28	80,30	80,28	80,31	80,32	+ 0,43
<i>Y_{x/s}</i> . 100	6,63	6,64	6,70	6,69	6,70	6,74	6,77	6,75	6,76	6,80	6,81	6,84	+ 0,21
<i>Y_{T/s}</i> . 100	86,62	86,60	86,63	86,70	86,81	86,90	87,01	87,03	87,06	87,08	87,12	87,16	+ 0,54
Acidez	0,85	0,85	0,88	0,86	0,89	0,90	0,89	0,91	0,93	0,95	1,03	1,07	+ 0,22
Espuma ción	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-

Cepa de levadura utilizada: Seca activa NEVADA

En las **Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14** se graficaron el comportamiento de las principales variables de interés para la conservación de los jugos.



Los resultados del tratamiento estadístico mostrado en el **Anexo 8** permitieron bajo las condiciones de ensayo determinar lo siguiente:

- No hubo diferencias significativas entre la Mezcla y la Miel Final diluida en los % Brix y % A.T. representados en las **Figuras 7 y 11** respectivamente, muy importante ya que de melazas hay considerable cultura científica y tecnológica en el mundo, pero de estos nuevos jugos no.
- Las **Figuras 10 y 12** mostraron que la Acidez y las ufc/g con diferencias significativas en el tratamiento estadístico según el propio anexo, tuvieron mejor comportamiento en la Miel sola, aspecto esperado por la mayor carga contaminante y ácido formadora de la microbiótica epífita residual del jugo de caña energética aun con actividad vital. Las ufc/g de ambas difieren de las melazas no diluidas almacenadas que normalmente disminuye con el tiempo, así como, en la Acidez cuyo incremento fue más acentuado.
- Como sustrato para fermentación alcohólica con levadura seca activa Nevada, el tratamiento estadístico mostró que no hay diferencias significativas en la μ_e media; pero en el resto de las variables la Miel sola diluida tuvo un significativo mejor comportamiento, explicable por ser de muy buena calidad procedente del ingenio-refinería Ramón Ponciano, y que la pasterización no se ejecutó todo el tiempo adecuadamente; lo que evidenció las incidencias de la calidad de la melaza y la correcta pasterización a HTHT.

En la Tabla 3.18 la **Mezcla Miel Final+Jugo** manifestó entre los días 80 y 90 un incremento de la velocidad de descenso del %Brix, y por ende, del aumento de la actividad acuosa y descenso de la presión osmótica como una de las variable de restricción de la conservación, por lo que en principio el tiempo de conservación sin riesgos de deterioro de los jugos de caña energética industriales conservados se fijó en **80 días**, considerando los costos de almacenamiento expuesto en el Capítulo I.

En la Tabla 3.18 se muestran las relaciones y % de diferencia máxima de las principales variables a los 80 días divididos entre las Iniciales.

Tabla 3.18.- Relaciones y % de diferencia máxima de variables. 80 días/Inicial

Substrato	% Brix	% A.T.	ufc/g	μ_e	μ_b	Yp/s	Yx/s	Yt/s	Acidez
Miel Final+ jugo	0,990	0,978	1,148	1,129	1,007	1,007	1,009	1,007	1,143
Miel Final sola	0,991	0,986	1,109	1,109	1,038	1,005	1,020	1,005	1,094
% de diferencia máxima	0,10	0,82	3,52	0,53	3,08	0,20	1,09	0,20	4,48

La Tabla 3.18 mostró que los cambios entre ambos substratos a los 80 días de acuerdo a las relaciones entre las variables entre sí y % de diferencia máxima, no registraron variaciones de significación en %Brix, %A.T., μ_e , Yp/s y Yt/s que no permitieron discriminar la mayor o menor bondad fermentativa de un substrato respecto al otro. Por su parte, sí se pudo discernir que la Miel Final sola se comportó mas adecuadamente a los 80 días por la ruta metabólica de la biosíntesis de biomasa de levadura como subproducto asociado, constatado en las μ_b y Yx/s; no así en el producto principal bioetanol objeto de obtención, que fueron prácticamente los mismos, por lo que se demostró la estabilidad cualitativa para la fermentación alcohólica de los jugos de caña energética conservados a los 80 días bajo las condiciones de ensayo; con el alcance de las tres variables de restricciones expuestas en el Capítulo II.

Como margen de seguridad se adicionó como variable de restricción también, que el descenso máximo de %Brix permisible fuera de 1,5%, lo que equivale a que no debe descender por debajo de 73,5%Brix, argumentado en que se aumenta la Aw que favorece actividad biológica rápida de los hongos normales según la Tabla 1.4 y los trabajos de Owen expuesto en la Tabla 1.5, ambas en el Capítulo I.

A partir de todos estos resultados discutidos en este epígrafe, los balances de los principales componentes de caracterización de la mezcla Miel Final+jugo, y de los datos recogidos en el epígrafe 1.4.1 del Capítulo I, a continuación en la Tabla 3.19 se brinda la propuesta de Especificaciones de Calidad para los jugos de caña energética conservados con melaza según los destinos.

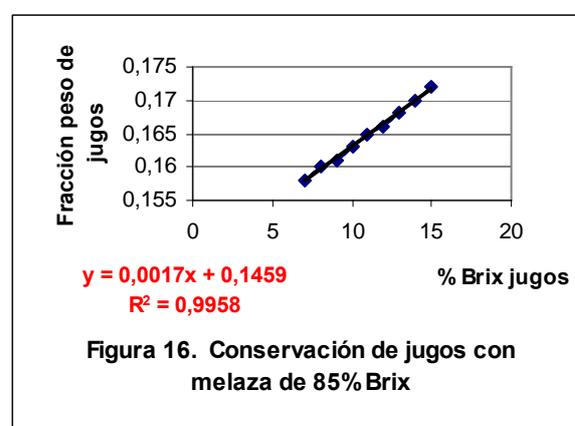
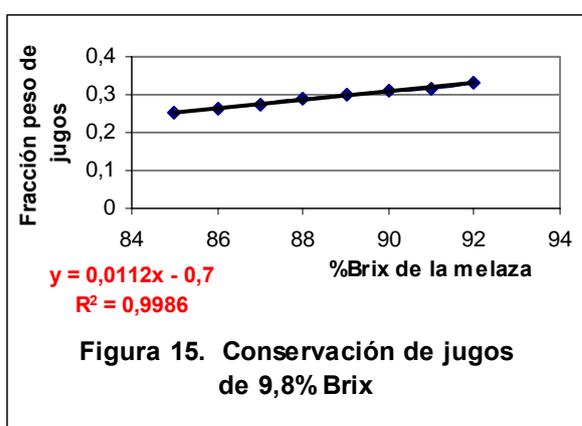
Tabla 3.19 .- Propuesta de Especificaciones de Calidad para los jugos de caña Energéticano concentrados conservados con melaza

ESPECIFICACIÓN	Para fermentación	Para alimento animal
% Brix	75,0 mín.	75,0 mín
ufc/g	160 000 máx	-
% Azúcares Totales	46,0 mín	46,0 mín
% Azúcares Fermentables	42,8 mín	-
% Azúcares Infermentables	3,5 máx.	-
% Lodos	11,5 máx.	11,5 máx.
pH	5,0- 5,7	5,0- 5,7
Coliforme/g	-	1 000 máx.
Eschericha coli/g	-	Ausencia
Salmonella/25g	-	Ausencia
Días de garantía	80 máximo	80 máximo

En el **Anexo 9** se brinda una síntesis de la solicitud de patente de Adición a la CU 23 211 realizada para la tecnología de conservación de los jugos de caña energética, que incluye la concentración de los mismos que no fue objetivo de este trabajo.

Para facilitar su generalización a cualquier empresa azucarera del país se desarrolló el programa informático DAJCE que se muestra en el **Anexo 10**, donde se realiza un ejemplo de entrada y salida por las respectivas ventanas del programa.

Con el fin de profundizar en el estudio de la conservación de los jugos de caña energética sin concentrar, se realizaron los balances de materiales para Brix= 9,8% en dichos jugos y de 85% Brix a 92% Brix de la melaza, así como, a 85% Brix en la melaza y los jugos de 7% Brix a 12% Brix, y se graficaron en las **Figuras 15 y 16**:



Se constató que el % Brix de la melaza es el componente de la mezcla decisivo en que en la misma se puedan conservar la mayor cantidad de jugos sin concentrar.

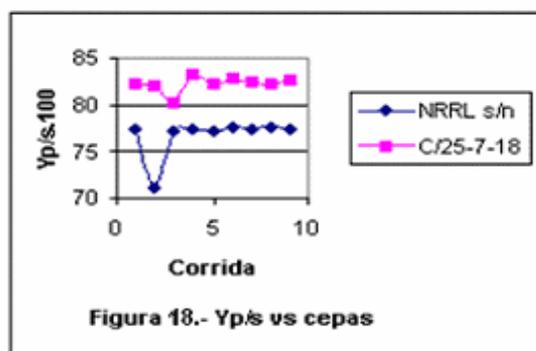
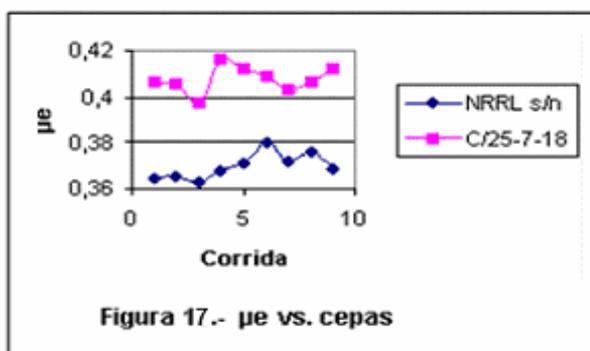
3.4 Evaluaciones de cepas de Saccharomyces con jugos de caña energética como componente del sustrato

En el **Anexos 11** se brindan los resultados experimentales de las evaluaciones con las cinco cepas de levadura Saccharomyces. El criterio de selección se centró en μ_e y $Y_{p/s}$ toda vez que el objetivo principal fue y es la obtención de bioetanol, y por los resultados estadísticos se determinó que las cepas **C / 25 -7 - 18** y **NRRLs/n** fueron las que manifestaron los más adecuados comportamiento.

En todos los casos y cepas las μ_b medias fueron mayores al límite superior de 0,444 g/L. h expuesto en el Capítulo II, lo que se debió a que en las propagaciones de las cepas en el laboratorio microbiológico se hizo siguiendo el protocolo de la destilería Paraíso, pero en el paso final en vez de inocularse 17 – 18 litros como se establece, se

realizó en 10 litros contenidos en frascos por duplicado con cinco litros cada uno sentando el precedente para próximos experimentos.

Con jugos de caña energética mezclados obtenidos industrialmente se evaluaron las cepas seleccionadas C/25-7-18 y NRRL s/n, colectados a 86⁰C en el clarificador con retención de unos 70 minutos, conservándose de inmediato a 1⁰C - 2⁰C mediante refrigeración sin congelación, durante los 19 días que duraron las realizaciones de las nueve corridas. En el **Anexo 12** se compilan las caracterizaciones de la Miel Final y jugo, el comportamiento de las principales variables, parte de las cuales se graficaron en las **Figuras 17 y 18**:



Procesados estadísticamente los datos como se muestra en el propio anexo, bajo las condiciones de ensayos se determinó lo siguiente:

- Las μ_b estuvieron dentro del estimado de rango de incertidumbre descrito en el Capítulo II.
- La cepa C/25-7-18 registró una μ_e y un $Y_{p/s}$ significativamente mejores que la NRRL s/n como se observa en las figuras referidas anteriormente, no así μ_b y $Y_{x/s}$ que son similares de acuerdo al resultado estadístico.

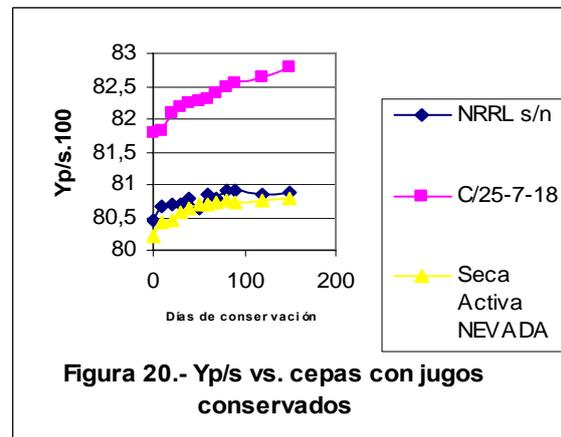
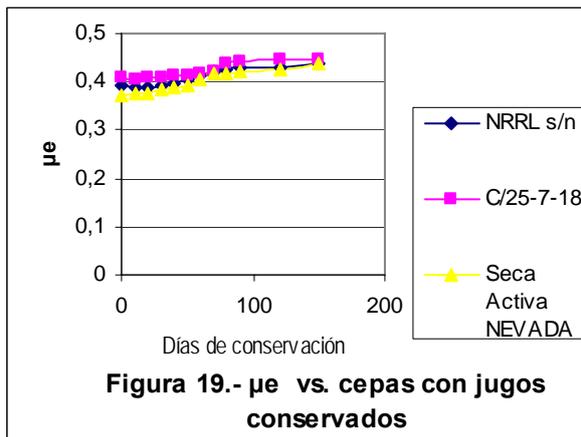
Por estos resultados la cepa C/25-7-18 resultó en principio la más recomendable para fermentar jugos de caña energética como componente del substrato, sin descartar la NRRLs/n utilizada desde 1959 en la destilería Paraíso.

Se evaluaron ambas cepas también más la seca activa Nevada con los jugos de caña energética conservados de la Tabla 3.17, los resultados se muestran a continuación en la Tabla 3.20.

Tabla 3.20.- Evaluación de cepas a 32 °C - 33 °C con la Mezcla de la Tabla 3.18

Días	Seca Activa NEVADA					NRRL s/n					C / 25-7-18				
	μe	μb	Yp/s	Yx/s	Yt/s	μe	μb	Yp/s	Yx/s	Yt/s	μe	μb	Yp/s	Yx/s	Yt/s
			1 0 0	1 0 0	1 0 0			1 0 0	1 0 0	1 0 0			1 0 0	1 0 0	1 0 0
0	0,373	0,281	80,21	6,52	86,73	0,391	0,296	80,46	6,67	87,13	0,408	0,283	81,80	6,61	88,41
10	0,375	0,280	80,43	6,48	86,91	0,390	0,296	80,68	6,69	87,37	0,407	0,283	81,83	6,61	88,44
20	0,375	0,280	80,46	6,45	86,91	0,388	0,293	80,71	6,69	87,40	0,409	0,286	82,10	6,67	88,77
30	0,383	0,280	80,59	6,40	86,99	0,393	0,297	80,70	6,67	87,37	0,411	0,284	82,18	6,67	88,85
40	0,389	0,276	80,63	6,50	87,13	0,398	0,291	80,80	6,63	87,43	0,412	0,286	82,24	6,74	88,98
50	0,393	0,281	80,71	6,58	87,29	0,406	0,294	80,63	6,69	87,52	0,414	0,283	82,26	6,63	88,89
60	0,406	0,283	80,69	6,60	87,29	0,412	0,289	80,85	6,73	87,58	0,416	0,283	82,29	6,60	88,89
70	0,416	0,281	80,72	6,57	87,29	0,421	0,287	80,78	6,73	87,57	0,423	0,278	82,39	6,55	88,94
80	0,416	0,283	80,75	6,58	87,33	0,425	0,286	80,91	6,70	87,61	0,438	0,276	82,48	6,58	89,06
90	0,421	0,291	80,74	6,59	87,33	0,428	0,288	80,90	6,69	87,59	0,444	0,280	82,56	6,50	89,06
120	0,426	0,296	80,76	6,71	87,47	0,429	0,298	80,86	6,70	87,56	0,445	0,280	82,65	6,51	89,12
150	0,438	0,297	80,79	6,79	87,58	0,439	0,307	80,88	6,69	87,57	0,448	0,284	82,79	6,50	89,29

Las **Figuras 19** y **20** muestran gráficamente el comportamiento de las tres cepas evaluadas.



Procesados estadísticamente los datos cuyos resultados se reportan en el **Anexo 13**, al centrar el análisis en las variables μe y Yp/s decisivas en la selección de cepas para la fermentación alcohólica, se determinó bajo las condiciones de ensayo lo que sigue:

- Las variables de las cepas como criterio de selección expuesto en el Capítulo II, estuvieron dentro de los estimados de incertidumbres de las mismas.
- La cepa C/25-7-18 fue significativamente superior en el Yp/s a las NRRL s/n y seca activa Nevada como puede constatare en la **Figura 20**, mientras que en la μe solo supera a la Nevada como puede observarse en la **Figura 19**.
- La NRRL s/n superó a la seca activa Nevada en el Yp/s , lo cual corroboró los resultados concretos empíricos observacionales en la destilería Paraíso

Un profundo análisis de todo lo expuesto con relación al substrato y las cepas, origina aclarar que tanto la NRRLs/n como la seca activa Nevada, llevan años empleándose en el país, y están bien caracterizadas industrialmente a temperaturas superiores a 35⁰C, aspecto que no se conoce de la C/25-7-18. Por tal, para el caso de la destilería Paraíso que no tiene sistema de enfriamiento en fermentación hasta 2007, fue más recomendable y prudente emplear su propia cepa que superó a la seca activa Nevada, para las evaluaciones industriales lo cual más adelante se expone.

3.5 Evaluaciones industriales procesando solo caña energética en condiciones reales de la producción

3.5.1 Central azucarero Melanio Hernández

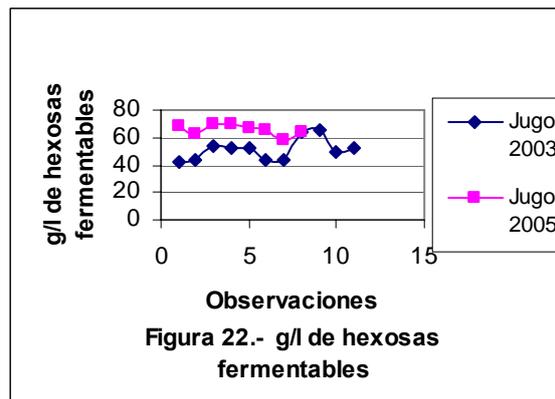
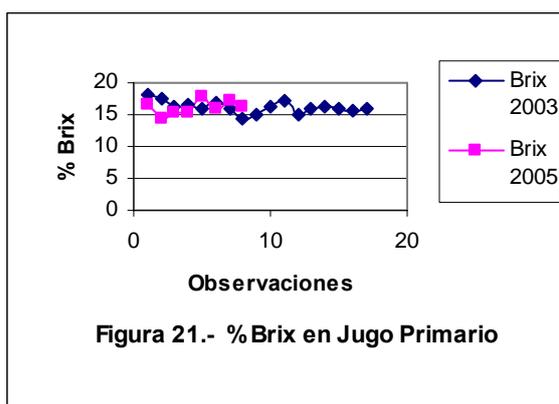
3.5.1.1 Evaluación del empleo de agua de imbibición y de lavados en la planta moledora

En la Tabla 3.21 se compilan datos de las molidas de 2003 y 2005 que se compararon.

Tabla 3.21.- Jugos mezclados de caña energética de planta moledora, molidas de 2003 y 2005

% Brix del Jugo Primario		% Brix del Jugo Mezclado		% AF en Jugo Mezclado	
2003	2005	2003	2005	2003	2005
18,02	16,45	7,04	10,44	4,02	6,45
17,43	14,45	7,64	9,72	4,11	6,04
16,11	15,45	8,80	9,60	5,05	6,39
16,67	15,33	8,75	9,77	5,03	6,66
16,00	17,74	8,77	9,80	5,03	6,40
17,01	15,81	7,90	10,68	4,18	6,19
15,95	17,21	7,85	8,71	4,16	5,49
14,49	16,25	10,13	9,86	6,12	6,12
16,16	16,00	10,13	-	6,17	-
17,05	-	8,34	-	4,70	-
15,01	-	8,45	-	4,95	-
15,90	-	-	-	-	-
16,11	-	-	-	-	-
16,00	-	-	-	-	-
15,53	-	-	-	-	-
15,81	-	-	-	-	-

Gráficamente se muestran en las Figuras 21 y 22.



El procesamiento estadístico mostrado en el Anexo 14 permitió demostrar que:

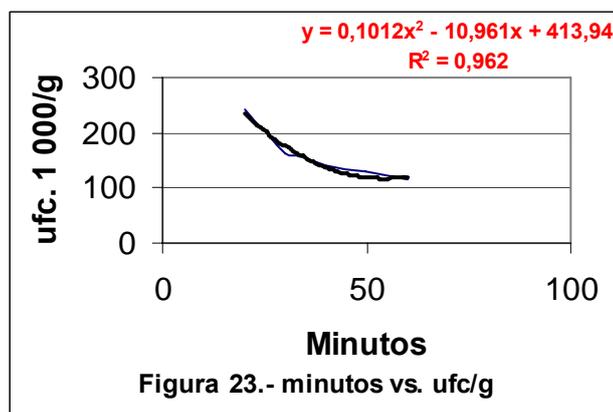
- No hubo diferencias significativas en el % Brix de los Jugos Primarios entre ambas molidas, por lo que fueron similares los sólidos solubles en ambas molidas, o sea, el que trae la caña energética en su forma natural y que se observa en la Figura 21.
- Existió diferencia significativa en los g/L de hexosas fermentables de los jugos mezclados como se observa en la Figura 22, donde se precisó que fueron mayores y con menor rango de incertidumbre en los de 2005, lo que demostró que la reducción a 10% del agua de imbibición que aumentó hasta 21,4% puntualmente cuando coincidió con el lavado de los molinos, fue y es decisiva en la riqueza de carbohidratos y calidad de los jugos como substrato para la integración material central-destilería en la empresa azucarera antes aludida, para el uso inmediato con la tecnología patentada.

