



**Universidad de Sancti Spíritus “José Martí Pérez”
Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales**

**TESIS PRESENTADA EN OPCION AL TITULO
ACADÉMICO DE MASTER EN EFICIENCIA ENERGETICA**

Título:

**Obtención del índice de eficiencia energética
equivalente por ventas de jugos de caña energética
conservados**

Autor: Prof. Asist., Lic. Amilkar Faíldes López, UNISS

Tutor: Prof. Tit.,Dr. C., Ing. Joaquín de J. Obregón Luna, UNISS

- Diciembre 2015 -

Resumen

El grupo AzCuba proyecta la futura instalación de una bioeléctrica con 50 MW de potencia en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Central Azucarero Uruguay de Sancti Spíritus, utilizará como principal biomasa combustible bagazo de caña azucarera. Además, entre otras biomásas combustibles utilizará la caña energética también.

Si se aplica la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) en dicha entidad, es necesario definir un índice de eficiencia energética equivalente en la etapa de diagnóstico energético y socio-ambiental.

Lo anterior justificó el objetivo de esta investigación: obtener un índice de eficiencia energética equivalente para la bioeléctrica de la UEB Central Azucarero Uruguay, por las ventas de jugos de caña energética conservados con mieles azucareras. Con ello se podrá realizar el diagnóstico energético y socio-ambiental con el empleo de la TGTEE. Fueron utilizados los métodos de entrevistas; modelación estadística por regresión lineal; balance de masas y álgebra matemática. Los resultados obtenidos fueron: la bioeléctrica UEB Central Azucarero Uruguay no tiene un destino útil para los jugos de caña energética y se encontró mercado seguro en la destilería Paraíso para los jugos de caña energética conservados. Los modelos de regresión obtenidos, demostraron la similitud del comportamiento de los jugos conservados y la miel final, con aumento del índice de eficiencia energética equivalente por reducción de costos de 35% a 36,8% y de 44,8%, al comercializar jugos conservados con miel final y miel B respectivamente. Se concluyó que: la bioeléctrica no tiene un destino útil para los jugos de caña energética y existe mercado seguro para la venta de estos jugos conservados; se demostró la factibilidad tecnológica de la conservación de los jugos y se obtuvo un índice de eficiencia energética equivalente en la bioeléctrica, por ventas de jugos conservados con miel final y miel B.

Abstract

The group AzCuba projects the future installation of a bio-power with 50 MW of power in the Sugar Managerial Unit Station Uruguay of Sancti Spíritus, will use as main biomass combustible trash of sugar cane. Also, among other combustible biomasses it will also use the energy cane.

If the Technology of Efficient Total Administration of the Energy is applied (TGTEE) in this entity, it is necessary to define an index of equivalent energy efficiency in the stage of diagnostic energy and partner-environmental.

The above-mentioned justified the objective of this investigation: to obtain an index of equivalent energy efficiency for the bio-power of the sugar station Uruguay, for the sales of juices of energy cane conserved with sugar honeys. With he will be able to it to be carried out the energy and partner-environmental diagnosis with the employment of the TGTEE. The methods of interviews were used; lineal regression; balance of masses and mathematical algebra. The obtained results were: the bio-power Sugar Managerial Unit Station Uruguay doesn't have a useful destination for the juices of energy cane and it was sure market in the still Paradise for the conserved juices of energy cane. The obtained regression models, demonstrated the similarity of the behavior of the conserved juices and the blackstrap molasses, with increase of the index of equivalent energy efficiency for reduction of costs of 35% to 36, 8 % and of 44, 8 %, when marketing juices conserved respectively with blackstrap molasses and honey B. You concluded that: the bio-power doesn't have an useful destination for the juices of energy cane and market insurance exists for the sale of these conserved juices; the technological feasibility of the conservation of the juices was demonstrated and an index of equivalent energy efficiency was obtained in the bio-power, for sales of juices conserved with blackstrap molasses and honey B.

Introducción	5
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica	8
1.1 La Tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía	8
1.2 Las bioeléctricas en la industria azucarera cubana	14
1.3 La bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay	15
1.4 La caña energética como fuente renovable de energía	19
1.5 Tratamientos Térmicos a los substratos de caña azucarera	23
1.6 Preservación multivariable de los substratos azucareros	25
Conclusiones Parciales	29
Capítulo 2. Materiales y Métodos	
2.1 Tareas de investigación	30
2.2 Diagrama Heurístico del estudio	30
2.3 Destino de jugos de caña energética	32
2.4 Mercado para la venta de los jugos de caña energética conservados	33
2.5 Factibilidad tecnológica de la conservación de jugos de caña energética	34
2.6 Obtención del índice de eficiencia energética equivalente por la venta de jugo conservado	45
Conclusiones Parciales	51
Capítulo 3. Resultados y Discusión	
3.1 Resultados del destino de jugos de caña energética	52
3.2 Resultados de mercado para los jugos de caña energética	52
3.3 Resultados de la factibilidad tecnológica de la conservación de jugos de caña energética	52
3.4 Resultados de la obtención del índice de eficiencia energética equivalente por la venta de jugo conservado	67
3.5 Discusión de los resultados del destino de jugos de caña energética	69

3.6 Discusión de los resultados de mercado para los jugos de caña energética	69
3.7 Discusión de la factibilidad tecnológica de la conservación de jugos de caña energética	69
3.8 Discusión de los resultados de la obtención del índice de eficiencia energética equivalente por la venta de jugo conservado	73
Conclusiones Parciales	75
Conclusiones	76
Recomendaciones	77
Bibliografía	78
Anexos	

Introducción

Estudios sobre eficiencia energética, realizados por el Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEMA) de la Universidad de Cienfuegos en más de 100 empresas cubanas para caracterizar la administración de la energía arrojó entre otras insuficiencias que existen indicadores de consumo al nivel de empresa, pero no en todos los casos estos caracterizan adecuadamente la eficiencia energética y su evolución (Colectivo de autores, 2006).