3.5.1.2 Validación del tiempo necesario de pasterización industrial de 80⁰ C a 90⁰ C

En la Tabla 3.22 se compila las medias estadísticas de las 11 mediciones de ufc/g a diferentes tiempos en jugos mezclados de caña energética industriales pasterizados, con los que construyó la Figura 23 a la que se le halló la ecuación polinomial de tendencia de la línea.

Tabla 3.22.- minutos vs. ufc/g

ufc/g. 1000	Tiempo en minutos
242	20
163	30
142	40
129	50
115	60



Se calculó con la ecuación polinomial y se halló que el nivel máximo de 160 000 ufc/g contaminante permisible se alcanzó a los 33,575 minutos. Utilizado el margen de sobrediseño de 20% normal de la ingeniería química, se precisó que el tiempo adecuado de pasterización industrial en el central azucarero Melanio Hernández es de **40 minutos**, conceptualizado en la patente CU 23 211.

3.5.1.3 Caracterización fermentativa alcohólica de los jugos mezclados de caña energética pasterizados

La Tabla 3.23 compila cuatro años de molidas y caracterizaciones de los jugos mezclados de caña energética pasterizados en el central azucarero Melanio Hernández, desde el punto de vista de su destino como componente de substrato industrial para la fermentación alcohólica.

Tabla 3.23. - Jugos mezclados de caña energética del tándem del central azucarero Melanio Hernández

Molida	% Brix	% Azúcares Fermentablea	Molida	% Brix	% Azúcares Fermentablea
Mayo 2002	9,55	6,63	Mayo 2004	9,20	5,98
“”	9,65	6,76	“	8,47	5,61
“	8,73	6,06	“	10,08	7,01
“	7,95	5,41	“	10,17	7,09
“	10,65	7,35	Enero 2005	10,44	6,45
“	10,47	7,56	“	9,72	6,04
Dic. 2003	7,04	4,02	“	9,60	6,39
“	7,64	4,11	“	9,77	6,66
“	8,80	5,05	“	9,80	6,40
“	8,75	5,03	“	10,68	6,19
“	8,77	5,03	“	8,71	5,49
“	7,90	4,18	“	9,86	6,12
“	7,85	4,16			
“	10,13	6,12			
“	10,13	6,17			
“	8,34	4,70			
“	8,45	4,95			

Se modeló estadísticamente de la forma descrito en el Capítulo II, resultado que se muestra en el **Anexo 15** que mostró lo siguiente:

$$d_L = 1,341 \quad d_U = 1,483 \quad 4 - d_L = 2,659 \quad 4 - d_U = 2,517$$

El modelo estadístico obtenido fue:

$$\% \text{ A.F.} = 0,6524 \% \text{ Brix del Jugo Mezclado del tandem}$$

$$R^2 = 0,9654$$

$$d = 1,785$$

$$\text{Error Estandar} = 0,0982$$

Se demostró que no existió ninguna de las autocorrelaciones ni sin decisión, por lo que fue contrastado y validado al registrar un Error Estándar $< 0,1$.

El modelo brindó una valiosa información científica, toda vez que permitió determinar que los A. F. dentro de los sólidos solubles totales en los jugos de caña energética, son 1,15 veces mayor al 0,567 A.F/Brix normado para la melaza con sus especificaciones de calidad para la fermentación alcohólica, por lo que su aprovechamiento en la fermentación alcohólica es mayor en igual proporción en la fracción como componente de fuente de carbono en el substrato industrial.

Ha tenido, tiene y tendrá una utilidad técnico-operativa en la integración material central-destilería cuando muele solo caña energética, ya que el mismo permite a partir del resultado analítico instrumental sencillo, rápido y de muy bajo costo; adecuar los parámetros de operación en el tándem de requerirse y calcular los A.F. que llegan con los jugos a la destilería Paraíso, y ajustar la cantidad de melaza a mezclar por los balances de azúcares correspondientes al de corrida de la fermentación alcohólica.

Este modelo estadístico fue obtenido a partir de datos reales de la práctica, lo que significa el criterio de la verdad científica.

3.5.2 Validación de la tecnología para uso inmediato en la fermentación alcohólica de los jugos de caña energética pasterizados en la destilería Paraíso.

3.5.2.1 Inversiones capitalizables

En el **Anexo 16** se brindan los detalles de las inversiones capitalizables ejecutadas, y se incorporó la amortización económica por los resultados de las evaluaciones industriales.

3.5.2.2 Caracterización de la pasterización HTHT en el central azucarero Melanio Hernández.

Los jugos mezclados del tándem se enviaron al tanque de alcalización y sin aplicarle esta, se inició de inmediato la pasterización a HTHT. Se bombearon a una de las tres secciones que tienen la batería de intercambiadores de calor Webre. Los turbogeneradores a contrapresión suministraron vapor saturado de escape, regulándose su presión de 0,2 kgf/cm² a 0,5 kgf/cm² manométrica de acuerdo al flujo y temperatura de los jugos. Aunque el rango de incertidumbre de la temperatura de pasterización de la nueva tecnología desarrollada es de 80⁰C a 90⁰C, ocasionalmente no fue así al no estar automatizada esta operación como se observa en los datos del **Anexo 17**, tomados de la carta de registro y termómetro digital. Continuaron para el clarificador BTR donde solo fueron retenidos no menos de 40 minutos y llegó a alcanzar ocasionalmente más de seis horas, principalmente cuando inició vacío.

En el **Anexo 18** se muestran las temperaturas de bombeo para la destilería después de pasar por la malla de filtración normal de jugo clarificado con 1 550 perforaciones/cm² (10 000 perforaciones/pg²).

3.5.2.3 Recepción y enfriamiento en la destilería Paraíso.

Se solicitó el llenado de los tanques receptores por bombeo desde el ingenio a lo sumo con una hora de antelación a su empleo. El sistema de enfriamiento instalado logra 35⁰C si el jugo se alimenta a 55⁰C o menos, y el agua de enfriamiento a 28⁰C o menos que se envía como reposición al enfriadero según el proyecto.

En el propio **Anexo 18** se compila lo real registrado para 11 fermentadores, los valores por encima 55⁰C se corresponde al momento de enfriarse.

3.5.2.4 Caracterización de la prefermentación.

Científicamente no eran fiables las evaluaciones industriales si se limitaba a la fermentación alcohólica en los biorreactores, pues obviaría la variable modelo biológica viva en condiciones reales de producción. Se empleó la cepa NRRL s/n normal de la destilería Paraíso como antes se expuso, con lo cual adicionalmente se alcanzó el propósito de no introducir simultáneamente dos nuevas variables, el sustrato y la cepa C/25-7-18 que no ha sido evaluada a temperaturas superiores al rango óptimo y nunca utilizada en esta planta que no tiene sistema de enfriamiento en fermentación.

Los cronogramas rutinarios de operaciones de las Áreas de Propagación y Fermentación están perfectamente organizadas y secuenciadas, por lo que se conoce qué fermentador se siembra con cuál prefermentador lo que facilitó todo, además, la prefermentación como tal es por el método Jacquemin variante II.

La Tabla 3.24 brinda los datos del estado del inóculo al sembrar cada fermentador.

Tabla 3.24.- Inóculos industriales de prefermentadores a fermentadores en la destilería Paraíso.

Prefermentadores para Mezcla Jugo + Miel

% Brix al descargar	pH	Acidez	°C	Conteo 10 ⁶	% Viabilidad	% Gemación	Contaminación	Aglutinación	Ciclo en horas
6,11	3,9	4,50	35	200	100	21,5	No	No	9,153
6,51	3,8	4,60	35	235	100	18,6	No	No	8,833
7,70	3,7	3,52	32	220	100	18,0	No	No	9,000
6,35	3,4	4,00	33	210	100	19,0	No	No	10,917
7,11	4,0	3,18	35	245	100	21,8	No	No	11,000
6,21	3,8	4,25	35	235	100	16,2	No	No	11,000
6,92	3,5	4,29	30	200	100	20,2	No	No	10,667
6,51	3,9	3,23	35	230	100	32,5	No	No	8,667
6,54	4,0	3,67	34	225	100	19,5	No	No	10,167
6,49	3,6	4,02	31	230	100	22,3	No	No	10,667
6,55	3,8	3,80	29	205	100	21,0	No	No	11,333

Prefermentadores para Miel Final sola

6,43	3,7	3,57	34	245	100	22,3	No	No	10,000
7,62	3,6	4,10	30	220	100	19,8	No	No	11,666
7,62	3,8	3,86	30	225	100	21,6	No	No	11,917
7,02	3,6	3,86	30	210	100	19,6	No	No	11,500
7,12	3,5	3,85	30	220	100	20,2	No	No	11,667
6,93	3,7	3,92	35	226	100	20,1	No	No	9,153
7,35	3,9	4,06	33	250	100	18,4	No	No	10,000
7,27	3,6	4,75	36	210	100	21,4	No	No	11,153
7,52	3,5	4,11	34	205	100	19,5	No	No	8,500
5,09	3,9	3,77	32	225	100	21,2	No	No	10,000
6,57	3,9	3,42	33	245	100	20,8	No	No	9,667

El procesamiento estadístico mostrado en el **Anexo 19** permitió precisar lo siguiente:

- No existió diferencias significativas en el estado físico, químico y microbiológico de los inóculos empleados en los 22 fermentadores con ambos tipos de sustratos, lo que determinó descartar que la variable modelo biológico vivo como inóculo industrial con las características a que llegaron a los fermentadores de la fábrica, pudo por sí misma incidir en el comportamiento y resultado final de la fermentación alcohólica.

3.5.2.5 Caracterización de la fermentación con los sustratos Mezcla Jugo+ Miel y Miel sola.

En la Tabla 3.25 se muestra el estado final de la fermentación, realizado de acuerdo al Esquema de Control de la fábrica.

Tabla 3.25.- Estado final de la fermentación industrial en la destilería Paraíso.

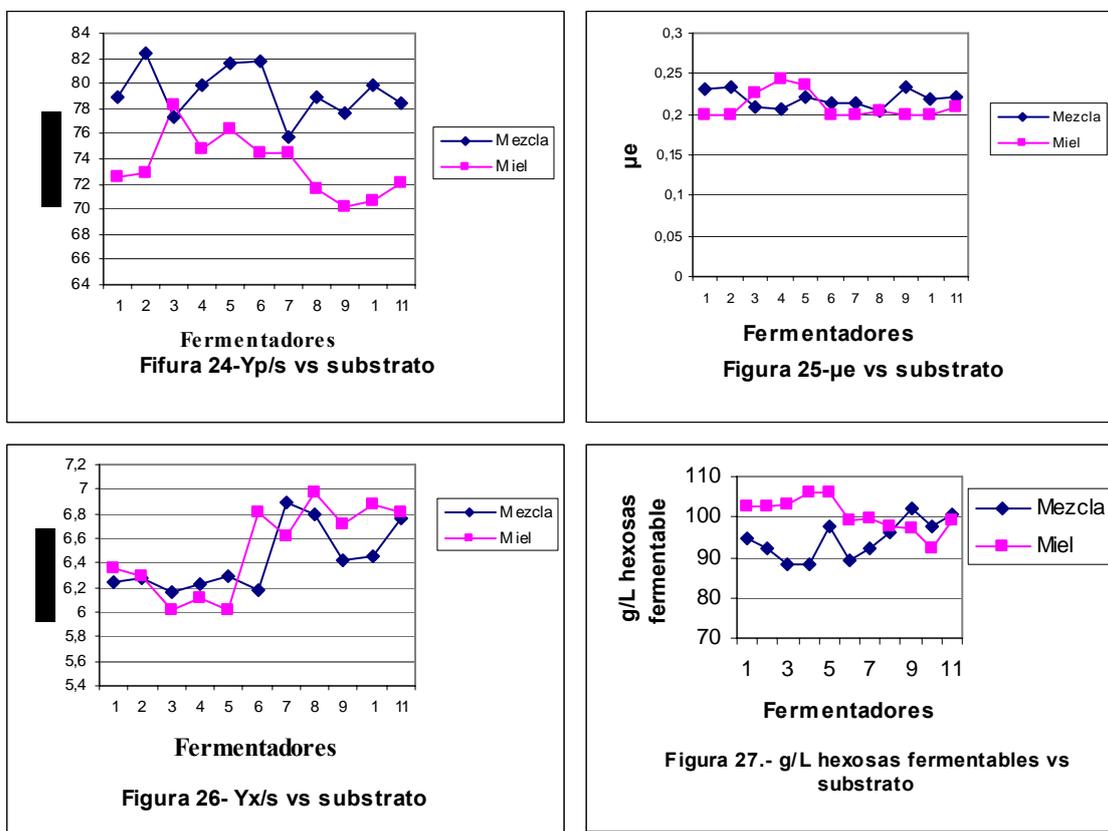
Mezcla Jugos + Miel

Fermentador	%Brix Inicial	%Brix Final	Δ Brix	°C máx.	pH	Acidez	% alc.	% Red. Res.	Lev. . 10 ⁶	% Viabilidad	Yp/s . 100	Yx/s . 100	Ciclo en hr.	μe
1	15,47	5,44	10,03	40	3,8	4,90	4,83	0,72	45	100	79,00	6,25	21	0,230
2	15,49	5,46	10,03	40	4,0	4,02	4,90	1,00	60	100	82,44	6,27	21	0,233
3	14,50	5,29	9,21	36	3,7	4,39	4,60	1,22	45	100	77,40	6,16	22	0,209
4	14,50	5,09	9,41	36	4,1	3,43	4,55	1,38	35	100	79,93	6,23	22	0,207
5	16,05	5,45	10,60	40	3,8	4,90	4,65	0,72	45	100	81,60	6,30	21	0,221
6	15,48	5,95	9,53	40	3,9	4,22	4,70	0,92	55	100	81,83	6,18	22	0,214
7	16,00	6,00	10,00	40	3,9	4,22	4,70	0,88	55	100	75,81	6,89	22	0,214
8	15,50	4,85	10,65	41	4,3	3,25	4,90	0,70	40	100	79,00	6,80	24	0,204
9	16,06	5,88	10,18	36	4,0	4,90	5,12	0,88	30	100	77,72	6,42	22	0,233
10	16,00	5,87	10,13	38	4,4	3,60	5,03	0,94	50	100	79,87	6,46	23	0,219
11	16,15	6,18	9,97	39	4,0	4,39	5,08	0,92	50	100	78,42	6,77	23	0,221

Miel Final sola

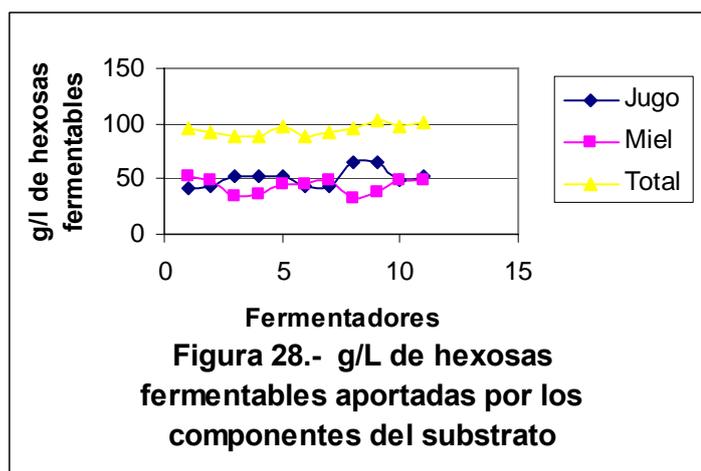
12	16,36	4,95	11,41	40	4,1	3,53	4,80	1,00	35	100	72,51	6,36	24	0,200
13	16,32	4,76	11,56	39	4,2	3,60	4,81	0,96	50	100	72,88	6,29	24	0,200
14	16,42	5,77	10,65	38	4,5	2,84	5,20	0,72	60	100	78,25	6,02	23	0,226
15	16,72	5,39	11,33	36	4,4	3,04	5,10	0,86	50	100	74,79	6,12	21	0,243
16	16,74	5,57	11,17	38	4,5	2,90	5,21	0,90	65	100	76,33	6,02	22	0,237
17	16,25	7,55	8,70	40	3,7	5,12	4,75	1,56	55	100	74,51	6,81	24	0,198
18	16,32	6,45	9,87	40	3,7	5,58	4,77	1,54	50	100	74,53	6,61	24	0,199
19	16,00	7,45	8,55	40	4,0	4,02	4,50	1,00	60	100	71,68	6,98	22	0,205
20	15,23	5,09	10,14	36	4,1	3,43	4,40	1,38	35	100	70,23	6,71	22	0,200
21	14,48	5,99	8,49	36	3,7	5,39	4,20	1,22	40	100	70,59	6,88	21	0,200
22	15,50	5,57	9,93	36	4,3	2,50	4,60	1,12	30	100	72,16	6,81	22	0,209

En los **Anexos 20, 21 y 22** se compilan las características de los jugos de caña energética pasterizados incluida la temperatura a que pudieron enfriarse, de las melazas utilizadas y de los substratos las Mezcla Jugo+ Miel y Miel sola antes de fermentarse. Por su parte, en las **Figuras 24, 25, 26 y 27** se graficaron las principales variables fermentativas y la de composición de hexosas fermentables.



El procesamiento estadístico contenido en el **Anexo 23** mostró lo siguiente:

- No hay diferencias significativas entre el substrato Mezcla Jugo+Miel y el de Miel sola en el pH, Acidez, temperatura y μ_e representada en la **Figura 23**; pero son significativas en el Yp/s siendo mejor los resultado con la Mezcla como se puede observar en la **Figura 24**, y en g/L de hexosas fermentables que fue mayor en la Miel sola que en la Mezcla observable en la **Figura 27**. Esto último se debió a la operación manual en los disolutores estáticos de la destilería Paraíso, pero principalmente a la inestabilidad del % Brix con que llegaron los jugos pasterizados del central azucarero. La **Figura 28** muestra graficados los g/L de hexosas fermentables del **Anexo 22** aportados por el Jugo, la Miel y el Total del substrato **Mezcla**, que evidenció que la variabilidad de estos en los Jugos que depende del agua empleada en las molidas de caña energética entre otros, fue de 42,1 g/L a 64,8 g/L, o sea, con alta incertidumbre.



Por otra parte, se obtuvieron los modelos estadísticos recogidos en la **Tabla 3.27** de variables fermentativas alcohólicas comparando ambos sustratos, lo cual es otro aporte al ser primera vez que en el país se realiza empleando jugos de caña energética como componente del medio basal industrial, en condiciones reales de producción con ambas fábricas integradas material y energéticamente, por lo que estos modelos estadísticos se obtuvieron a partir de datos reales de la práctica que representan también el criterio de la verdad científica.

Se procesaron los datos de la **Tabla 3.25** para $n=11$ se obtuvo:

$$d_L=0,927 \quad d_U=1,324 \quad 4-d_L=3,073 \quad 4-d_U=2,676$$

En el **Anexo 24** se brindan las salidas de la modelación estadística donde se señala que el modelo de Y_p/s se manifiesta también en los Y_p/x , Y_t/s e Ind. toda vez que los mismos son resultado de aplicar tal y como lo establece el MINAZ la contabilidad alcohólica en sus destilerías.

Tabla 3.26.- Modelos estadísticos de variables fermentativas alcohólica industriales

MODELO	R^2	d	Error Estándar
μ_e Mezcla = 1,031 μ_e Miel sola	0,975	1,513	0,023
% Y_p/s Mezcla = 1,078 % Y_p/s Miel sola	0,998	2,371	0,014
% Y_x/s Mezcla = 0,994 % Y_x/s Miel sola	0,999	1,504	0,014
% Y_p/x Mezcla = 1,079 % Y_p/x Miel sola	0,995	2,235	0,022
% Y_t/s Mezcla = 1,072 % Y_t/s Miel sola	0,999	2,315	0,012
% Ind. Mezcla = 0,704 % Ind. Miel sola	0,983	2,096	0,064

Ind. : Pérdidas indeterminadas en fermentación.

No existió autocorrelación alguna en los residuos ni sin decisión, validados como adecuados de acuerdo a los valores de los Errores Estándares y fuertemente correlacionadas sus variables.

Estos modelos estadísticos y los resultados del procesamiento estadísticos referidos, validaron industrialmente el mejor comportamiento fermentativo alcohólica de la mezcla de jugos de caña energética con melaza que la melaza sola, y permitió precisar lo siguiente:

- Se determinó que las μ_e y las $Y_{x/s}$ no fueron diferentes con uno y otro sustrato.
- Con la Mezcla se obtuvieron mayores rendimientos en $Y_{p/s}$ y $Y_{t/s}$ que corroboró los resultados de laboratorio y se manifestó también en su menor **Ind.**, lo que demostró que los inhibidores naturales de las melazas afectan la glucólisis hasta etanol, no así la de biosíntesis de la biomasa de acuerdo a lo antes expuesto con relación a las $Y_{x/s}$. Al analizar más profundamente con enfoque holístico se determinó que el efecto negativo sobre la fermentación alcohólica de los inhibidores de la melaza, predominó sobre el originado por los jugos por su mayor I/A.T. mostrados antes en los **Tablas 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6**. Este comportamiento del rendimiento alcohólico con el sustrato Mezcla de jugos de caña energética con melaza, lo sitúa en este aspecto como un sustrato intermedio entre miel B y jugos de caña azucarera.
- No se puede afirmar que los jugos de caña energética son un componente de sustrato superior al de la Miel Final sola pues esta les aporta azúcares, biotina, Mg y K entre otros; sino, que la mezcla de ambos se comporta como mejor medio basal industrial con levadura que la melaza sola, considerando también la mayor riqueza en A.F./Brix de los mismos como se demostró en el epígrafe **3.4.1.3**.

3.5.2.6 Caracterización de la destilación y de las producciones.

Durante la destilación automatizada de los sustratos fermentados se comportó muy estable y en estado estacionario, por lo que la posible incidencia de esta operación y proceso unitario en las producciones y sus calidades se desestimaron, pues fueron las mismas con uno y otro sustrato. A continuación en las Tablas 3.27 y 3.28 se brindan las características medias estadísticas de las calidades según los reportes del laboratorio de la destilería Paraíso por su Esquema de Control normal.

Tabla 3.27.- Producciones alcohólicas

Parámetro	NORMA			R E A L					
				Mezcla Jugo+Miel			Miel sola		
	Técnico A	Técnico B	Aguardiente Crudo	Técnico A	Técnico B	Aguardiente Crudo	Técnico A	Técnico B	Aguardiente Crudo
⁰ G.L	95,0	93,0	75 ±1	95,4	95,7	74,8	95,4	95,7	74,7
T Mn O4 min	5	-	-	9	-	-	8	-	-
mg HAc/l	-	-	20-60	-	-	47	-	-	28
mg aldeh./l	30	-	-	25	-	-	24	-	-
mg estere/l	100	-	15-55	79	-	47	77	-	38
mgAl.Sup/l	-	-	100-350	-	-	183	-	-	248

Tabla 3.28.- Subproductos asociados

Subproducto	Norma	R e a l	
		Mezcla jugo+Miel	Miel sola
Crema de levadura	3 g/l – 8 g/l base seca	5,4	5,4
Gas Carbónico	99,8 % v/v mínimo	99,9	99,9

El análisis profundo de las tablas anteriores mostró lo siguiente:

- Todas las producciones alcohólicas estuvieron dentro de las normas de calidades con uno y otro substrato, y para el caso del alcohol Técnico B que supera al Técnico A en ⁰G.L, se debió a que son mayormente cabezas de la columna Rectificadora .
- La Acidez en el Aguardiente Crudo se constata fácilmente que son más altas con la Mezcla que con la Miel sola, aspecto que reiteró los resultados de la prueba realizada en 2002, explicable por la naturaleza más ácida y con menos poder buffer de los jugos; además, los Alcoholes Superiores son sustancialmente menores, lo cual se asoció al hecho de que al reducirse el insumo de melaza en poco más del 53%, en igual proporciones disminuyeron los aportes de leucina e isoleucina por la misma, o sea, los aminoácidos de donde la levadura al metabolizarlos obtiene fuentes de nitrógeno con la formación de los alcoholes superiores amílico e isoamílico respectivamente. Previo añejamiento, este aguardiente fue empleado para elaborar ron Carta Blanca “Paraíso”, al que se le certificó por el Panel de Degustación de Cuba Ron S.A. calidad superior para ron tipo B.
- La concentración de biomasa de levadura fueron las mismas con uno y otro substrato.

- La calidad del gas carbónico no registró diferencia alguna, aunque se observó una disminución de la producción con la Mezcla, que se asoció al menor contenido de azúcares mostrado antes en la **Figura 22 Jugo 2003** epígrafe 3.4.1.1. Esto se originó por lo engorroso de estabilizar la concentración manualmente en los disolutores estáticos, dada la variabilidad del porcentaje Brix de los jugos pasteurizados procedentes del central azucarero.

3.5.2.7 Caracterización de las vinazas de la mezcla jugos+miel.

El propósito fue determinar y demostrar si a las nuevas vinazas le es aplicable la metodología existente para fertirriego de caña azucarera, establecida para las vinazas normales de destilerías con melazas solas.

En la Tabla 3.29 se compilan los resultados de ambos laboratorios y el análisis estadístico se encuentra en el **Anexo 25**.

Tabla 3.29.- Caracterizaciones física y química de las vinazas .

Mezclas de Jugos de Caña Energética pasteurizados+ Miel Final

Muestra	% Brix Final	% Reductores Residuales	pH	Conductividad Eléctrica	DQO
15	6,55	1,12	4,15	14 950	52 900
4	4,65	0,70	4,44	14 000	57 600
12	5,98	0,96	4,63	16 950	64 000
3	4,96	1,08	4,39	14 300	59 200
8	6,45	2,04	4,36	10 800	67 000
10	5,88	0,70	4,03	11 000	51 200
11	5,88	0,70	4,21	17 450	59 200

Miel Final sola

Muestra	% Brix Final	% Reductores Residuales	pH	Conductividad Eléctrica	DQO
1	4,77	0,92	4,44	14 050	59 200
2	5,16	0,64	4,47	14 050	59 200
9	5,66	0,98	4,00	14 950	65 600
13	5,68	1,06	4,68	16200	72 000
14	5,78	0,94	4,70	16 300	72 000
16	5,77	0,72	4,21	16 300	74 000
17	5,99	1,22	4,19	16 200	72 000

Los resultados del procesamiento estadístico demostró que:

- Solo existió diferencia significativa en la DQO que fue menor en la vinaza de la Mezcla dado a que la relación A.F./Brix es mayor en los jugos que en las melazas como se demostró en el epígrafe 3.4.1.3, disminuyó los inhibidores de la fermentación

alcohólica de la melaza al emplearse menos de la mitad de esta en el sustrato; lo que contrarrestó el efecto adverso que tiene los azúcares infermentables naturales que tienen los jugos de caña energética, todo lo cual explica que se hayan aprovechado mejor sus sólidos solubles por la levadura.

- Diagnosticadas aptas para fertirriego se emplearon en este.

3.5.2.8 Evaluaciones en fertirriego de caña azucarera.

Se demostró en condiciones reales de la producción agrícola mejores resultados con relación a lotes testigos regados con agua y utilizando fertilizantes químicos. Ello validó preliminarmente la factibilidad real de sostenibilidad ambiental, social y económica local de estas investigaciones, para el uso inmediato de los jugos pasterizados. El efecto económico favorable avalado por la empresa azucarera alcanza los \$ 70,00/ha-año por ahorro de dichos fertilizantes químicos y discretos mayores rendimientos agrícolas.

3.5.2.9 Caracterización del rendimiento en litros a 100⁰G.L./ t de caña energética.

En la Tabla 3.30 se brinda una compilación desde 2002 hasta el 2005 del rendimiento expresado en L de alcohol a 100⁰ G.L./t de caña energética, obtenidos por balances de g/L de hexosas fermentables y las características específicas de la destilería Paraíso.

Tabla 3.30.- Rendimientos en L de alcohol a 100⁰G.L./t de caña energética

Año	Forma de cosecha	% Equivalente de Materia Extraña	Lugar de procedencia	Molino	L/t
2002	Integral mecanizada	37,1	CAI Melanio Hernández	Tandem	18,4
2003	Integral mecanizada	38,1	Empresa Azucarera Melanio Hernández	Tándem	18,1
2004	Integral mecanizada	39,8	Empresa Azucarera Melanio Hernández	Tándem	17,3
2004	Integral mecanizada	38,7	Empresa Azucarera Melanio Hernández	Tándem	17,6
2005	Integral mecanizada	35,2	Empresa Azucarera Melanio Hernández	Tándem	21,7
2005	Integral mecanizada	34,6	Empresa Azucarera Melanio Hernández	Tandem	21,9

Varias consideraciones científicas pudieron obtenerse, como fueron:

- En caña energética como biomasa combustible solo la tierra es materia extraña, lo que explica introducir el término Equivalente para simularla a la azucarera.
- Las molidas de inicio y terminación de la zafra de 2004 fueron las que registraron los menores rendimientos pues se molieron parte de las cañas con siete y nueve meses por causa de fuerza mayor.
- La molida de 2005 con cañas de 12 a 14 meses redujo su rango de incertidumbre entre 21,7 y 21,9 L/t denotando las incidencias de la edad de las caña y las operaciones en los

molinos del central azucarero entre otras, que favorecen sensiblemente los resultados satisfactorios en la integración material central-destilería.

- Desde la ingeniería de procesos se pudo estimar que como promedio una tonelada de caña energética cosechada mecanizada integralmente fuera de contienda azucarera con propagación de levadura mediante el proceso Jacquemin en la empresa azucarera Melanio Hernández, rinde alrededor de tres a cuatro veces menos etanol con la tecnología instalada en Cuba , que igual peso de caña azucarera cosechada limpia en zafra empleando proceso Melle-Boinot destinada totalmente a bioetanol, y tres veces más que la melaza originada con la misma cantidad de caña azucarera produciendo azúcares y como subproducto la melaza de acuerdo a la Tabla 1.2 del Capítulo I.

3.5.2.10 Caracterización de la integración central-destilería en la empresa azucarera Melanio Hernández para de uso inmediato de los jugos de caña energética.

La Tabla 3.31 muestra los resultados de los balances de materiales realizados del consumo diario de sustrato fermentado y rendimiento, en el rango de incertidumbre del porcentaje de alcohol de acuerdo a la concentración de A.F. expuesta en el Capítulo II, se tuvo en cuenta la estequiometría de la reacción bioquímica.

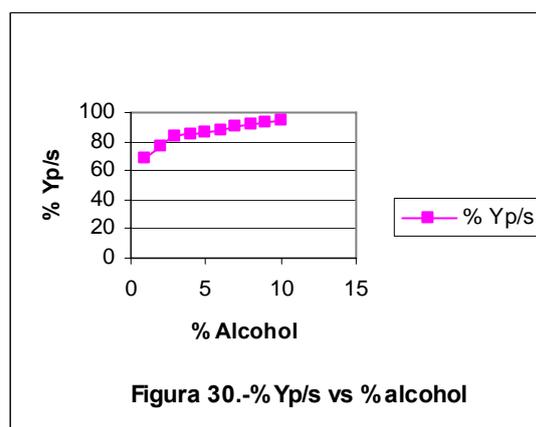
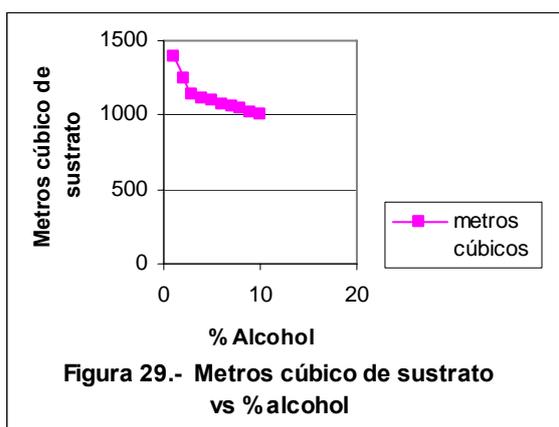
Tabla 3.31.- % alcohol , consumo de sustrato fermentado (batición) y rendimiento para 102 g/L de A.F.

% alcohol	m ³ de batición/día	% Y p/s
4,5	1 389	68,5
5,0	1 250	76,1
5,5	1 136	83,7
5,6	1 116	85,2
5,7	1 096	86,8
5,8	1 076	88,3
5,9	1 059	89,8
6,0	1 042	91,3
6,1	1 024	92,9
6,2	1 008	94,4

De acuerdo a la Tabla 3.31 en dicha destilería, lo objetivamente alcanzable tiene el valor superior de la incertidumbre en 5,7% alcohol empleando melazas solas que aportan los 102 g A. F./L. Al utilizar el modelo correspondiente de la **Tabla 3.26** con el nuevo sustrato Mezcla de jugos de caña energética con melaza a la misma concentración de

A.F., el rendimiento se incrementa en 1,078 veces y alcanzó poco más de 6,1 % alcohol en volumen.

Las **Figuras 29 y 30** ilustraron gráficamente estos resultados, donde se pudo constatar en la **29** la gran influencia del % alcohol en los insumos de sustratos y en la **30** que el Yp/s se incrementa al aumentar el % alcohol, lo que evidencia que el empleo de los jugos como componente del sustrato origina un ahorro de melaza con disminución de el costo del insumo materia prima y aumenta el rendimiento en 1,078 veces.



Al caracterizar en base a cinco por ciento de alcohol, se requiere 1 250 m³ de batición/día para producir la Norma Potencial con melazas de 85 %Brix y 48,2 %A.F. cuya densidad es 1,4454 g/ml. De acuerdo a la **Tabla 3.23** la incertidumbre del Brix de estos jugos durante cuatro años de molidas registró el valor inferior de 7,04 % y superior de 10,68%. Los balances de materiales que utiliza el modelo estadístico expuesto en el epígrafe **4.1.3** mostraron los resultados en la Tabla 3.32.

Tabla 3.32.- Características de los jugos de caña energética del tándem

% Brix	g/ml	kg de sol. solub./ m ³	kg de A.F./ m ³
7,0	1,0259	71,8	46,8
7,5	1,0279	77,1	50,3
8,0	1,0299	82,4	53,8
8,5	1.0320	87,7	57,2
9,0	1,0340	93,1	60,7
9,5	1,0361	98,5	64,2
10,0	1,0381	103,8	67,7
10,5	1,0402	109,2	71,3
11,0	1,0423	114,6	74,8
12,0	1,0465	125,6	81,9

Se calcularon los m³ de jugo/día que puede procesar enriquecidos con melaza a 102 kg de A.F./m³, que sobre las bases de cinco por ciento de alcohol , ocho por ciento Brix en los jugos de caña energética y melaza con sus especificaciones dentro de las normas de calidades se tiene:

Balance en volumen

$$1\ 250\ \text{m}^3\ \text{de batición/día} = X\ \text{m}^3\ \text{de jugos/día} + Y\ \text{m}^3\ \text{de Miel Final/día} \quad (\text{IIIa})$$

Balance de A.F.

$$1\ 250\ \text{m}^3\ \text{de batición/día} \cdot 102\ \text{kg de A.F./ m}^3 = X\ \text{m}^3\ \text{de jugos/día} \cdot 53,8\ \text{kg A.F./ m}^3 + Y\ \text{m}^3\ \text{de Miel Final/día} \cdot [1\ 445,4\ \text{kg / m}^3 \cdot (48,2\ \% \text{ sólido. solub. fer./ } 85\ \% \text{ sólido.soluble)]$$

$$\text{Al despejar y operar se obtuvo: } Y = 155,559 - 0,0656 X \quad (\text{IIIb})$$

Sustituyendo por (IIIb) en (IIIa) y efectuando los cálculos se encuentra que:

$$X = 1\ 171\ \text{m}^3\ \text{de jugos/día} \quad \text{y} \quad Y = 79\ \text{m}^3\ \text{de Miel Final/día}$$

Con similar procedimiento de cálculos para los balances se hallaron los datos que se muestran en la Tabla 3.33 para la Norma Potencial actual y la futura inmediata de 800 HL/día; así como, para regímenes de molida potencial actual del tándem y el factible de incrementar cuando la destilería también lo haga o se necesite acumular bagazo como se tiene previsto en la empresa azucarera Melanio Hernández.

Tabla 3.33.- Puntos de Equilibrio de integración material para 102 g de A.F./L y cinco por ciento alcohol en la batición.

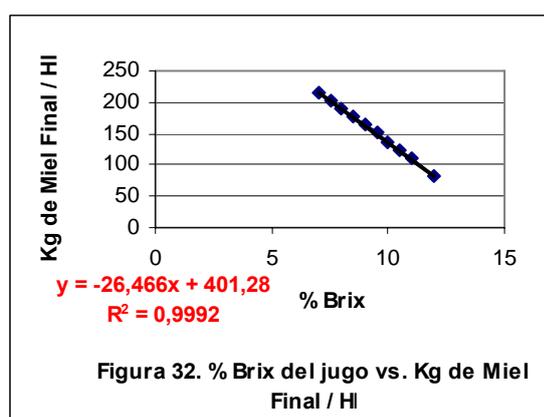
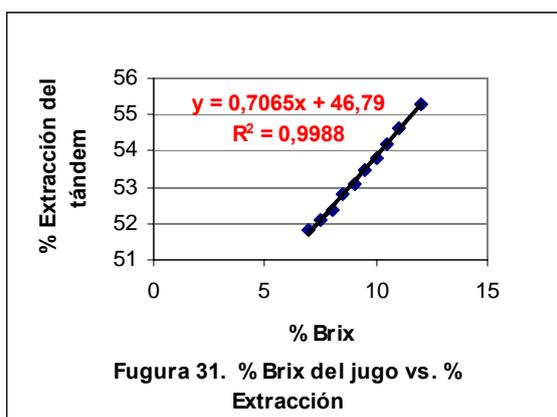
% Brix	Molidas en t del Tandem		Insumos de la Destilería			
	% extracción de equilibrio		m ³ de jugos / día		m ³ de Miel Final / día	
	2 300 t/día	2 875 t/día	600 HL/día	800 HL/día	600 HL/día	800 HL/día
7,0	51,8	55,2	1 161	1 548	89	119
7,5	52,1	55,6	1 166	1 555	84	112
8,0	52,4	55,9	1 171	1 561	79	106
8,5	52,8	56,3	1 177	1 569	73	98
9,0	53,1	56,7	1 182	1 576	68	91
9,5	53,5	57,0	1 187	1 583	63	84
10,0	53,8	57,4	1 193	1 591	57	76
10,5	54,2	57,9	1 199	1 599	51	68
11,0	54,6	58,2	1 204	1605	46	62
12,0	55,3	59,0	1 216	1 621	34	46

La tabla anterior está calculada con molidas de 2 300 t/día para 600 HL/día y 2875 t/día para 800 HL/día, estos último se deben alcanzar entre 2009 y 2010 según inversiones en

ejecución en la destilería, y en el tándem mediante ajustes de la separación entre las masas de los molinos, y siempre habrá que completarles los A. F. con melaza. Al realizar un análisis profundo se demostró lo siguiente:

- Los porcentajes de extracción de *equilibrio* en la integración central-destilería para jugos con Brix entre siete y 12 por ciento, tiene el rango de incertidumbre en su valor inferior de 51,8% y el superior en 59,0% para las condiciones actuales y futuras.
- En las cuatros molidas no continuas para iniciar y terminar zafra, realmente se han obtenido de las mediciones y los cálculos correspondientes entre 55% y 67%, este último al inicio de la molida de 2003 donde se registraron los porcentajes de Brix más bajos de los 29 grupos de mediciones asociado a un exceso de agua en esa molida.
- En las columnas de la Tabla 3.33, el rango de incertidumbre de los m³ de jugos/día en el mismo intervalo de % Brix para 600 HI/día y 800 HI/día es muy estrecha, no llegando al 5% la diferencia entre los valores inferior y superior respectivamente. Al analizar el otro componente la Miel Final del substrato es muy significativa la diferencia, ya que alcanza el 73%, lo que demostró la decisiva incidencia del % Brix de los jugos en las necesidades de melaza para completar los azúcares entre otros, ya que para 7 % Brix el índice de insumo de melaza hallado fue 214,4 kg/HL, que se redujo a 81,9 kg/HL para 12 %Brix en los jugos mezclados de caña energética.

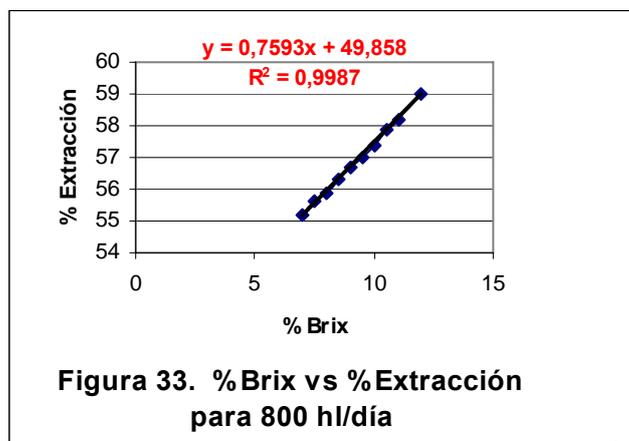
Las **Figuras 31** y **32** permitieron observar claramente parte de lo antes expuesto.



La **Figura 31** muestra como al incrementarse el %Brix de los jugos mezclados de caña energética, se puede aumentar el % Extracción en el tándem, que se manifiesta en una reducción del índice de insumo de Miel Final como ilustra la **Figura 32**.

En la **Tabla 3.22** la molida de 2005 registró una Extracción del 53,8 % del peso de la caña energética, por lo que estuvo dentro del rango estimado de incertidumbre del Punto de Equilibrio representado en la **Figura 31**. Por su parte, en el **Anexo 20** en la molida

de 2003 las **Molida 1, 2 y 5** estuvieron por encima del valor máximo, lo que explica el %Brix bajos e inestables registrados en la misma.



En la **Figura 33** y su ecuación se muestra como se comportará el *punto de equilibrio*, cuando la destilería incremente su Norma Potencial a 800 H/día y el tándem procese 2 875 t/día de caña energética

- La validez para la generalización de todo lo anterior será siempre y cuando no haya contingencia en la destilería que provoque parada alguna, lo cual objetivamente no siempre es y será seguro, por lo que para molidas altas, estables e ininterrumpidas de caña energética; la tecnología de conservación obtenida y expuesta no es una opción sino una necesidad que tiene que estar lista desde que se inicie la molida

3.6 Actualización del costo de los jugos de caña energética para etanol

En el **Anexo 16** se mostró la amortización por 7,2 años de las inversiones capitalizables realizadas a la parte que corresponde a los jugos de caña energética a los costos vigentes hasta 2006, con la molida y procesamiento de los jugos en 2003 en la destilería Paraíso. En el epígrafe **2.9** del CAPÍTULO II se detallaron los nuevos precios de 2007 para jugos diluidos de caña azucarera para etanol.

En base a estos últimos a continuación se brinda en la **Tabla 3.34** la actualización del costo en moneda nacional simulando el mismo escenario, pero tomando los resultados concretos 2002-2005 obtenidos en la empresa azucarera Melanio Hernández.

Tabla 3.34.- Formación del costo de los jugos de caña energética

Gastos comunes	U.M.	\$ CUP
Caña energética	\$ Peso	9 873 402
Planta moladora	“	620 250
Transporte ferroviario	“	1 7008 497
Centro de recepción	“	515 350
Extratiros		371 700
Purificación	“	98 550
TOTAL GASTOS COMUNES	“	13 097 749
Costo bruto	“	3 929 325
Deducción	“	-
Costo total	“	3 929 325
Jugo diluido 9,8 %Brix	t	169 068
Costo de la t de jugos sin deducciones	\$ Peso	23,24
Costo de la t de jugos con deducciones	“	13,94

A continuación se discute la ficha de costo:

- Se realizó con el costo elaborado por el Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar del MINAZ, para la caña energética cosechada integralmente.
- Se fijaron los mismos costos de extracción y purificación aunque esta última es menor para jugos de estas nuevas variedades.
- El %Brix es el real obtenido en 2005.
- Se mantuvo el 40% de deducciones igualmente por menor consumo de vapor, más no alcalización ni clarificación y el calentamiento a menor temperatura; se incorporó el alcohol por conceptos de mayor rendimiento Yp/s descrito en la **Tabla 3.27** y mayor calidad del Aguardiente Crudo expuesto en la **Tabla 3.28**, también ahorros de melaza y agua, y no empleo de los ventiladores en los centros de recepción ni en las combinadas cañera que consumen menos diesel al tener 2,3 t de menor peso.
- La partida Deducción se respetó y se mantuvo sin valor también.

El costo anterior se llevó a la misma base de A.F. de los jugos de caña azucarera, para lo cual se utilizó el modelo estadístico obtenido en el epígrafe **3.4.1.3** y se determinó:

$$A.F. = 9,8 \cdot 0,6524 = 6,39\%$$

$$\text{Relación A.F. caña azucarera/caña energética} = 12,00 / 6,39 = 1,87$$

Ajuste del costo a los mismos A.F. = \$ 13,94 . 1,878 = \$ **26,07/t** de jugos de caña energética.

Lo anterior evidenció que por cada tonelada equivalente de jugos de caña energética con el mismo contenido de A.F., se reducen los costos de la materia prima entre \$ 1,136 y \$ 1,927 por tonelada de 2009 a 2012 comparado con los jugos de caña azucarera de referencia, lo cual favorece al aumento al valor agregado de la cogeneración al procesar esta nueva gramínea y valida su viabilidad económica.

Este resultado es producto de la realización de una simulación con sus propias incertidumbres, por lo que no se puede tomar como absoluto por una parte, y por otra, los volátiles precios del petróleo en los mercados, hace que toda la actividad de cultivo, cosecha y transportación que implican consumos de diesel, registren modificaciones en muy corto tiempo. Esto también favorece la competitividad de los centrales azucareros que procesen caña energética en el período inactivo interzafra, generando electricidad con biomasa vegetal y produciendo materias primas para la industria de los derivados, como lo es destinar sus jugos para la producción de bioetanol.

Conclusiones parciales.

1.- Se demostró que los jugos de caña energética de las variedades C-90 176 y C-90 178 son significativamente diferentes a los de caña azucarera y sus melazas, como substrato para la fermentación alcohólica, basado principalmente en que no clarifican, calentados mas allá de 90⁰C se originan inhibidores a la misma, poseen mayor acidez con pH de 4,30 a 4,94 y azúcares infermentables naturales; y se determinó que son un nuevo componente de substrato industrial para la fermentación alcohólica .

2.- Se desarrollaron las nuevas tecnologías de preparación y de conservación específicas para los jugos de estas variedades, mediante pasterización de 80⁰C a 90⁰C por 40 minutos mínimos y mezcla con melaza de caña azucarera.

3.- Bajo las condiciones de ensayos la cepa C/25-7-18 fue la de mejor rendimiento en bioetanol y total con menores pérdidas indeterminadas en fermentación, seguida de la NRRL s/n cuando se empleó en cualquier proporción, el nuevo componente de medio basal industrial mezcla jugos de caña energética con melaza de caña azucarera, en condiciones óptimas de laboratorio .

4.- Las evaluaciones industriales ejecutadas en la empresa azucarera Melanio Hernández lo siguiente:

▪ ▪ ▪ Central azucarero:

- Fue adecuado emplear no más de 10% de agua de imbibición con valores puntuales de 21,4% cuando coincide con el lavado de los molinos, en la planta moledora procesando solo caña energética integral.

- Se determinó que el tiempo necesario de pasterización industrial fue de 40 minutos de 80⁰C a 90⁰C.

- De la caracterización fermentativa alcohólica de los jugos de caña energética pasterizados industrialmente, se obtuvo el modelo estadístico: % A.F.= 0,6524 % Brix que demostró la mayor riqueza de azúcares fermentables en los sólidos solubles de 1,15 veces, con relación a la de melaza de caña azucarera.

▪ ▪ ▪ Validación de la tecnología de uso inmediato de jugos de caña energética en la destilería Paraíso:

- Se obtuvo el modelo de rendimiento de Monod $\%Yp/s$ Mezcla jugos+miel= 1.078 $\%Yp/s$ melaza sola, que caracterizó el mejor comportamiento fermentativo alcohólico del nuevo sustrato con relación a la Miel Final.

- Se demostró que no se afectaron las calidades con el nuevo sustrato, de las producciones principales y subproductos asociados, y se mejoró la del Aguardiente Crudo con 183 p.p.m. de alcoholes superiores contra 248 p.p.m. registrado cuando se procesó melaza sola, así como, mayores contenidos de ésteres y ácidos orgánicos.

- Las nuevas vinazas originadas fueron similares a las tradicionales procedentes de melaza sola, empleadas en fertirriego reportaron un efecto económico de \$ 70,00 por ha-año en ahorros de fertilizantes químicos y discreto mayor rendimiento agrícola cañero; lo que evidenció preliminarmente su viabilidad ambiental local.

- Se amortizó por 7,2 años las inversiones capitalizables realizadas a la parte que corresponde a los jugos de caña energética, y se determinó el aumento al valor agregado de \$ 2 092,98 CUP y \$ 251,08 CUC por cada fermentador industrial que utilice los mismos.

▪ ▪ ▪ Integración central-destilería:

- Se demostró el rango de incertidumbre de 51,8% a 59,0% de extracción en el tándem para jugos mezclados con 7% a 12% Brix.

- Se determinó que una tonelada de caña energética cosechada integralmente entre mayo y diciembre, rinde de tres a cuatro veces menos bioetanol que igual peso de caña azucarera limpia de enero a abril destinada toda a bioetanol, y tres veces más que las melazas originadas como subproducto.

5.- Se actualizó la ficha de costo de los jugos de caña energética y se determinó, que como materia prima para la fermentación alcohólica, el menor costo entre \$ 1,14/t a \$ 1,93/t que los jugos diluidos de caña azucarera con los mismos azúcares fermentables y destino.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1.- La caracterización completa de los jugos de las nuevas variedades de caña energética representa la contribución científica teórica, al demostrarse que son un nuevo componente de medio basal industrial adicional no convencional nunca antes reportado en lugar alguno, que originó desarrollarles tecnologías específicas e identificar cepas de levadura que mejor los fermentara, que facilitó el empleo de esta nueva fuente de carbono.

2.- Se desarrolló y se le concedió patente CU 23 211, la tecnología específica de preparación de los jugos de caña energética para uso inmediato en la fermentación alcohólica; y se demostró su viabilidad técnica, económica y ambiental preliminar en la empresa azucarera Melanio Hernández que permitió precisar lo siguiente:

- Fue aplicable sin riesgos de tupiciones en conductos y atoro de los molinos 10% de agua de imbibición al 10% con incrementos puntuales hasta 21,4% cuando se lavaron los molinos.

- La pasteurización de 80⁰C a 90⁰C fue efectiva a partir de los 40 minutos en adelante.

- Se determinó que el 65,24% de los sólidos totales en los jugos mezclados y pasteurizados de caña energética, son azúcares fermentables alcohólicos.

- El ajuste de los azúcares totales en los jugos de caña energética a 110 g/L con melaza de caña azucarera fue efectiva para la destilería Paraíso, y manifestó un rendimiento alcohólico 1,078 superior a la melaza sola.

- Las calidades del aguardiente crudo fue superior principalmente al registrar 183 p.p.m. de alcoholes superiores, menor a las 248 p.p.m. obtenidas con melaza sola, así como, mayores acideces y ésteres.

- Las nuevas vinazas originadas fueron similares a las procedentes de melaza solas, y acusaron una DQO poco más de 13% menores a las de referencia, con favorable mitigación ambiental y efecto económico \$70,00/ha-año ambos preliminares, cuando se aplicaron y evaluaron en fertirriego

3.- Se desarrolló la tecnología específica de conservación de jugos de caña energética mediante mezcla con melaza de caña azucarera seleccionada con solicitud de patente de Adición OCPI 2007-0164, y se determinó que las siguientes principales

especificaciones son factibles técnica y económicamente para su almacenamiento como materia prima con destino a la fermentación alcohólica

Brix = 75 % mínimo

ufc/g = 160 000/g máximo

Descenso del Brix = 1,5% máximo

Días de almacenamiento = 80 máximo

5.- Se demostró que el menor costo de \$ 1,14 CUP/t a \$ 1,93 CUP/t de los jugos de caña energética con relación a los jugos diluidos de caña azucarera, ambos como substrato para la fermentación alcohólica al mismo contenido de azúcares fermentables, determinó la factibilidad económica de su utilización comercial con cualquiera de las dos nuevas tecnologías específicas desarrolladas para ellos.

RECOMENDACIONES

- 1.-** Utilizar toda la experiencia acumulada con caña energética en la empresa azucarera Melanio Hernández de Sancti Spíritus, por las que decidan por esta diversificación en período inactivo de los centrales azucarero, así como, incorporarla al paquete tecnológico de esta nueva gramínea.

- 2.-** Profundizar el estudio de la operación de la planta moledora del central azucarero Melanio Hernández, a fin de precisar el mínimo de molinos necesarios para procesar solo caña energética.

- 3.-** Extender a propagación industrial en la prefermentación, el estudio del empleo del substrato Mezcla con jugos de caña energética en la destilería Pasraíso, para facilitar su utilización en todas las etapas del proceso fermentativo, que viabilice su generalización a cualquier destilería del país

- 4.-** Estudiar alternativas específicas de concentración de los jugos de caña energética, a los efectos de incrementar su contenido en la conservación, y extender su utilización en la alimentación animal con las especificaciones de calidad propuesta.

- 5.-** Estudiar la mezcla de jugos de caña energética con miel B tanto para la tecnología patentada de uso inmediato en la fermentación alcohólica, así como, su conservación con igual propósito y para la alimentación animal, y utilizar para ello el procedimiento heurístico definido en este trabajo

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, R. (2005). Alcohol orgánico: otra alternativa de diversificación. <http://www.monografia.com> Accedido 17-04-06 .
2. Abreu, R. (2008). Bioetanol: economía y sociedad. Artículo aceptado para publicar en la Revista Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional de Colombia. ISSN 0120-5609
3. ACE. (2006). Status:2006. Etanol Handbook. Disponible en: www.ethanol.org Accedido 23-01-07 .
4. Almazán, O. (2005). Comentarios a Power Point: “Un nuevo amanecer para programas de etanol carburante: ¿ Realidad o ficción?. CD-ROM .
5. Alonso, A.; V. García; E. Ugarteche y Y. Díaz. (2003). Introducción a la Ingeniería. Compiladores principales. Editorial Félix Varela, La Habana.
6. Álvarez, P. y A. Rosso. (2005). Incertidumbre de Medición en el Análisis Químico y Microbiológico. <http://www.aga.org.ar> Accedido 18-04-06
7. Álvarez , J. A.; J. A. Fabelo y F. M. Romero (.2002) Conservación de las mieles para la fermentación alcohólica. Centro Azúcar (3), 15 -22.
8. Anónimo .(2007). Aplicación de la biotecnología en la industria agroalimentaria. <http://minie.uab.es> . Accedido el 27-11-07 .
9. Arias, E. y J. Lastra. (2004). Biotecnología-tecnología enzimática. <http://www.monografia.com> Accedido 12-12-06 .
10. Atkinson, B. (2004). The CDM, Kyoto protocol and the sugar, etanol and bio-fuel industry. International. Sugar Journal 106 (1267), 175-177.
11. Ayram, P. y Stark, T. (2004_). Integration of ethanol production with a sugar factory producing maximum cogeneration. International. Sugar Journal 106 (1267), 127-137 .
12. Batstone, D. B. (2005). Preservation of sugar cane and other plant materials. Patente US2005142265. Pub.No.: US 2005/0142265 A1.
13. BPH-PRAJ. (2006). Planta de 300 000 L/día de etanol combustible usando fermentación semicontinua , destilación multipresión y deshidratación por tamices moleculares. Intercontinental Infra-Project (P) Ltd., India, 7 p.
14. Brach, T. D. y M. T. Madigan. (2002). Biology of microorganisms. CENDA, Licencia Especial No. 001/2002. ISBN 0-13-086604-0
15. Bullion, A. (2004). Etanol Trend. Int. Sug. Journ. 106 (1267), 173-174 .
16. Campo, R. y otros . (1998). Variedades Energéticas de caña de azúcar: Una solución a la biomasa del presente y el futuro. Revista Cuba & Caña (1), 10-13.
17. Casas, C. y otros. (1992). Ingeniería Bioquímica. Editorial Síntesis, España.
18. Castro , F. (1998). Fidel Castro y la Producción Azucarera. Publicaciones Azucareras, MINAZ. La Habana, Cuba.
19. Castro, F. (2007). Condenados a muerte prematura por hambre y sed más 3 mil millones de personas en el mundo. Periódico Granma, Marzo 28. p. 1- 2 . ISSN 0864-0424.
20. CATIC. (2006). 300 000 L/day Molasses Fuel Alcohol. Catic Beijing Company. Catalogue, 37 p.
21. Correa, L. C. (2003). The Brazilian Ethanol Experience. Memorias. Seminario

- Internacional de Alcohol Carburante. 17 – 18 June, Cali, Colombia.
22. Coto, C. (2007). Expresión matemática y estadística de resultados experimentales. <http://www.quimicavica.qf.fien.uba.ar> . Accedido el 27-11-07.
 23. DEDINI. (2006). Especificaciones de jugos de caña para etanol. Convenio del ALBA Cuba-Venezuela. Documento interno.
 24. Deepchand, K. (2000a). Progress in Bagasse Development in Mauritius and Future Short-Term Prospects. Newsletter of the International Cane Energy Network. “ International Cane Energy News “, 2 – 3 .
 25. Deepchand, K. (2000b). Overview of bagasse energy cogeneration in Mauritius. ISSCT Engineering and Energy Workshop, Cogeneration.
 26. de la Cruz, R. (2002). Aplicación del Análisis Complejo de Procesos en el estudio de alternativas de integración de un Complejo Agroindustrial Azucarero y una Planta de Alcohol. Tesis para la opción del grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas, UCLV.
 27. Díaz, C. P. (2002). Uso de la caña de azúcar y sus subproductos como fuente de energía para los cerdos en ceba: sistemas de alimentación y sus formas de uso. <http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/producerdos/articulo2.htm> Accedido 11-11-03 .
 28. El Tabey Shehata, A. M. (1960). Afectation of alcoholic fermentation by 5-HMF contains in molasses. Applied Microbiology (8), 13 .
 29. Engel, A. y T. Reichert. (2000). Azúcar. Los trabajadores de las plantaciones pagan caro el proteccionismo del Norte. Anuario de Comercio Justo 1998-2000. [Internet](#). Accedido 11-11-03 .
 30. Ertola, R.; O. Yantoro y C. Mignone. (2007). Producción de levadura de panificación. <http://www.biologa.edu.ar> Accedido 27-11-07 .
 31. Estévez, R. (2006). Apuntes acerca de los jugos de caña para su uso en la fermentación alcohólica. Octubre de 2005. CD-ROM, Ministerio del Azúcar. 14 pp.
 32. Fabelo, J. A. (1999). Estudio de la etapa de Fermentación de Alcohol utilizando mezcla de diferentes substratos. Tesis para la opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Química y Farmacia, UCLV.
 33. Farrel, E. A.; R. C. William y R. Moriyama. (2006). Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. Science 311, 506-508. www.sciencemag.org Accedido 23-01-07 .
 34. Faust, O.; U. Præve y M. Scilnmann. (1984). An Integral Approach to Power

- Alcohol. *Información Técnica (8)*, ICIDCA, 8 pp.
35. FEDNA. (2007). Melaza de caña. <http://www.etsia.upm.es> . Accedido 27-11-07.
 36. Frazier, W. C. y D. C. Westhoff. (1993). *Microbiología de los Alimentos*. Editorial Acribía, Zaragoza, España
 37. Frihost. (2007). La sustancia con un olor más desagradable. <http://www.frishost.com/forums/vt-37641.html> Accedido el 03-06-07
 38. González , E. y otros (2005). *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos fermentativos y farmacéuticos*. Editorial Científico-Técnica. 263 pp.
 39. González, A. (2007). Ficha de Costo del Alcohol de Jugos y análisis. ARCAZ. CORPORACIÓN FINANCIERA AZUCARERA S.A. Power Point, 15 diapositivas. Excel, una tabla.
 40. Guilisaste, R. (2004). Investigación científico-tecnológica dará mayor competitividad a los vinos chilenos. <http://www.cervinc.cl/vinificacion> Accedido 02-04 05.
 41. Gujarati, D. N. (2005). *Econometría*. Primera y Segunda Partes. Edit. Felix Varela.
 42. Hernández, M.; R. Fuentes y J. Obregón. (1971). Efecto de los microorganismos en los jugos del tyandem. Memioria de la 38 Conferencia de la ATAC, 263- 281.
 43. Hernández, R.; J. Obregón; A. Vera y O. Romero. (1996). *Evaluación tecnológica de la cogeneración durante todo el año usando la Caña Energética como segundo combustible* SUSS-GEPROP-MINAZ. Proyecto nacional de investigación aplicada No. 00101175, 32 pp.
 44. Hernández, R.; J. Obregón; A. Vera y O. Romero. (1998). Cogeneración continua usando bagazo como combustible. *Int. Sug. Jour.*, 100 (1196), 423 – 427.
 45. Honig, P. (1987). *Principios de Tecnología Azucarera*. Tomos I y III. Ediciones Revolucionarias.
 46. ICIDCA. (1999). *Manual dos derivados da cana de açúcar*. ABIPTI- Associação dos institusiões de Pesquisa Tecnológica. 1ra. Edición en portugués.
 47. ICIDCA. (2000). Manual de los derivados de la caña de azúcar. CD-ROM.
 48. IPROYAZ. (2002a). *Estudio de factibilidad económica. Prueba y desarrollo escala industrial Caña Energética*. CAI Melanio Hernández. Sancti-Spíritus.
 49. IPROYAZ. (2002b). Sistema de Enfriamiento de Jugos de Caña Energética y

- Jugos de los Filtros. *Proyecto Ejecutivo 0324/02*. Filial Sancti-Spiritus.
50. IPROYAZ. (2004). Diversificación alcoholera destilería Paraíso Empresa “Melanio Hernández”. 5160019IE01010. *Estudio de factibilidad económica*. 30 pp. Filial S.S.
51. ISO. (2002). WP4. Quality Assurance and Uncertainty Assessment. <http://www.metropolis.network.net> Accedido 18-04-06 .
52. Jaques, K; T. P. Lyons y D. R. Kelsall. (1999). The Alcohol Textbook. Printed by The Midlands Book Typesetters. Nottingham University, U.K. 3rd. Edition.
53. Jay, J. y F. Cruz. (1998). Investigaciones, tecnologías y sistemas para la producción de alcohol. *Revista CubaAzúcar XVII (4)*, 31 -33. ISSN 0590-2916.
54. Jolly, L y J. Woods. (2004). A new dawn for mandated fuel-ethanol programs: Separating fact from fiction. *International Sugar Journal 106 (1267)* , 120 – 125 .
55. Jorge, H. y otros. (2005). Variedades energética: una alternativa económica de producir energía. 1er. Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible en el Trópico. <http://www.uv.mx/citro/reunion> . Accedido 28-10-06.
56. Jover, J. A. (2000). *Caracterización de la fermentación alcohólica de melazas en función de los componentes volátiles no etanol*. Tesis para la opción del grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. Facultad de Química y Farmacia UCLV.
57. Kafarov, V. (2005). Los problemas de incertidumbre en los balances de materiales y energía. Jornada Iberoamericana para la producción de bioetanol y el uso de residuales. Colombia. [Internet](http://www.internet). Accedido 24-02-06.
58. Keenlside, W. (1986). An economic analysis of cane sugar production. *Proceeding of the XIX International Congress of the ISSCT*. Jakarta, Indonesia, 1026 – 1035.
59. Klibanski, M. (1986). *Alcohol Etilico*. La industria de los derivados de la caña de azúcar. Edit. Científico-Técnica, 341- 349 .
60. Knauf, M.y M. Moniruzzaman. (2004). Lignocellulosic biomass procesing: A perspective. *International. Sugar Journal 106 (1267)* ,147 – 150.
61. Lehninger, A. L. (1988). Bioquímica. 1ra. y 2da partes. 4ta. reimpresión, Ediciones Revolucionarias.
62. Lima, J. (1999). Preservación de alimentos como sistema multivariable. <http://club.telepolis.com/ohcop/temperat.html> Accedido 23-11-06 .

- 63.- López, E. y M. Peláez. (2006). Primera experiencia cubana de producción de etanol integrada a una fábrica de azúcar. Mesa Redonda. 49 Congreso de la ATAC.. Power Point, 26 diapositivas
64. López, P. y F. Cruz. (1998). Recolección de la paja de caña en Brasil con fines energéticos. MINAZ, Teleinfo En990108. [Internet](#)
65. Macedo, I. C. (2002). Energy from sugar cane in Brazil. CARENSA, Rome. <http://www.carensa.com> Accedido 11-11-04 .
66. MACU. (1975). Alcohol y Levadura Saccharomyces. 1ra. Parte, MINAZ, 66-67.
67. MACU. (1986). Alcohol y Levadura Saccharomyces. Tomos I y II, MINAZ, Cuba.
68. MINAZ. (1971). *Normas y Manual para la Operación de Destilerías. Fermentación y Recuperación de Levadura.* 129 pp.
69. MINAZ. (1977). *Manual de Operación para las fábricas de torula.* Tecnología Francesa.
70. MINAZ. (1979a). Plantas de Torulas Austriacas. *Manual de Operación.*
71. MINAZ. (1979b). *Alcohol.* Folleto impreso. 37 pp.
72. MINAZ. (1983). *Manual de Operaciones para la Producción de Alcohol y Levadura Saccharomyces.* Destilería “Arquímedes Colina”, 82 pp. Cuba.
73. MINAZ. (1993). *Manual de Operaciones para la producción de alcohol y levadura saccharomyces.* CD-ROM.
74. MINAZ. (1995). *Manual de Operaciones para la producción de azúcar crudo.* Dirección de Tecnología.
75. MINAZ. (1999). *Utilización de los residuales de la industria azucarera en fertirriego de la caña de azúcar.* Metodología. Folleto impreso, 17 pp.
76. MINAZ. (2001). Brasil: Estudio alternativa de la caña de azúcar como recurso alimenticio y energético. Un modelo integrado (I). Boletín de alerta informativo para los cuadros de dirección del MINAZ. Año 2 (1).
77. MINAZ: (2002). Tarea Alvaro Reynoso. Documentos internos.
78. MINAZ. (2005). Prueba Heriberto Duquesne 2005. Evaluación de la utilización de los jugos en la producción de alcohol. MINAZ, 18 pp.
79. MINAZ. (2006a). Programa de modernización e instalación de destilería para la producción flexible de azúcar y etanol. CD-ROM, 16 pp.
80. MINAZ. (2006b). Nuevos precios de la caña, azúcares, mieles y derivados. Documento interno.

81. MINAZ. (2007). Destilería INCAUCA. 300 000 L/día, Power Point, 45 diapositivas. Documentos internos 23 p..
82. Montgomery, D. C. (2004). Diseño y análisis de Experimentos. Partes I y II. Editorial Félix Varela.
83. NC. (1987). Alcohol etílico. Especificaciones de Calidad. NC 83-81.
84. NC. (1989). Miel Final para Fermentaciones. Especificaciones de Calidad. NC 81-46.
85. NC. (2005). Aguardiente. Especificaciones de Calidad. NC 264:2005.
86. NCR. (2007). NCR 192:1992 Melaza de caña.
reventazon.meic.go.cr/información/onnum/normas/192.pdf
87. Negrín, S. (2003). Curso de Introducción a la Biotecnología. Coordinadora principal. Universidad para todos. Tabloide, Juventud Rebelde.
88. Nezhikhovskii, G. R. (2004). Uncertainly of Meassurements Made Using Standarizad and Certificates Procedures. <http://www.msosmq.vniim.ru>
Accedido 18-04-06 .
89. Nielsen, J.; J. Villadsen y G. Liden. (2003). Biorreaction Engineering Principles. Kluwer Academic/Plenum Publishers. 2nd. Edition, USA.
90. NRA. (2001). Miel Final (Melaza). Especificaciones de Calidad. Anteproyecto, MINAZ. NRA 1:2001
91. Obregón, J. J. (1985). Instalaciones adecuadas para la correcta aplicación de Dextrana. ANIR, P.I. 45760, Deleg. Prov. MINAZ, Sancti Spíritus. 6pp.
92. Obregón, J. J. (1998). Evaluación de Jugos de Caña Energética I. Memorias. Conferencia Provincial de la ATAC, Sancti Spíritus. Ponencia, 9 pp.
93. Obregón, J. J. (1999). Evaluación de Jugos de Caña Energética II. Memorias. Conferencia Provincial de la ATAC, Sancti Spíritus. Ponencia, 8 pp.
94. Obregón, J. J. (2000). *Procedimiento de diagnóstico y evaluación de contaminaciones. Caso destilería "Paráiso"*. Memorias. Conferencia Provincial de la ATAC. Presentación Power Point, 32 diapositivas.
95. Obregón, J. J.; R. A. Hernández y O. Romero. (2000). Producción de etanol y biomasa de levadura a partir de jugos de caña energética. *Revista Centro Azúcar* 1/2000, 59 - 63
96. Obregón, J. J. (2003a). *Balances de extracción de gas carbónico y aporte de oxígeno que originan las producciones de azúcar, subproductos y derivados*. Memorias. V Taller sobre el Medio Ambiente del MINAZ. 8 pp. Cuba.

97. Obregón, J. J. (2003b). *Ciclo Combinado Integrado de Producciones-Servicios-Medio Ambiente durante todo el año a partir de las cañas*. IV Taller sobre el Medio Ambiente del MINAZ. CD-ROM, 11 pp. Cuba.
98. Obregón, J. J. (2005a). *Producción de etanol y biomasa de levadura a partir de jugos de caña energética*. Proyecto territorial 070551. Informe Final, 17 p.
99. Obregón, J. J. (2005b). *Diversificación Azucarera*. Módulo de la “Especialidad de Tecnología Azucarera”. ISJAE-CUSS.
100. Obregón, J. J. (2006a). Extracciones de CO₂ y aportes de O₂ que originan las producciones de azúcares y derivados. . II Taller Cátedra Alvaro Reynoso, 8 p. <http://eduniv.mes.edu.cu/01-Libros-por-ISBN/959-16-0450/0430>.
101. Obregón, J. J. (2006 b). Nuevo sustrato fermentable de cañas. <http://www.monografias.com/trabajos38/nuevo-sustrato/nuevo-sustrato.shtml>
102. Obregón, J. J. (2007a). Sostenibilidad de las producciones y los servicios a partir de las cañas. <http://www.monografias.com.trabajos51/sostenibilidad>
103. Obregón, J. J. (2007b). Solicitud de patente de Adición a la CU 23 211, OCPI 2007-0164.
104. Obregón, J. J.y otros (2007a). Caña Energética: Evaluación industrial de sustrato en la fermentación alcohólica. Memorias del I Taller. CYTED, CD-ROM ISBN 978-959-7136-51-4
105. Obregón, J. J; R. Hernández; A. Vera y O. Romero. (2007). Procedimiento de preparación de jugos de caña energética como sustrato para producir bioetanol y biomasa de levadura. OCPI, Patente CU 23 211.
106. Olbrich, H. (1969). *Melazas*. Principios de Tecnología Azucarera. Editor Pieter Honig. CECSA para Edic. de Ciencia y Técnica, Tomo III.
- 107 Oliveiro, J. L. and A G. Proença H. (2004). DHR-DEDINI Hidrolise Rápida (DEDINI Rapid Hydrolysis) – Revolutionary process for producing alcohol from sugar cane bagase. *International. Sugar Journal* 106 (1267), 168 – 172 .
108. Olivério, J. M. (2006). Thecnological evolution of the Brazilian sugar and alcohol sector: Dedini’s contribution. *Int. Sug. Journ.* 108 (1287), 120-129 www.isjbuerguide.com Accedido 12-01-07 .
109. Paneque, V. M. y B. Mazón. (2004). Fertirriego, vía económica y eficiente para la descontaminación ambiental. *Revista CubaAzúcar* (1), 40-42.
110. Peña, C. y S. Castro. (2000). Utilización de la caña energética con fines energéticos en los centrales de la provincia de Las Tunas periodo 1995-1998. 13 p.

111. Perdomo, M. (2004). Normas de Operaciones y Controles para producir Aguardiente Crudo. Destilería “Paraíso”. Documento Interno, 43 pp.
112. Pierre-Olivier, C. (1994). Ethanol fermentation of substrate with high sugar contain with inicial maintenance of acid condition to minimise bacterial infection. Patent FR 2697266 .
113. Pinto, G. S. (2000). *Energy Production at high efficiency reability using biomass as fuel* . Memorias. Seminario Internacional de “Energía en la Agroindustria de la Caña de Azúcar”, Ciudad de La Habana, Cuba.
114. Prescott, S. G. y C. G. Dunn. (1983). *Industrial Microbiology*. 4th. Ed., The Avi Publishing Cpmpany Inc., USA.
115. Ravno, B. (1979). “ Prospective on Etanol Manufacture”. *SASTA, June 1979*, 239-243.
116. Reynoso, A. (1998). *Ensayo sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar*. Publicaciones Azucareras, MINAZ. La Habana, Cuba. 372 pp.
117. R F A . (2002). Ethanol & Fuel Cells: Coverging Paths of Opportunity. http://www.ethanolrfa.org/RFA_Cell_White_Paper.PDF Accedido 03-12-04 .
118. Ribas, M. (2005). *Programa informático para la fermentación y destilación alcohólica*. Jornada Iberoamericana para la producción de bioetanol y el uso de residuals. Colombia. [Internet](http://www.internet). Accedido 06-06-06 .
119. Richman, S. (2004). The ethanol industry in the United States: Rapidly expanding capacity, but regulatory uncertainty. 106 (1267) ,138 – 140 .
120. Robinson, R. (2004). Critical review of uncertainty guidance documents. Final Report. <http://www.metropolis.network.net> Accedido 18-04-06 .
121. Rodríguez, S. (2006). El potencial de desarrollo de la agricultura cubana sobre bases sustentables. Adobe Acrobat Document, 16 pp.
122. Romero, O. (2005). *Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra*. Tesis para la opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnica. Facultad de Química y Farmacia. UCLV – CUSS.
123. Sánchez, O. (1997). *Procedimiento de alta productividad de alcohol*. ISJAE, Tesis para la opción del grado científico de Doctora en Ciencias Técnica. ISJAE.
124. Sotelo, M. A. (2004). Metabolismo microbianno. <http://www.biologia.edu.ar> Accedido 21-07-06 .
125. Thomas, K. C. y W. M. Ingledew. (1992a). Production od 21% (v/v) by

- Fermentation of Very High Gravity (VHG) Wheat Mash. *Jorn. of Industrial Microbiology*. (10), 61 – 68.
126. Thomas, K. C y W. M. Ingledew. (1992b). The relationship of Low Lysine and High Arginine Concentrations to Efficient Ethanol Fermentation of Wheat Mash. *Canadian Journ. Microbiology*. (38), 626 – 634.
127. TOMSA- DESTIL S. L. (1997). Documentación técnica española de la destilería ALFICSA S. A. de Cienfuegos.
128. Torres, M.; J. Daduna y B. Mederos. (2007). *Logística*. Editorial Universitaria, CD-ROM. ISBN 978-959-16-0531-3
129. TPCC. (2007). Planta de producción de alcohol etílico.
<http://www.turkey.taiwantrade.com.tw> Accedido 27-11-07 .
130. UNE. (1995). Programa de desarrollo del sector eléctrico en Cuba. Unión Nacional Eléctrica. Informe Técnico. La Habana, Cuba.
131. Upadhaya, U. C. (1998). Cogeneración de vapor y corriente eléctrica. MINAZ, Teleinfo En980602 7 pp.
132. USDOE. (2004). Annual Energy Outlook with Projection to 2025. Report NO. DOE. EIA-0383 (2003). Jan. 2003. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/oaie/index.html> Accedido 20-06-06 .
133. Valdés, I. (1996). *Evaluación de cepas productoras de alcohol*. Memorias: II Seminario Nacional de productores de alcohol. MINAZ. Cuba.
134. Valdés D., A. (2004). *La biomasa azucarera como fuente de energía renovable*. CITMA, Centro de Gerencia de Programas y Proyectos Priorizados. 10 pp.
135. Vera, A. (2000). *Variedades de caña de uso energético*. Centro Nacional de Hibridación de la Caña de Azúcar (CNHCA), Sancti Spíritus, Cuba.
136. Vera, A. (2001). *Caña Energética, manejo sostenible y conservacionista de agrosistema cañero*. CNHCA. Proyecto de producto nuevo. Sancti Spíritus. 43 p.
137. Vera, A. (2006). *Variedades de caña de uso energética*. I Taller Nacional de Caña energética. Sancti Spíritus. Power Point, 23 diapositivas
138. Vera, A. (2007). Estudio de la Caracterización Agroazucarera de las Variedades Energéticas. Reunión de trabajo. GRECO, UCLV. Power Point. 27 diapositivas
139. William, P. R. (2004). *Risk-benefit analysis of ethanol fuel blend in the US*. *International Sugar Journal* 106 (1267), 152 – 166.
140. Wyman, C. E. (2003). Potential Synergic and Challenges in Refining Cellulose Biomass to Fuels, Chemicals, and Power. *Biotechnol. Prog.* (19), 254-262.

ANEXOS

Anexo 1.- Costos estimados de producción / HI (Jolly and Woods, 2004)

PAIS	Materia prima	\$ USD / HI
Estados Unidos	Maíz subsidiado	0,25
Brasil	Jugo/miel de caña	0,15 a 0,21
Australia	Miel Final de caña	0,30
Unión Europea	Remolacha azucarera	0,48 a 0,60

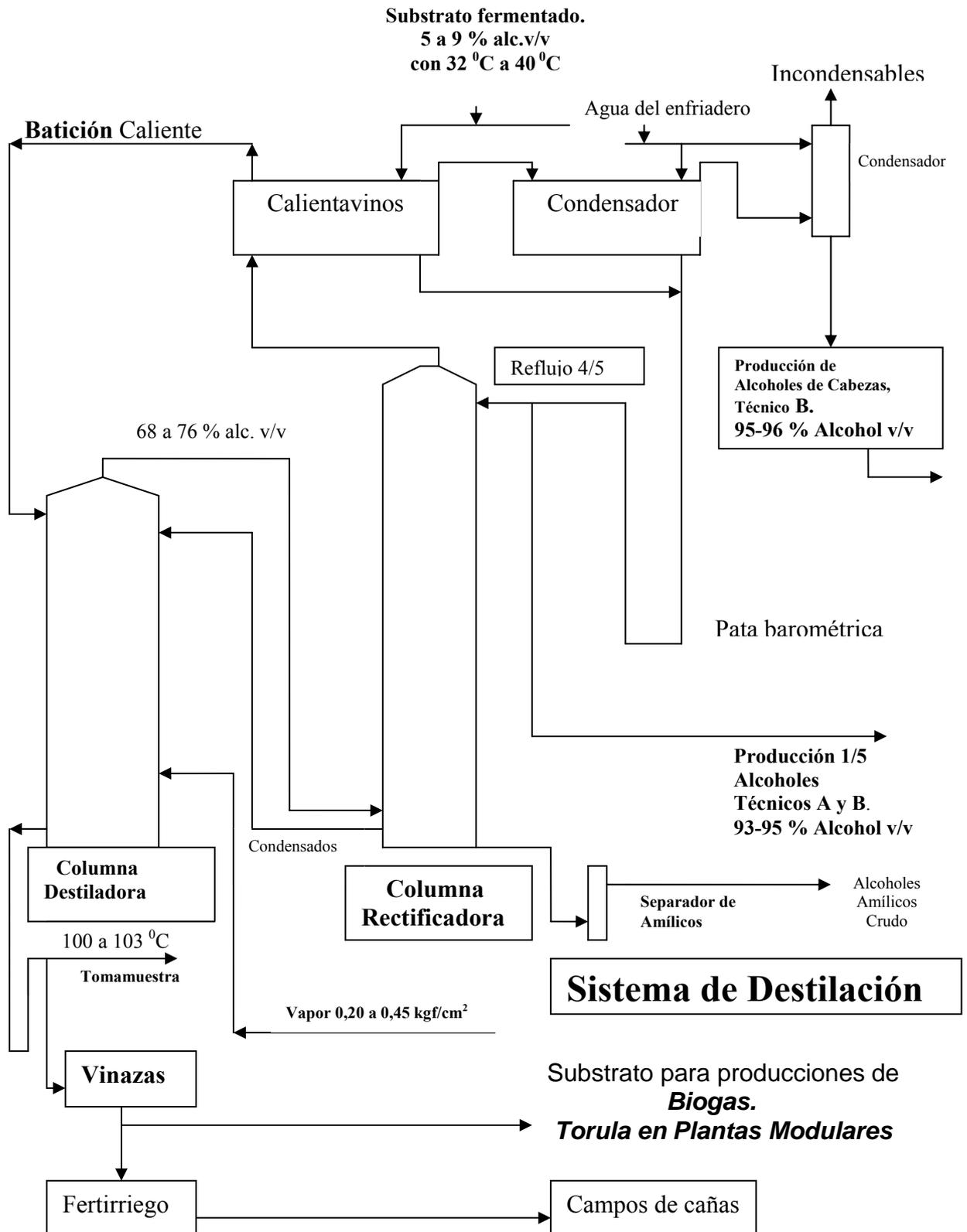
Anexo 2.- Necesidades nutricionales para 1 kg base seca de levadura.

Nitrógeno	60 a 80 g
Fósforo	10 a 20 g
Azufre	10 g
Potasio	40 g
Magnesio	2 g
Sodio	2 g
Calcio	2 g
Cobre	0,050 g
Manganeso	0,02 g
Biotina	0,025 mg

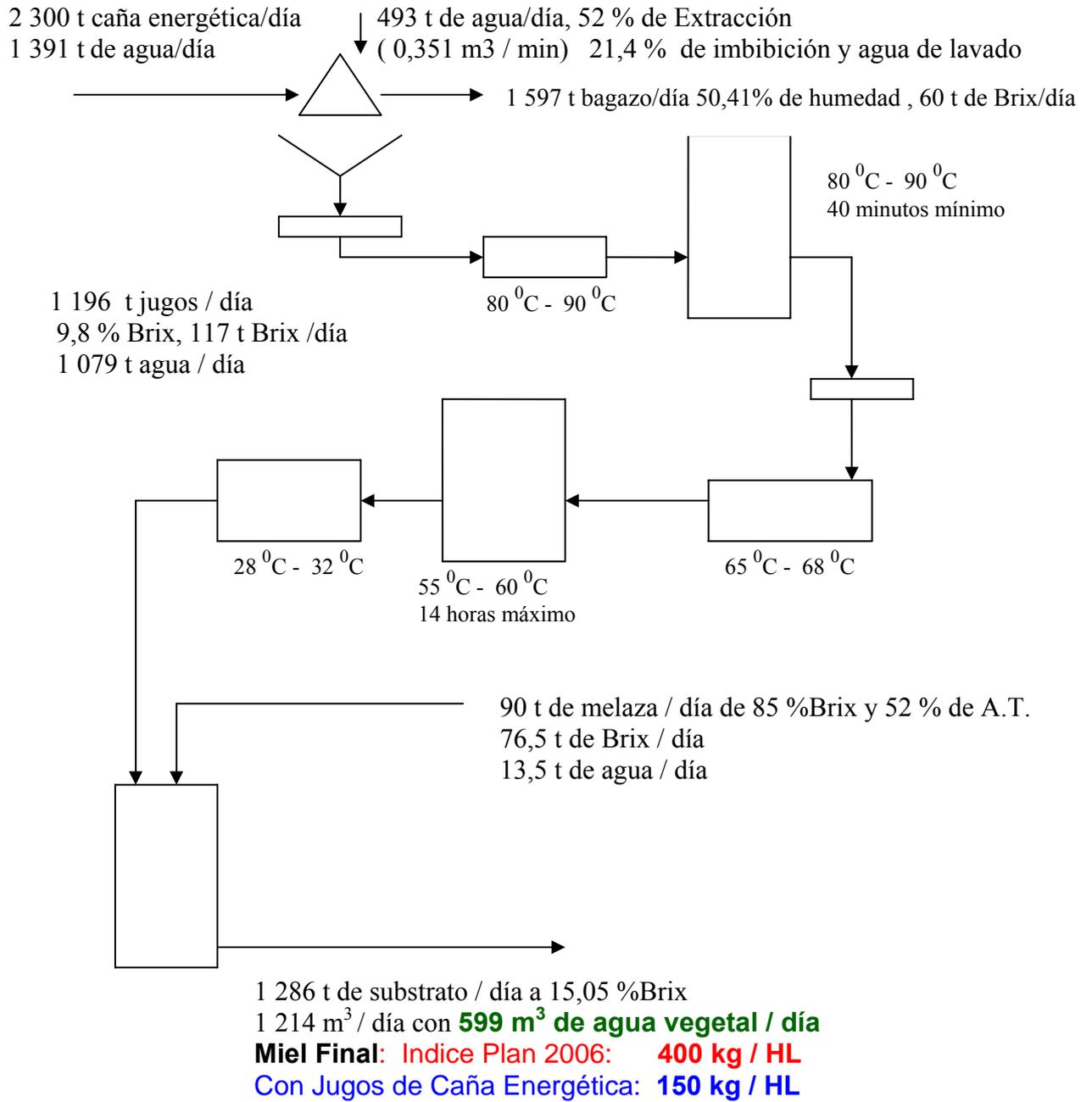
Anexo 3.- Composición promedio de la levadura en Cuba.

Nitrógeno total	6,5%	Proteína bruta	42,0
Cenizas	10,0%	Carbohidratos	43,0%
Grasa	2,89%	P ₂ O ₅	3,00%
Ca	2,25%	Mg	0,38%
Mn	150 ppm	Fe	1 950 ppm
Cu	120 ppm	Zn	10 ppm

Anexo 4. Sistema de destilación



Anexo 5.- Patente CU 23 211 (Obregón y otros, 2007). Estudio de caso empresa azucarera Melanio Hernández



Anexo 6.- Conservación de Jugos de Caña energética. 31 °C - 32 °C

Características de la Miel Final:

% Brix= 87,80 % Sacarosa= 36,40 % Reductores Libres=18,25 pH= 5,65
 % Azuc. Totales= 54,65 % Cenizas= 8,20 % Az. Infermentables= 3,25
 % Pureza azucarera = 41,45 ufc mesófilos/g = 85 000 ufc termófilos/g = 2 640

Características del Jugo de Caña Energética pasterizado con HTHT:

% Brix= 9,10 % Sacarosa= 5,65 % Reductores Libres= 1,92 pH= 5,05
 % Azuc. Totales= 7,57 % Cenizas= No determinada % Az. Infermentables= 0,74
 % Pureza azucarera = 62,08 ufc Total/g = 9 500 Coloración :
 verde oscuro

Mezcla Miel Final + Jugo

Parámetro	Inicial	Tiempo de mezclado en días											Δ
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	
% Brix	75,68	76,00	75,45	75,35	75,30	75,28	75,19	75,18	75,22	75,15	75,02	74,85	- 0,83
% Sacar.	31,10	31,02	30,68	30,62	30,54	30,61	30,47	30,43	30,42	30,33	30,26	30,00	- 1,10
% Red. Libres	15,74	15,70	15,68	15,65	15,60	15,52	15,50	15,45	15,37	15,20	15,00	14,80	- 0,94
%Azuc Totales	46,84	46,72	46,36	46,27	46,14	46,13	45,97	45,88	45,79	45,55	45,26	44,80	- 2,04
% Infe rm.	2,88	2,87	3,15	2,85	2,81	3,08	2,81	2,80	2,78	2,77	2,75	2,73	- 0,15
% Cen iza	6,98	6,95	6,95	6,93	6,92	6,90	6,87	6,86	6,86	6,85	6,84	6,83	- 0,15
pH	5,60	5,60	5,58	5,60	5,57	5,57	5,55	5,55	5,57	5,54	5,55	5,50	- 0,10
ufc Total/g . 10 ³ NMP	76,0	76,5	76,8	77,4	77,6	77,9	78,2	78,5	78,9	79,2	79,8	80,7	+ 4,3
<i>μe</i>	0,390	0,393	0,440	0,443	0,451	0,455	0,460	0,460	0,468	0,472	0,480	0,485	+ 0,095
<i>μb</i>	0,380	0,385	0,390	0,392	0,397	0,403	0,401	0,400	0,412	0,410	0,414	0,420	+ 0,04
<i>Yp/s . 100</i>	80,09	80,16	80,38	80,43	80,61	80,77	80,88	80,85	81,11	81,17	81,38	81,46	+ 1,37
<i>Yx/s . 100</i>	6,88	6,85	6,78	6,88	6,93	7,02	7,00	6,98	7,05	7,01	7,06	7,13	+ 0,25
<i>YT/s . 100</i>	86,97	87,01	87,16	87,31	87,54	87,79	87,88	87,83	88,16	88,18	88,44	88,59	+ 1,62
Acidez	0,83	0,85	0,86	0,84	0,88	0,93	0,96	0,95	0,98	0,97	1,00	1,00	+ 0,17
Espuma ción	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-

Anexo 6.- Continuación ...
Miel Final sola diluida

Parámetro	Inicial	Tiempo de mezclado en días											Δ
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	
% Brix	75,15	75,20	75,20	75,15	75,17	75,10	75,00	74,96	74,90	74,86	74,41	74,10	- 1,10
% Sacar.	31,18	31,21	31,16	31,10	31,10	31,04	31,02	31,00	30,95	30,90	30,80	30,70	- 0,48
% Red. Libres	15,64	15,60	15,53	15,50	15,15	15,20	15,10	15,03	14,85	14,81	14,65	14,45	- 1,19
%Azuc Totales	46,82	46,81	46,69	46,60	46,25	46,24	46,12	46,03	45,85	45,71	45,45	45,15	- 1,67
% Infe rm.	2,83	2,82	2,78	2,75	2,73	2,70	2,68	2,63	2,61	2,63	2,60	2,55	- 0,28
% Ceniza	7,06	7,10	7,08	7,04	7,02	7,00	7,00	6,91	6,80	6,68	6,65	6,65	- 0,15
pH	5,70	5,70	5,75	5,70	5,70	5,65	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	- 0,10
ufc Total 1/g . 10 ³ NMP	76,0	76,5	76,5	77,0	77,2	77,3	77,5	77,9	78,0	78,5	79,3	80,9	+ 4,9
μe	0,380	0,385	0,385	0,390	0,392	0,391	0,393	0,396	0,395	0,394	0,396	0,397	+ 0,017
μb	0,365	0,368	0,370	0,371	0,368	0,372	0,371	0,375	0,375	0,370	0,384	0,380	+0,015
Yp/s .10 0	79,63	79,68	79,58	80,01	80,12	80,03	79,98	80,16	80,14	80,15	80,19	80,18	+ 0,55
Yx/s .10 0	6,81	6,80	7,21	6,83	6,86	6,94	7,06	6,98	7,07	7,09	7,06	7,19	+ 0,38
YT/s .100	86,44	86,48	86,79	86,84	86,98	86,97	87,14	87,21	87,21	87,24	87,25	87,37	+ 0,93
Acidez	0,80	0,80	0,84	0,82	0,83	0,88	0,90	0,89	0,91	0,90	0,91	0,92	+ 0,12
Espuma ción	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-

NPar Tests

Mann-Whitney Test

Ranks

	GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
BRIX	Mezcla	12	16,50	198,00
	Miel	12	8,50	102,00
	Total	24		
AT	Mezcla	12	11,75	141,00
	Miel	12	13,25	159,00
	Total	24		
ACIDEZ	Mezcla	12	15,46	185,50
	Miel	12	9,54	114,50
	Total	24		
NMP	Mezcla	12	13,67	164,00
	Miel	12	11,33	136,00
	Total	24		
UE	Mezcla	12	17,33	208,00
	Miel	12	7,67	92,00
	Total	24		
UB	Mezcla	12	18,38	220,50
	Miel	12	6,63	79,50
	Total	24		
YPS	Mezcla	12	17,79	213,50
	Miel	12	7,21	86,50
	Total	24		
YXS	Mezcla	12	11,63	139,50
	Miel	12	13,38	160,50
	Total	24		

Test Statistics^b

	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	Asymp. Sig. (2-tailed)	Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]
BRIX	24,000	102,000	-2,774	,006	,005 ^a
AT	63,000	141,000	-,520	,603	,630 ^a
ACIDEZ	36,500	114,500	-2,053	,040	,039 ^a
NMP	58,000	136,000	-,810	,418	,443 ^a
UE	14,000	92,000	-3,352	,001	,000 ^a
UB	1,500	79,500	-4,075	,000	,000 ^a
YPS	8,500	86,500	-3,667	,000	,000 ^a
YXS	61,500	139,500	-,607	,544	,551 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

Anexo 7.- Conservación de Jugos de Caña energética. 2001, 31 °C – 33 °C

Características de la Miel Final:

% Brix= 86,20 % Sacarosa= 38,10 % Reductores Libres=15,95 pH= 5,70
 % Azuc. Totales= 54,05 % Cenizas= 8,05 % Az. Infermentables= 3,15
 % Pureza azucarera = 44,20 ufc mesófilos/g = 79 000 ufc termófilos/g = 1 650

Características del Jugo de Caña Energética pasterizado con HTHT:

% Brix= 9,63 % Sacarosa= 5,76 % Reductores Libres= 2,05 pH= 5,20
 % Azuc. Totales= 7,81 % Cenizas= No determinada % Az. Infermentables= 0,86
 % Pureza azucarera = 59,81 ufc Total/g = 8 900 Coloración :
 verde oscuro

Mezcla Miel Final + Jugo

Parámetro	Inicial	Tiempo de mezclado en días											Δ
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	
% Brix	75,36	75,60	75,50	75,35	75,20	75,10	75,04	75,07	75,01	74,93	74,80	74,90	- 0,66
% Sacar.	32,55	32,63	32,51	32,44	32,40	32,37	32,36	32,31	32,30	32,30	32,28	32,25	- 0,30
% Red. Libres	13,54	13,56	13,53	13,46	13,41	13,33	13,26	13,19	13,12	13,05	12,82	12,72	- 0,82
%Azuc Totales	46,09	46,19	46,04	45,90	45,81	45,70	45,62	45,50	45,42	45,35	45,10	44,97	- 1,12
% Infe rm.	2,76	2,82	2,79	2,73	2,70	2,68	2,65	2,67	2,65	2,64	2,60	2,60	- 0,16
% Cen iza	6,70	6,71	6,70	6,68	6,65	6,64	6,63	6,63	6,62	6,62	6,57	6,55	- 0,15
pH	5,60	5,60	5,57	5,55	5,52	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	- 0,10
ufc _{Tota l/g .} 10 ³ NMP	68,3	68,4	68,6	68,4	69,4	69,5	69,8	70,2	70,3	70,6	71,0	71,8	+ 2,7
<i>μe</i>	0,405	0,406	0,403	0,447	0,448	0,452	0,451	0,450	0,460	0,465	0,470	0,471	+ 0,066
<i>μb</i>	0,360	0,361	0,365	0,352	0,350	0,347	0,355	0,361	0,363	0,364	0,369	0,369	+ 0,009
<i>Yp/s .100</i>	80,39	80,43	80,40	80,47	80,51	80,68	80,68	80,66	80,76	80,78	80,81	80,83	+ 0,44
<i>Yx/s .100</i>	5,98	6,04	6,12	6,08	6,09	6,02	6,16	6,21	6,20	6,23	6,35	6,36	+ 0,38
<i>Yt/s. 100</i>	86,37	86,47	86,52	86,55	86,60	86,70	86,84	86,87	86,96	87,01	87,16	87,19	+ 0,82
Acidez	0,78	0,80	0,79	0,81	0,84	0,87	0,85	0,90	0,88	0,90	0,93	0,99	+ 0,21
Espu- ma- ción	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-

Anexo 7.- Continuación ...
Miel Final sola diluida

Parámetro	Inicial	Tiempo de mezclado en días											Δ
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	150	
% Brix	75,28	75,31	75,30	75,25	75,16	75,10	75,03	75,00	74,80	74,75	74,60	74,45	- 0,83
% Sacar.	32,30	32,31	32,28	32,24	32,20	32,18	32,15	32,10	32,00	32,00	31,95	31,92	- 0,38
% Red. Libres	13,90	13,88	13,84	13,80	13,73	13,70	13,61	13,60	13,40	13,25	13,20	13,16	- 0,74
%Azuc Totales	46,20	46,19	46,12	46,04	45,93	45,88	45,76	45,70	45,40	45,25	45,15	45,08	- 1,12
% Infe rm.	2,75	2,80	2,74	2,72	2,71	2,70	2,71	2,70	2,68	2,60	2,63	2,60	- 0,15
% Cen iza	7,00	7,05	7,01	7,00	6,98	6,95	6,97	6,94	6,91	6,84	6,73	6,68	- 0,32
pH	5,70	5,70	5,70	5,70	5,68	5,65	5,65	5,65	5,65	5,60	5,60	5,60	- 0,10
ufc Tota 1/g . 10 ³ NMP	71,6	71,7	71,6	71,8	72,1	72,3	72,6	72,9	73,4	73,9	74,9	75,8	+ 4,2
<i>μe</i>	0,395	0,400	0,401	0,403	0,402	0,407	0,410	0,412	0,413	0,415	0,418	0,420	+ 0,025
<i>μb</i>	0,360	0,363	0,365	0,368	0,369	0,369	0,374	0,380	0,379	0,374	0,376	0,378	+ 0,18
<i>Yp/s</i> .10 0	80,03	80,07	80,11	80,13	80,12	80,17	80,19	80,26	80,30	80,31	80,37	80,41	+ 0,38
<i>Yx/s</i> .10 0	6,03	6,05	6,09	6,14	6,17	6,14	6,21	6,27	6,26	6,22	6,25	6,27	+ 0,24
<i>Yr/s</i> .100	86,06	86,12	86,20	86,27	86,29	86,31	86,40	86,53	86,56	86,53	86,62	86,68	+ 0,62
Acidez	0,75	0,72	0,76	0,80	0,80	0,81	0,82	0,85	0,84	0,86	0,85	0,87	+ 0,12
Espu- ma ció n	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Pruebas no paramétricas jugos conservados
Prueba de Mann-Whitney

Rangos

GRUPO		N	Rango promedio	Suma de rangos
PORCBRIX	Miel con jugo	12	14,13	169,50
	Miel sola	12	10,88	130,50
	Total	24		
PORCAT	Miel con jugo	12	11,63	139,50
	Miel sola	12	13,38	160,50
	Total	24		
ACIDEZ	Miel con jugo	12	15,13	181,50
	Miel sola	12	9,88	118,50
	Total	24		
NMP	Miel con jugo	12	15,63	187,50
	Miel sola	12	9,38	112,50
	Total	24		
UE	Miel con jugo	12	16,71	200,50
	Miel sola	12	8,29	99,50
	Total	24		
UB	Miel con jugo	12	8,17	98,00
	Miel sola	12	16,83	202,00
	Total	24		
YPS	Miel con jugo	12	18,33	220,00
	Miel sola	12	6,67	80,00
	Total	24		
YXS	Miel con jugo	12	11,33	136,00
	Miel sola	12	13,67	164,00
	Total	24		

Estadísticos de contraste^b

	U de Mann-Whitney	Sig. asintót. (bilateral)	Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]
PORCBRIX	52,500	,260	,266 ^a
PORCAT	61,500	,544	,551 ^a
ACIDEZ	40,500	,068	,068 ^a
NMP	34,500	,030	,028 ^a
UE	21,500	,004	,002 ^a
UB	20,000	,003	,002 ^a
YPS	2,000	,000	,000 ^a
YXS	58,000	,419	,443 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: GRUPO

Anexo 8.- Pruebas no paramétricas para jugos mezclados de caña energética industriales conservados
Prueba de Mann-Whitney

Ranks

SUSTRATO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
BRIX	1	11.13	133.50
	2	13.88	166.50
	Total	24	
A.T	1	11.79	141.50
	2	13.21	158.50
	Total	24	
ACIDEZ	1	16.21	194.50
	2	8.79	105.50
	Total	24	
NMP	1	18.50	222.00
	2	6.50	78.00
	Total	24	

Test Statistics

	BRIX	A.T	ACIDEZ	NMP
Mann-Whitney U	55.500	63.500	27.500	.000
Wilcoxon W	33.500	41.500	05.500	78.000
Z	-.953	-.491	-2.573	-4.158
Asymp. Sig. (2-tail)	.341	.624	.010	.000
Exact Sig. [2*(1-tail Sig.)]	.347 ^a	.630 ^a	.008 ^a	.000

a. Not corrected for ties.
b. Grouping Variable: SUSTRATO

NPar Tests
Mann-Whitney Test

Ranks

TIPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
UE Mezcla	12	10,92	131,00
	12	14,08	169,00
	Total	24	
UB Mezcla	12	7,58	91,00
	12	17,42	209,00
	Total	24	
YPS Mezcla	12	18,00	216,00
	12	7,00	84,00
	Total	24	
YXS Mezcla	12	7,67	92,00
	12	17,33	208,00
	Total	24	

Test Statistics

	UE	UB	YPS	YXS
Mann-Whitney U	53,000	13,000	6,000	14,000
Wilcoxon W	131,000	91,000	84,000	92,000
Z	-1,098	-3,418	-3,812	-3,350
Asymp. Sig. (2-tail)	,272	,001	,000	,001
Exact Sig. [2*(1-tail Sig.)]	,291 ^a	,000 ^a	,000 ^a	,000 ^a

a. Not corrected for ties.
b. Grouping Variable: TIPO

Anexo 9. Conservación industrial de jugos de caña energética. Solicitud de patente de Adición a la CU 23 211, OCPI 2007-0164 (Obregón, 2007)

9.1 Selecciones del tanque de almacenamiento y Miel Final .

Apto en perfecto estado técnico sin huecos en el techo, filtraciones por el fondo y paredes, sin contacto con el terreno ni antecedentes de haber almacenado mieles que se deterioraron y después no se limpió.

Melaza con 85% Brix mínimo y un NMP de bacterias mesófilas/g \leq 144 000 y termófilas/g \leq 16 000 normal para mieles cubanas según evaluaciones hechas durante decenas de años (ICIDCA, 2000). Si no se dispone del medio de cultivo Triptona-Glucosa-Agar empleado para determinar el NMP de termófilos (Honig, 1987), se determina el NMP total mesófilos, con el mismo medio de cultivo que utilizan las destilerías el Extracto-Malta-Agar o Extracto-Miel-Agar (MACU, 1975), incubar a 35⁰C - 37⁰C durante 60 horas. Se asume que el siete por ciento del NMP total son termófilos que es aproximadamente la media nacional (ICIDCA, 2000), se restan del total y se obtiene el NMP de mesófilos.

En este aspecto microbiológico existen diferentes niveles de riesgos que reducen el tiempo de garantía almacenadas sin deterioro, pero aún así, no puede tomarse como absoluto, sino como información para tomar decisiones contextualizadas al lugar, momento y circunstancias implícitos en un escenario de causa de fuerza mayor.

9.2 Modificaciones y operaciones en el banco de cristalización del central.

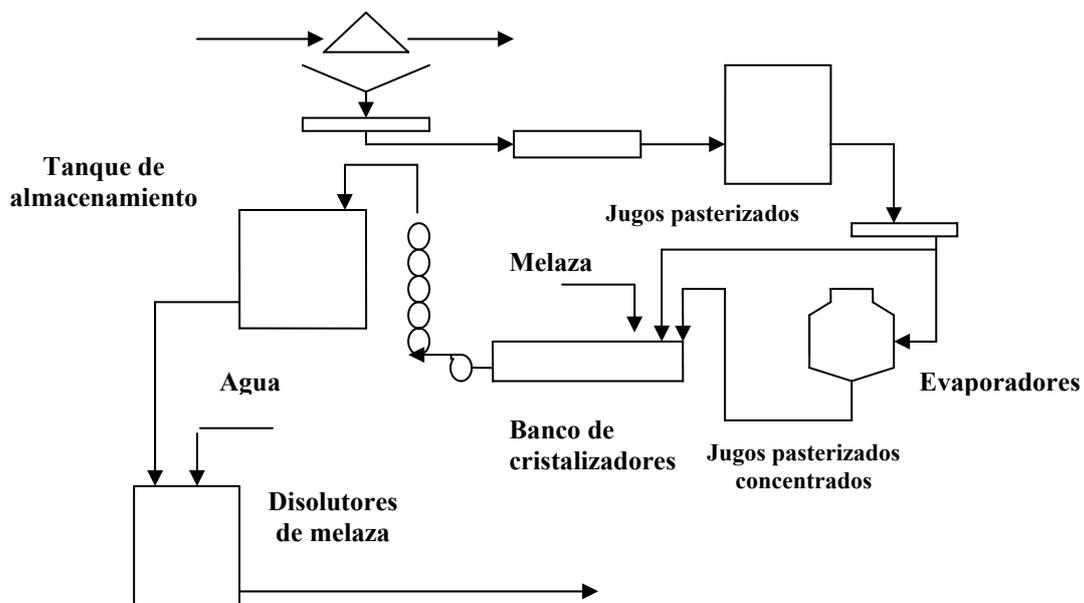
Al banco de cristalizar de masas de tercera hay que colocarle a cada cristizador tabiques deflectores de orientación de la circulación, a los efectos de evitar las canalizaciones de los jugos que afecten la homogenización, similar a como se hace en los tanques de meladura para aplicar dextranasa (Obregón, 1985), seguido de bombeo a través de un homogenizador tubular en forma de eslabones de cadena de diámetro nominal 100 mm. No se aplica aire de enfriamiento.

9.3 Operaciones con disolutores estáticos.

Se ajustan flujos para que el Brix sea del 75% y no 14% a 30%, empleando además el homogenizador antes referido, tal y como se realiza en la destilería Paraíso.

9.4 Regulaciones sanitarias.

Al inicio sea el equipamiento 9.2 o 9.3, se hace lavado sanitario con agua caliente primero y vapor saturado a presión después escurriéndose bien. Se alimenta *siempre* primero la Miel Final y después los jugos tratados con calor con no menos de 60⁰C, salvo lo que se especifique para diferentes niveles de riesgos con las contaminaciones para la fermentación alcohólica.



Anexo 10.- Programa informático DAJCE (Fardales y Obregón, 2006).

Ventana de entrada

Ventana de Salida

Anexo 11.- Evaluación de cepas de *Saccharomyces cerevisiae*

Días	NRRL s/n		C/25-7-11		C/25-7-13		C/25-7-17		C/25-7-18	
	μ_e	μ_b	μ_e	μ_b	μ_e	μ_b	μ_e	μ_b	μ_e	μ_b
6	0,289	0,590	0,283	0,440	0,300	0,490	0,278	0,590	0,330	0,459
12	0,306	0,371	0,306	0,920	0,329	0,441	0,317	0,220	0,313	0,370
18	0,313	0,590	0,306	0,860	0,324	0,562	0,318	0,580	0,329	0,390
23	0,289	0,620	0,306	0,700	0,311	0,691	0,324	0,590	0,341	0,562
25	0,322	0,710	0,289	0,560	0,305	0,504	0,324	0,503	0,333	0,600
28	0,278	0,680	0,263	0,560	0,318	0,590	0,311	0,501	0,324	0,650
30	0,306	0,590	0,278	0,560	0,2787	0,666	0,314	5,82	0,317	0,590

Días	$Y_{p/s}$	$Y_{t/s}$								
	.10 0									
6	67,30	85,02	66,00	79,22	69,88	91,60	64,71	82,83	73,88	91,85
12	71,18	82,16	67,30	90,28	72,47	84,80	73,77	80,25	70,08	86,11
18	68,85	85,70	67,30	85,95	71,18	89,83	69,88	84,86	72,47	90,67
23	67,30	85,05	71,18	91,03	72,47	89,32	71,18	87,58	75,06	90,11
25	75,06	93,70	71,18	93,42	75,06	92,85	71,18	88,02	77,65	93,39
28	64,71	86,10	64,71	82,50	69,88	84,07	72,47	87,56	71,18	84,47
30	67,43	86,59	64,71	81,62	64,71	82,52	64,71	83,87	73,77	94,73

Pruebas no paramétricas

Prueba de Kruskal-Wallis

Rangos

	cepas	N	Rango promedio
Eficiencia alcoholica	c/11	7	11.00
	c/13	7	20.79
	c/17	7	17.86
	c/18	7	25.71
	c/00	7	14.64
	Total	35	
Eficiencia biomasa	c/11	7	19.50
	c/13	7	20.14
	c/17	7	13.00
	c/18	7	17.71
	c/00	7	19.64
	Total	35	
Eficiencia total	c/11	7	17.43
	c/13	7	20.57
	c/17	7	13.00
	c/18	7	22.57
	c/00	7	16.43
	Total	35	
% alcohólico en volumen/hora	c/11	7	10.43
	c/13	7	19.79
	c/17	7	19.21
	c/18	7	25.50
	c/00	7	15.07
	Total	35	
Gramos de biomasa por litro de batición por hora	c/11	7	21.21
	c/13	7	18.21
	c/17	7	13.50
	c/18	7	17.36
	c/00	7	19.71
	Total	35	

Estadísticos de contraste^{a,b}

	Eficiencia alcoholica	Eficiencia biomasa	Eficiencia total	% alcohólico en volumen/hora	Gramos de biomasa por litro de batición por hora
Chi-cuadrado	8.669	2.309	3.687	8.518	2.286
gl	4	4	4	4	4
Sig. asintót.	.070	.679	.450	.074	.683

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: cepas

**Pruebas no paramétricas. Prueba de Mann-Whitney
C/25-7-11 y C/25-7-13**

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcoholica c/11	7	5.57	39.00
c/13	7	9.43	66.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora c/11	7	5.64	39.50
c/13	7	9.36	65.50
Total	14		

Estadísticos de contraste^b

	Eficiencia alcoholica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	11.000	11.500
W de Wilcoxon	39.000	39.500
Z	-1.746	-1.670
Sig. asintót. (bilateral)	.081	.095
Sig. exacta [2*(Sig. unilaterial)]	.097 ^a	.097 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-11 y C/25-7-17

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcoholica c/11	7	6.29	44.00
c/17	7	8.71	61.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora c/11	7	5.71	40.00
c/17	7	9.29	65.00
Total	14		

Estadísticos de contraste^b

	Eficiencia alcoholica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	16.000	12.000
W de Wilcoxon	44.000	40.000
Z	-1.112	-1.610
Sig. asintót. (bilateral)	.266	.107
Sig. exacta [2*(Sig. unilaterial)]	.318 ^a	.128 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-11 y C/25-7-18

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcoholica c/11	7	4.71	33.00
c/18	7	10.29	72.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora c/11	7	4.86	34.00
c/18	7	10.14	71.00
Total	14		

Estadísticos de contraste^b

	Eficiencia alcoholica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	5.000	6.000
W de Wilcoxon	33.000	34.000
Z	-2.511	-2.377
Sig. asintót. (bilateral)	.012	.017
Sig. exacta [2*(Sig. unilaterial)]	.011 ^a	.017 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-11 y NRRLs/n
Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica: c/11	7	6.43	45.00
c/00	7	8.57	60.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora			
c/11	7	6.21	43.50
c/00	7	8.79	61.50
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	17.000	15.500
W de Wilcoxon	45.000	43.500
Z	-.978	-1.183
Sig. asintót. (bilateral)	.328	.237
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.383 ^a	.259 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-13 y C/25-7-17

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica: c/13	7	8.00	56.00
c/17	7	7.00	49.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora			
c/13	7	7.64	53.50
c/17	7	7.36	51.50
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	21.000	23.500
W de Wilcoxon	49.000	51.500
Z	-.455	-.129
Sig. asintót. (bilateral)	.649	.898
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.710 ^a	.902 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-13 y C/25-7-18

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica: c/13	7	6.43	45.00
c/18	7	8.57	60.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora			
c/13	7	6.29	44.00
c/18	7	8.71	61.00
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	17.000	16.000
W de Wilcoxon	45.000	44.000
Z	-.976	-1.093
Sig. asintót. (bilateral)	.329	.274
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.383 ^a	.318 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-13 y NRRLs/n

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica: c/13	7	8.93	62.50
c/00	7	6.07	42.50
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora			
c/13	7	8.50	59.50
c/00	7	6.50	45.50
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	14.500	17.500
W de Wilcoxon	42.500	45.500
Z	-1.286	-.897
Sig. asintót. (bilateral)	.198	.370
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.209 ^a	.383 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-17 y C/25-7-18
Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica c/17	7	6.00	42.00
c/18	7	9.00	63.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora c/17	7	6.07	42.50
c/18	7	8.93	62.50
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	14.000	14.500
W de Wilcoxon	42.000	42.500
Z	-1.358	-1.286
Sig. asintót. (bilateral)	.174	.198
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.209 ^a	.209 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-17 y NRRLs/n
Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica c/17	7	8.14	57.00
c/00	7	6.86	48.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora c/17	7	8.50	59.50
c/00	7	6.50	45.50
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	20.000	17.500
W de Wilcoxon	48.000	45.500
Z	-.581	-.898
Sig. asintót. (bilateral)	.561	.369
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.620 ^a	.383 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

C/25-7-18 y NRRLs/n

Rangos

cepas	N	Rango promedio	Suma de rangos
Eficiencia alcohólica c/18	7	9.86	69.00
c/00	7	5.14	36.00
Total	14		
% alcohólico en volumen/hora c/18	7	9.71	68.00
c/00	7	5.29	37.00
Total	14		

Estadísticos de contraste

	Eficiencia alcohólica	% alcohólico en volumen/hora
U de Mann-Whitney	8.000	9.000
W de Wilcoxon	36.000	37.000
Z	-2.118	-1.987
Sig. asintót. (bilateral)	.034	.047
Sig. exacta [2*(Sig. unilateral)]	.038 ^a	.053 ^a

a. No corregidos para los empates.

b. Variable de agrupación: cepas

Simbología

- c11: C/25-7-11
- c13: C/25-7-13
- c17: C/25-7-17
- c18: C/25-7-18
- c00: NRRL s/n

Anexo 12.- Evaluación de cepas con jugos mezclados de caña energética industrial
Características de la Miel Final:

% Brix= 86,27 % Sacarosa= 39,41 % Reductores Libres=16,94 pH= 5,50
 % Azuc. Totales= 56,35 % Cenizas= 7,76 % Az. Infermentables= 3,05
 ufc mesófilos/g = 66 300 ufc termófilos/g = 1 025

Características del Jugo de Caña Energética pasterizado con HTHT:

% Brix= 8,43 % Sacarosa= 4,85 % Reductores Libres= 1,20 pH= 5,20
 % Azuc. Totales= 6,19 % Cenizas= 0,17 % Azúcares Infermentables= 0,88
 ufc Total/g = 109 600

Corrida	NRRL s/n						C/25-7-18					
	μ_e	μ_b	$Y_{p/s}$	$Y_{x/s}$	$Y_{t/s}$	$^{\circ}C$	μ_e	μ_b	$Y_{p/s}$	$Y_{x/s}$	$Y_{t/s}$	$^{\circ}C$
			.1	.1	.1				.1	.1	.1	
			0	0	0				0	0	0	
			0	0	0				0	0	0	
1	0,365	0,358	77,42	6,66	84,08	31	0,406	0,341	82,11	6,48	88,59	31
2	0,366	0,357	77,19	6,64	83,83	32	0,405	0,339	81,93	6,49	88,42	32
3	0,363	0,366	77,28	6,78	84,06	31	0,397	0,345	80,06	6,86	87,02	31
4	0,368	0,349	77,44	6,58	84,02	34	0,416	0,326	83,11	5,98	89,09	34
5	0,371	0,342	77,29	6,44	83,73	33	0,412	0,329	82,66	6,16	88,76	33
6	0,380	0,333	77,51	6,16	83,67	34	0,409	0,333	82,79	6,28	89,07	34
7	0,372	0,337	77,32	6,18	83,50	32	0,403	0,340	82,46	6,41	88,87	32
8	0,376	0,333	77,63	6,17	83,80	32	0,406	0,342	82,15	6,44	88,59	32
9	0,369	0,351	77,39	6,49	83,88	32	0,412	0,339	82,59	6,40	88,99	32
X	0,371	0,347	77,39	6,45	83,84	32	0,407	0,337	82,22	6,39	88,61	32

Mann-Whitney Test

Ranks

GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
UE 1	9	5,00	45,00
UE 2	9	14,00	126,00
Total	18		
UB 1	9	11,72	105,50
UB 2	9	7,28	65,50
Total	18		
YPS 1	9	5,00	45,00
YPS 2	9	14,00	126,00
Total	18		
YXS 1	9	10,61	95,50
YXS 2	9	8,39	75,50
Total	18		

Test Statistics

	UE	UB	YPS	YXS
Mann-Whitney U	,000	20,500	,000	30,500
Wilcoxon W	45,000	65,500	45,000	75,500
Z	-3,580	-1,772	-3,576	-,884
Asymp. Sig. (2-tailed)	,000	,076	,000	,376
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,000 ^a	,077 ^a	,000 ^a	,387

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

1 NRRL s/n

2 C/25-7-18

Anexo 13.- Resultados del procesamiento estadístico de la Tabla 3.21
Kruskal-Wallis Test

Ranks

	GRUPO	N	Mean Rank
UE	1	12	17,92
	2	12	23,75
	3	12	13,83
	Total	36	
UB	1	12	28,58
	2	12	12,79
	3	12	14,13
	Total	36	
YPS	1	12	15,46
	2	12	30,50
	3	12	9,54
	Total	36	
YXS	1	12	27,29
	2	12	15,67
	3	12	12,54
	Total	36	

Test Statistics^{a,b}

	UE	UB	YPS	YXS
Chi-Square	5,378	16,737	25,253	13,135
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	,068	,000	,000	,001

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: GRUPO

1 NRRL s/n 2 C/25-7-18 3 Seca Activa Nevada
Comparaciones dos a dos
Mann-Whitney Test

Ranks

	GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
UE	1	12	10,21	122,50
	2	12	14,79	177,50
	Total	24		
UB	1	12	18,42	221,00
	2	12	6,58	79,00
	Total	24		
YPS	1	12	6,50	78,00
	2	12	18,50	222,00
	Total	24		
YXS	1	12	17,13	205,50
	2	12	7,88	94,50
	Total	24		

Test Statistics^b

	UE	UB	YPS	YXS
Mann-Whitney U	44,500	1,000	,000	16,500
Wilcoxon W	122,500	79,000	78,000	94,500
Z	-1,588	-4,114	-4,157	-3,229
Asymp. Sig. (2-tailed)	,112	,000	,000	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,114 ^a	,000 ^a	,000 ^a	,001 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

Ranks

GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
UE 1	12	14,21	170,50
UE 3	12	10,79	129,50
Total	24		
UB 1	12	16,67	200,00
UB 3	12	8,33	100,00
Total	24		
YPS 1	12	15,46	185,50
YPS 3	12	9,54	114,50
Total	24		
YXS 1	12	16,67	200,00
YXS 3	12	8,33	100,00
Total	24		

Test Statistiċs

	UE	UB	YPS	YXS
Mann-Whitney U	51,500	22,000	36,500	22,000
Wilcoxon W	129,500	100,000	114,500	100,000
Z	-1,185	-2,896	-2,051	-2,902
Asymp. Sig. (2-tailed)	,236	,004	,040	,004
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,242 ^a	,003 ^a	,039 ^a	,003 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

Ranks

GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
UE 2	12	15,46	185,50
UE 3	12	9,54	114,50
Total	24		
UB 2	12	12,71	152,50
UB 3	12	12,29	147,50
Total	24		
YPS 2	12	18,50	222,00
YPS 3	12	6,50	78,00
Total	24		
YXS 2	12	14,29	171,50
YXS 3	12	10,71	128,50
Total	24		

Test Statistiċs

	UE	UB	YPS	YXS
Mann-Whitney U	36,500	69,500	,000	50,500
Wilcoxon W	114,500	147,500	78,000	128,500
Z	-2,052	-,146	-4,157	-1,244
Asymp. Sig. (2-tailed)	,040	,884	,000	,213
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,039 ^a	,887 ^a	,000 ^a	,219 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

Anexo 14.- NPar Tests, Mann-Whitney Test: Jugo Primario de Caña 2003 y 2005.

Ranks

GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
BRIXPRIM Brix Primario 2003	17	13,53	230,00
Brix Primario 2005	9	13,44	121,00
Total	26		

Test Statistics ^b

	BRIXPRIM
Mann-Whitney U	76,000
Wilcoxon W	121,000
Z	-,027
Asymp. Sig. (2-tailed)	,978
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	1,000 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

NPar Tests, Mann-Whitney Test: Jugos Mezclados de Caña Energética directos del Tandem

Ranks

	GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
BRIXJM	Brix Primario 2003	11	7,36	81,00
	Brix Primario 2005	8	13,63	109,00
	Total	19		
PORCAFER	Brix Primario 2003	11	6,50	71,50
	Brix Primario 2005	8	14,81	118,50
	Total	19		

Test Statistics ^b

	BRIXJM	PORCAFER
Mann-Whitney U	15,000	5,500
Wilcoxon W	81,000	71,500
Z	-2,396	-3,182
Asymp. Sig. (2-tailed)	,017	,001
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,016 ^a	,001 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

**Anexo 15.- Modelo de % de Azúcar Fermentable a partir del % Brix.
Regression**

Variables Entered/Removed ^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	PORCBRI ^a X	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: PORCAZFE

c. Linear Regression through the Origin

NPar Tests

Runs Test

	Error for PORCAZFE with PORCBRIX from CURVEFIT, MOD_5 QUADRATIC NOC
Test Value ^a	,00000
Total Cases	29
Number of Runs	8
Z	-2,644
Asymp. Sig. (2-tailed)	,008

a. User-specified.

AREG

MODEL: MOD_6

Model Description:

Variable: PORCAZFE

Regressors: PORCBRIX

95,00 percent confidence intervals will be generated.

Split group number: 1 Series length: 29

No missing data.

Termination criteria:

Parameter epsilon: ,001

Maximum number of iterations: 10

Initial values:

Estimate of Autocorrelation Coefficient

Rho 0

Prais-Winsten Estimates

FINAL PARAMETERS:

Estimate of Autocorrelation Coefficient

Rho ,69965365

Standard Error of Rho ,13750216

Prais-Winsten Estimates

Multiple R ,98378141

R-Squared ,96782586

Adjusted R-Squared ,96544259

Standard Error ,098203

Durbin-Watson 1,7849671

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	124,94365	124,94365
Residuals	27	4,15359	,15384

Variables in the Equation:

	B	SEB	BETA	T	SIG T
PORCBRIX	,65239474	,02289198	,98378141	28,498830	,0000000

Anexo 16.- Inversiones capitalizables (IPROYAZ, 2002b)

- Tubería DN 100 mm de acero al carbono instalada a la salida de la bomba centrífuga normal de jugo clarificado del central, que conduce los jugos calientes a la destilería con unos 381 m de longitud, regulaciones constructivas, de limpieza y desinfección muy fuertes al no ser de tipo sanitaria que es la requerida.

- Bombeo, se emplea la misma bomba 4 CRVL de jugo clarificado de zafra movida por motor de 15 Kw.

- Dos tanques receptores interconectados en la destilería de 46 t cada uno procedente de un central desactivado para un total de 92 t, que alcanza para poco más de un refresco en fermentación, con instalaciones de limpieza y desinfección.
- Una batería de intercambiadores de calor Webre típicos del MINAZ con diámetro de coraza 406 mm (16 pg.) con tres tubos sellados de los 26 que tienen por pase, para alcanzar la velocidad de diseño y no se incrusten con los jugos de los filtros.
- Recubrimiento de las placas cabezales con pintura epoxi termoácidorresistente en la evitación de la corrosión del par galvánico cobre-hierro, por la acidez natural de los jugos de caña energética que no se alcalizan.
- Dichos intercambiadores tienen una salida conectada a la línea de agua de los disolutores de miel, que se sustituye totalmente por los jugos de caña energética, conteniendo no menos de ocho por ciento Brix con operaciones normales en el tándem.
- Reajuste de los flujos en los disolutores de mieles de operación manual, toda vez que al sustituirse el agua con incertidumbre cero de sólidos solubles por los jugos que sí tienen incertidumbre en ello; se origina una variable de perturbación nunca antes existente en la destilería Paraíso. De estar automatizada esta operación industrial la incertidumbre se reduce significativamente.

De la salida de los disolutores en lo adelante las operaciones son las normales que se ejecutan en la fábrica con melazas solas. El costo económico es como sigue:

Inversión en equipos = \$ 22 149,00 Construcción y montaje = \$ 13 570,00
 Vida útil = 10 años Costo anual = \$ 35 719,00 / 10 = \$ 3 579,90
 Costo anual de operación = \$ 7 000,00 Costo anual de mantenimiento = \$ 3 000,00
 Costo total anual = \$ 13 571,90

Para 135 días óptimos de molida de caña energética por año (Romero, 2005), sus jugos mezclados aportan A.F. para 79,2 días equivalentes de operaciones a 9,8% Brix y calculado con el modelo estadístico descrito en el 3.4.1.3 del Capítulo II, por lo que:

Costo anual con Jugos de Caña Energética = \$ 13 571,90 / (79,2/300) = \$ 3 582,98

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
Inversión en equipos	\$ 22 149,00
Construcción y montaje	\$ 13 570,00
Vida útil	10 Años
Costo anual de operación	\$ 7 000,00
Costo anual de mantenimiento	\$ 3 000,00
Costo Total anual	\$ 13 571,90

Usos	Zafra: Jugos de los Filtros Postzafra: Jugos de caña energética + melaza	
Tiempo equivalente de operación solo con A. F. de jugos de caña energética	79,2 días de los 300 días anuales	
Costo anual para jugos de caña energética	\$ 3 582,98	
Utilidades avaladas por el uso de los jugos de caña energética mezclados con melazas	\$ 23 021,78 CUP	\$ 2 761,90 CUC
Tiempo de amortización de las inversiones por los 11 fermentadores	7,2 años para jugos de caña energética	
Aumento al valor agregado/fermentador	\$ 2 092,89 CUP	\$ 251,08 CUC

Anexo 17.- Temperaturas de salida de los intercambiadores de calor

Medición	°C								
1	68	13	79	25	85	37	84	49	83
2	77	14	83	26	84	38	80	50	78
3	86	15	81	27	83	39	81	51	87
4	84	16	89	28	83	40	82	52	89
5	94	17	85	29	84	41	86	53	93
6	90	18	87	30	83	42	87	54	90
7	85	19	90	31	84	43	88	55	92
8	86	20	95	32	85	44	93	56	89
9	83	21	88	33	89	45	90	57	88
10	89	22	87	34	91	46	87	-	-
11	81	23	86	35	88	47	84	-	-
12	79	24	85	36	92	48	81	-	-

Anexo 18 Temperaturas del jugo al bombear para la destilería.

Bombeo	°C	Bombeo	°C	Bombeo	°C
1	66	6	63	11	63
2	65	7	63	12	65
3	64	8	62	13	66
4	68	9	68	14	64
5	66	10	65	15	63

Anexo 19.- Inóculos de prefermentación a fermentadores.

**Inóculo de fermentación
NPar Tests
Mann-Whitney Test**

Ranks				
	GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
PH	1	11	12,55	138,00
	2	11	10,45	115,00
	Total	22		
ACIDEZ	1	11	11,45	126,00
	2	11	11,55	127,00
	Total	22		
TEMPERATURA	1	11	12,55	138,00
	2	11	10,45	115,00
	Total	22		
CONTE	1	11	10,86	119,50
	2	11	12,14	133,50
	Total	22		
GEMACIO	1	11	11,14	122,50
	2	11	11,86	130,50
	Total	22		

Test Statistics						
	PH	ACIDEZ	TEMPERATURA	CONTE	GEMACIO	
Mann-Whitney U	49,000	60,000	49,000	53,500	56,500	
Wilcoxon W	15,000	26,000	15,000	19,500	22,500	
Z	-,766	-,033	-,769	-,462	-,263	
Asymp. Sig. (2-tailed)	,444	,974	,442	,644	,793	
Exact Sig. [2*(one-tailed Sig.)]	,478 ^a	1,000 ^a	,478 ^a	,652 ^a	,797 ^a	

^a Not corrected for ties.

^b Grouping Variable: GRUPO

Anexo 20.- Características de los jugos de caña energética empleados en la fermentación industrial de la molida de 2003.

Al fermentador	%Brix	% P o l	% P u rez a Azucar.	pH	Acidez	% R e d. L i b r e	% A . T .	% I n f e r m.	Temp. E n f . C	I/A.T.	ufc. 10 ³	g/l hexosa s fer me n.
1	7,04	3,84	54,55	4,5	1,34	1,22	5,06	1,04	35	0,205	156	42,1
2	7,64	4,17	54,58	4,8	1,22	1,19	5,36	1,25	35	0,233	136	43,2
3	8,80	5,38	61,14	5,0	0,94	0,92	6,30	1,25	38	0,198	142	53,2
4	8,75	5,34	61,03	5,0	0,93	0,91	6,25	1,22	38	0,195	148	53,0
5	8,77	5,34	60,89	5,0	0,92	0,92	6,26	1,23	38	0,196	150	53,0
6	7,90	4,28	54,18	5,1	0,90	1,20	5,48	1,30	36	0,237	147	43,9
7	7,85	4,24	54,01	5,5	0,91	1,21	5,45	1,29	36	0,237	136	43,7
8	10,13	6,24	61,60	5,6	0,87	1,26	7,50	1,38	37	0,184	138	64,3
9	10,13	6,21	61,30	5,6	0,88	1,34	7,55	1,38	37	0,183	142	64,8
10	8,34	4,56	54,68	5,5	0,92	1,41	5,97	1,27	32	0,213	150	49,3
11	8,45	4,71	55,74	5,5	0,92	1,44	6,15	1,20	32	0,195	137	51,9

% Peso de la caña: Molida 1= 64,2 Molida 2 = 57,1 Molida 3 = 54,1

Molida 4 = 53,8 Molida 5 = 59,8

Régimen de molida efectiva: Molida 1 = 2 304 t/día Molida 2 = 2287 t/día

Molida 3 = 2 327 t/día Molida 4 = 2 341 t/día Molida 5 = 2 350 t/día

Anexo 21.- Características de las melazas empleadas en la fermentación industrial.

Para la Mezcla Jugo + Miel

Al ferme- n- tador	Melaza %Brix	pH	Acidez	% Cenizas	% Sacarosa	% Re- d. Li- bre	% A. T.	% Inf- er- m.	ufc. 10 ³	% w/w Física usada	g/l hexosas fermen- ent.
1	80,24	5,1	0,26	6,50	29,83	22,57	52,40	3,78	143	10,52	502,2
2	80,24	5,1	0,26	6,50	29,83	22,57	52,40	3,78	143	9,77	502,2
3	80,61	5,1	0,24	6,38	34,70	19,60	54,30	3,61	151	7,06	497,9
4	80,61	5,1	0,24	6,38	34,70	19,60	54,30	3,61	151	7,13	497,9
5	80,61	5,1	0,24	6,38	34,70	19,60	54,30	3,61	151	9,02	497,9
6	80,44	5,2	0,25	6,51	30,78	19,00	49,78	3,53	157	9,42	480,7
7	80,44	5,2	0,25	6,51	30,78	19,00	49,78	3,53	157	10,13	480,7
8	80,44	5,2	0,25	6,51	30,78	19,00	49,78	3,53	157	6,68	480,7
9	80,08	5,1	0,24	6,50	33,25	19,00	52,25	3,36	146	7,41	506,4
10	80,08	5,1	0,24	6,50	33,25	19,00	52,25	3,36	146	9,57	506,4
11	80,08	5,1	0,24	6,50	33,25	19,00	52,25	3,36	146	9,62	506,4

Anexo 21.- Continuación. Para la Miel sola

12	80,34	5,1	0,25	6,52	33,06	19,20	52,26	3,51	156	20,36	504,9
13	80,34	5,1	0,25	6,52	33,06	19,20	52,26	3,51	156	20,31	504,9
14	80,34	5,1	0,25	6,52	33,06	19,20	52,26	3,51	156	20,44	504,9
15	80,68	5,5	0,15	7,62	35,06	19,80	54,86	3,61	147	20,72	510,9
16	80,68	5,5	0,15	7,62	35,06	19,80	54,86	3,61	147	20,75	510,9
17	80,80	5,1	0,23	7,27	34,44	17,60	52,04	3,57	155	20,11	492,3
18	80,80	5,1	0,23	7,27	34,44	17,60	52,04	3,57	155	20,20	492,3
19	80,80	5,1	0,23	7,27	34,44	17,60	52,04	3,57	155	19,80	492,3
20	80,70	5,3	0,25	7,26	34,58	18,80	53,38	3,65	149	18,87	515,5
21	80,70	5,3	0,25	7,26	34,58	18,80	53,38	3,65	149	17,92	515,5
22	80,70	5,3	0,25	7,26	34,58	18,80	53,38	3,65	149	19,21	515,5

Anexo 22.- Características de los sustratos para fermentar industrialmente.

Mezcla Jugo + Miel

Fermentador	g/l de sólidos solubles	g/l Azúcares Totales	g/l Azúcares Fermenta- bles	g/l de hexosas fermentables		
				Del Jugo	De la Miel	Total
1	154,7	105,7	91,3	42,1	52,8	94,9
2	154,9	104,8	88,6	43,2	49,1	92,3
3	145,0	101,3	86,3	53,2	35,2	88,4
4	145,0	100,8	86,4	53,0	35,5	88,5
5	160,5	111,6	96,0	53,0	44,9	97,9
6	154,8	101,7	85,4	43,9	45,3	89,2
7	160,0	104,9	88,5	43,7	48,7	92,4
8	155,0	108,3	92,1	64,3	32,1	96,4
9	160,6	114,2	97,9	64,8	37,5	102,3
10	160,0	109,7	93,8	49,3	48,5	97,8
11	161,5	111,8	96,5	51,9	48,7	100,6

Miel sola

12	163,6	106,4	99,3	-	102,8	102,8
13	163,2	106,1	99,0	-	102,5	102,5
14	164,2	106,8	99,6	-	103,2	103,2
15	167,2	113,7	106,2	-	105,9	105,9
16	167,4	113,8	106,3	-	106	106
17	162,4	104,7	97,5	-	99,0	99,0
18	163,2	105,1	97,9	-	99,4	99,4
19	160,0	103,0	96,0	-	97,5	97,5
20	152,3	100,7	93,8	-	97,3	97,3
21	144,8	95,7	89,1	-	92,4	92,4
22	155,0	102,5	95,5	-	99,0	99,0

Anexo 23.- Análisis estadístico del estado final de la fermentación en le destilería Paraíso de la Tabla 3.5.

NPar Tests, Mann-Whitney Test: Fermentación

Ranks

	GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
PH	1	11	10,09	111,00
	2	11	12,91	142,00
	Total	22		
ACIDEZ	1	11	13,14	144,50
	2	11	9,86	108,50
	Total	22		
TEMP	1	11	12,68	139,50
	2	11	10,32	113,50
	Total	22		
YPS	1	11	16,64	183,00
	2	11	6,36	70,00
	Total	22		
YXS	1	11	10,82	119,00
	2	11	12,18	134,00
	Total	22		
UE	1	11	13,95	153,50
	2	11	9,05	99,50
	Total	22		
GLAZUCAE	1	11	7,86	86,50
	2	11	15,14	166,50
	Total	22		

Test Statistics^b

	PH	ACIDEZ	TEMP	YPS	YXS	UE	GLAZUCAE
Mann-Whitney U	45,000	42,500	47,500	4,000	53,000	33,500	20,500
Wilcoxon W	111,000	108,500	113,500	70,000	119,000	99,500	86,500
Z	-1,026	-1,185	-,901	-3,711	-,493	-1,780	-2,628
Asymp. Sig. (2-tailed)	,305	,236	,368	,000	,622	,075	,009
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,332 ^a	,243 ^a	,401 ^a	,000 ^a	,652 ^a	,076 ^a	,007 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

Anexo 24.-.- Modelos de variables fermentativas alcohólicas industriales.

Regression

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	UEMIEL ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: UEMEZCLA

c. Linear Regression through the Origin

AREG

MODEL: MOD_1

Model Description:

Variable: UEMEZCLA

Regressors: UEMIEL

95,00 percent confidence intervals will be generated.

Split group number: 1 Series length: 11

No missing data.

Termination criteria:

Parameter epsilon: ,001
 Maximum number of iterations: 10

Initial values:

Estimate of Autocorrelation Coefficient
 Rho 0

Conclusion of estimation phase.

Estimation terminated at iteration number 2 because:

All parameter estimates changed by less than ,001

FINAL PARAMETERS:

Estimate of Autocorrelation Coefficient

Rho ,37938148

Standard Error of Rho ,30841345

Prais-Winsten Estimates

Multiple R ,98990172

R-Squared ,97990541

Adjusted R-Squared ,97543995

Standard Error ,02254427

Durbin-Watson 1,5131725

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	,22305901	,22305901
Residuals	9	,00457420	,00050824

Variables in the Equation:

	B	SEB	BETA	T	SIG T
UEMIEL	1,0312235	,04922424	,98990172	20,949504	,0000000

Regression

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	YPSMIEL ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: YPSMEZCL

c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,999 ^b	,998	,998	3,31751	2,371

a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.

b. Predictors: YPSMIEL

c. Dependent Variable: YPSMEZCL

d. Linear Regression through the Origin

ANOVA c,d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	69219,037	1	69219,037	6289,294	,000 ^a
	Residual	110,059	10	11,006		
	Total	69329,095 ^b	11			

- a. Predictors: YPSMIEL
- b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
- c. Dependent Variable: YPSMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

Coefficients a,b

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	YPSMIEL	1,078	,014	,999	79,305	,000

- a. Dependent Variable: YPSMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics a,b

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	75,7333	84,3817	79,2850	2,67928	11
Residual	-6,9817	3,8491	,0804	3,31643	11
Std. Predicted Value	-1,326	1,902	,000	1,000	11
Std. Residual	-2,105	1,160	,024	1,000	11

- a. Dependent Variable: YPSMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Regression

Variables Entered/Removed b,c

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	YXSMIEL ^a	.	Enter

- a. All requested variables entered.
- b. Dependent Variable: YXSMEZCL
- c. Linear Regression through the Origin

Model Summary c,d

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,999 ^b	,998	,998	,29917	1,504

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
- b. Predictors: YXSMIEL
- c. Dependent Variable: YXSMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

ANOVA^{c,d}

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	447,974	1	447,974	5004,982	,000 ^a
	Residual	,895	10	,090		
	Total	448,869 ^b	11			

- a. Predictors: YXSMIEL
- b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
- c. Dependent Variable: YXSMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

Coefficients^{a,b}

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	YXSMIEL	,994	,014	,999	70,746	,000

- a. Dependent Variable: YXSMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics^{a,b}

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	5,9822	6,9362	6,3743	,31989	11
Residual	-,5873	,4996	,0102	,29898	11
Std. Predicted Value	-1,226	1,757	,000	1,000	11
Std. Residual	-1,963	1,670	,034	,999	11

- a. Dependent Variable: YXSMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Regression

Variables Entered/Removed^{b,c}

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	YPXMIEL ^a	.	Enter

- a. All requested variables entered.
- b. Dependent Variable: YPXMEZCL
- c. Linear Regression through the Origin

Model Summary^{c,d}

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,998 ^b	,996	,995	,85269	2,235

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
- b. Predictors: YPXMIEL
- c. Dependent Variable: YPXMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

ANOVA c,d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1699,986	1	1699,986	2338,125	,000 ^a
	Residual	7,271	10	,727		
	Total	1707,257 ^b	11			

- a. Predictors: YPXMIEL
- b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
- c. Dependent Variable: YPXMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

Coefficients a,b

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	YPXMIEL	1,079	,022	,998	48,354	,000

- a. Dependent Variable: YPXMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics a,b

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	11,0830	14,0291	12,4005	,92117	11
Residual	-1,4691	1,4772	,0449	,85138	11
Std. Predicted Value	-1,430	1,768	,000	1,000	11
Std. Residual	-1,723	1,732	,053	,998	11

- a. Dependent Variable: YPXMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Regression

Variables Entered/Removed b,c

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	YTSMIEL ^a	.	Enter

- a. All requested variables entered.
- b. Dependent Variable: YTSMEZCL
- c. Linear Regression through the Origin

Model Summary c,d

Model	R	R Square ^a	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,999 ^b	,999	,999	3,26004	2,315

- a. For regression through the origin (the no-intercept model), R Square measures the proportion of the variability in the dependent variable about the origin explained by regression. This CANNOT be compared to R Square for models which include an intercept.
- b. Predictors: YTSMIEL
- c. Dependent Variable: YTSMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

ANOVA c,d

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	80816,962	1	80816,962	7604,253	,000 ^a
	Residual	106,279	10	10,628		
	Total	80923,241 ^b	11			

- a. Predictors: YTSMIEL
- b. This total sum of squares is not corrected for the constant because the constant is zero for regression through the origin.
- c. Dependent Variable: YTSMEZCL
- d. Linear Regression through the Origin

Coefficients a,b

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	YTSMIEL	1,072	,012	,999	87,202	,000

- a. Dependent Variable: YTSMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Residuals Statistics a,b

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	82,4757	90,3566	85,6826	2,45656	11
Residual	-6,7965	3,8543	,0674	3,25927	11
Std. Predicted Value	-1,305	1,903	,000	1,000	11
Std. Residual	-2,085	1,182	,021	1,000	11

- a. Dependent Variable: YTSMEZCL
- b. Linear Regression through the Origin

Regression

AREG

MODEL: MOD_2

Model Description:

Variable: INDMEZCL

Regressors: INDMIEL

95,00 percent confidence intervals will be generated.

Split group number: 1 Series length: 11

No missing data.

Termination criteria:

Parameter epsilon: ,001

Maximum number of iterations: 10

Initial values:

Estimate of Autocorrelation Coefficient

Rho 0

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	2203,4488	2203,4488
Residuals	10	69,7917	6,9792

Variables in the Equation:

	B	SEB	BETA	T	SIG T
INDMIEL	,70039388	,03941785	,98452962	17,768446	,0000000

Iteration History:

Iteration	Rho	SE Rho	DW	MSE
1	-,31305319	,31657853	2,1009701	6,9834347
2	-,31624159	,31622623	2,0955565	6,9833252

Conclusion of estimation phase.
 Estimation terminated at iteration number 3 because:
 All parameter estimates changed by less than ,001

FINAL PARAMETERS:

Estimate of Autocorrelation Coefficient

Rho - ,31625465

Standard Error of Rho ,31622478

Prais-Winsten Estimates

Multiple R ,99152499

R-Squared ,9831218

Adjusted R-Squared ,97937109

Standard Error 0,0642598

Durbin-Watson 2,0955344

Analysis of Variance:

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	3660,8839	3660,8839
Residuals	9	62,8499	6,9833

Variables in the Equation:

	B	SEB	BETA	T	SIG T
INDMIEL	,70398529	,03074693	,99152499	22,896118	,0000000

Anexo 25.- Resultados del procesamiento estadístico de las muestras de vinazas.

Pruebas no paramétricas: Vinazas

NPar Tests

Mann-Whitney Test

Ranks

	GRUPO	N	Mean Rank	Sum of Ranks
BRIX	Mezcla	7	8,71	61,00
	Miel	7	6,29	44,00
	Total	14		
RRES	Mezcla	7	7,71	54,00
	Miel	7	7,29	51,00
	Total	14		
PH	Mezcla	7	6,64	46,50
	Miel	7	8,36	58,50
	Total	14		
CONDUCT	Mezcla	7	6,36	44,50
	Miel	7	8,64	60,50
	Total	14		
DQO	Mezcla	7	5,00	35,00
	Miel	7	10,00	70,00
	Total	14		

Test Statistics^b

	BRIX	RRES	PH	CONDUCT	DQO
Mann-Whitney U	16,000	23,000	18,500	16,500	7,000
Wilcoxon W	44,000	51,000	46,500	44,500	35,000
Z	-1,087	-,193	-,771	-1,027	-2,271
Asymp. Sig. (2-tailed)	,277	,847	,441	,305	,023
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	,318 ^a	,902 ^a	,456 ^a	,318 ^a	,026 ^a

a. Not corrected for ties.

b. Grouping Variable: GRUPO

Anexo 26.- Comparación entre las molidas de 2003 y 2005

Jugos Primarios molida 2005

Muestra	% Brix	% Pol	% Pureza	pH	Acidez
1	16,45	10,90	66,26	5,0	0,16
2	14,45	9,15	63,32	5,2	0,15
3	15,45	11,25	73,00	5,0	0,12
4	15,33	10,90	71,00	5,2	0,14
5	17,74	13,00	73,00	4,5	0,14
6	15,81	9,90	63,00	4,7	0,15
7	17,21	9,75	57,00	4,6	0,15
8	16,25	9,01	55,45	4,7	0,16
Promedio	16,00	10,48	65,15	4,9	0,15

Jugos Mezclados molida 2005

Muestra	% Brix	% Pol	% Pureza	pH	Acidez	% Red. Libres	% Azuc. Totales	% Inf.	I / A.T.	NMP . 10 ⁶	g/l hexosas ferment.
1	10,44	6,15	58,90	5,2	0,37	1,97	8,12	1,67	0,206	0,92	68,6
2	9,72	5,20	53,49	5,2	0,35	2,37	7,57	1,53	0,202	0,98	63,0
3	9,60	6,30	66,00	5,0	0,34	1,77	8,07	1,68	0,208	1,15	69,1
4	9,77	6,40	65,51	5,2	1,18	1,92	8,32	1,66	0,200	1,39	69,8
5	9,80	6,25	64,00	5,2	0,24	1,75	8,00	1,60	0,200	1,65	67,1
6	10,68	5,70	53,00	5,0	1,35	2,07	7,77	1,58	0,203	1,94	64,8
7	8,71	4,75	55,00	4,9	1,67	2,19	6,94	1,45	0,209	1,90	58,3
8	9,86	5,84	59,23	4,9	0,79	1,89	7,73	1,61	0,208	2,08	64,1
Promedio	9,82	5,82	59,27	5,1	0,79	1,99	7,82	1,65	0,211	1,50	65,6

% Extracción de jugo mezclado = 53,2 Régimen de molida efectiva= 2288 t/día