Para eliminar esta y otras insuficiencias el CEMA elaboró la Tecnología de Gestión Total de la Eficiencia Energética (TGTEE) La TGTEE es un sistema de gestión de la energía que consiste en un paquete de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado, que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa.

Su objetivo no es sólo diagnosticar y dejar un plan de medidas, sino esencialmente elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa, de forma tal que esta sea capaz de desarrollar un proceso de mejora continua de la eficiencia energética (Colectivo de autores, 2006).

Las futuras bioeléctricas que se instalarán en el país, a partir de biomasa cañera para modificar la matriz energética cubana, dependiente en un 96% de los combustibles fósiles (Guerra, 2014) podrán aplicar la TGTEE y definir indicadores de eficiencia energética, que permitan su monitoreo y control.

Una de ellas será la que se instalará en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Central Azucarero Uruguay, del municipio de Jatibonico en la provincia de Sancti Spiritus, que empleará como biomasa combustible bagazo de caña de azúcar y fuera de período de zafra azucarera, caña energética entre otros (Romero, 2005; Balboa, 2015). Cuando se emplee la caña energética, se originarán jugos que conservados pueden venderse a otras empresas como destilerías y plantas de

torula, para producir bioetanol, levadura *Saccharomyces ssp.*, y torula. La venta de jugos conservados, reducirá los costos de compra y procesamiento de la caña energética que asumirá la bioeléctrica y este hecho refleja un aumento de eficiencia energética. La implantación de TGTEE en esta futura bioeléctrica tendrá que definir un índice de eficiencia energética equivalente TGTEE, para realizar la etapa de diagnóstico energético y socio-ambiental. Esta es la **situación problemática** de este estudio.

Lo anterior permitió identificar como **problema científico** de esta investigación:

la ausencia de un índice de eficiencia energética equivalente para cuando se use utilice la biomasa combustible caña energética y se cuente con jugos conservados, permita realizar el diagnóstico energético y socio-ambiental, con la TGTEE en la futura bioeléctrica UEB Central Azucarero Uruguay.

Para darle solución al problema científico se formuló el **objetivo general**:

Obtener un índice de eficiencia energética equivalente en la bioeléctrica UEB Central Azucarero Uruguay, por las ventas de jugos de caña energética conservados para realizar el diagnóstico energético y socio-ambiental de la TGTEE.

Con vistas a buscar respuesta a lo anterior, se trazaron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Definir si la bioeléctrica tiene un destino útil para los jugos de caña energética que se originarán y si existe mercado seguro para la venta de estos jugos conservados, como nuevo producto en el mercado nacional.
2. Demostrar la factibilidad tecnológica de la conservación de los jugos
3. Obtener un índice de eficiencia energética equivalente en la bioeléctrica, por ventas de esos jugos mezclados con miel final y miel B.

Como **justificación** de esta investigación están los beneficios esperados:

- **Utilidad metodológica**: la obtención del índice de eficiencia equivalente para valorar la eficiencia energética y controlarla dentro de la TGTEE en la futura bioeléctrica Central Azucarero Uruguay, puede replicarse en otras futuras bioeléctricas que empleen la caña energética como combustible

- **Beneficio social:** Empleo y sueldo a trabajadores en periodo fuera de zafra; más alimento proteico para animales, al emplear la levadura *Saccharomyces ssp.*, procedente de la fermentación alcohólica; este último de utilidad en la industria alimentaria y de medicamentos.
- **Beneficio ambiental:** se evitará la contaminación de los suelos porque los jugos de caña energética no se convertirán en residuales líquidos en la futura bioeléctrica de la UEB Central Azucarero Uruguay

Como **objeto de estudio** se determinó: la TGTEE y la conservación de los jugos de caña energética, y el **campo de acción:** los índices de eficiencia energética y las variables de estabilidad en los jugos de caña energética.

Como **hipótesis** de esta investigación se precisó: si se obtiene un índice de eficiencia energética equivalente se podrá realizar la etapa de diagnóstico energético y socio-ambiental con la TGTEE.

El autor considera como **aportes** de su investigación lo siguiente:

- La demostración de la factibilidad tecnológica de la conservación de los jugos de caña energética
- La obtención de un índice de eficiencia energética equivalente en una bioeléctrica que use combustible caña energética.

Como novedad:

- Las soluciones ingenieras que se deriven para su implementación práctica, en las bioeléctricas que se instalarán en las Unidad Empresarial de Base Azucareras, presentarán: novedad, actividad inventiva y aplicabilidad industrial; atributos que al menos permite solicitar patente a la Oficina Cubana de la Propiedad Industrial.

CAPITULO 1. REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía, necesaria para garantizar calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones, incluido el sector agroindustrial azucarero en Cuba.

Eficiencia Energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto (Borroto y cols., 2002; Colectivo de autores, 2006).

Para evaluar los cambios en la eficiencia energética se utilizan indicadores de tres tipos fundamentales que aparecen en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1 Índices utilizados para evaluar y controlar la eficiencia energética empresarial

Tipo de Índice	Índice
Consumo	Energía consumida / Producción realizada Energía consumida / Servicios prestados
Eficiencia	Energía teórica / Energía real Energía producida / Energía consumida
Económicos -Energéticos	Gastos Energéticos /Gastos Totales Gastos energéticos/Ingresos (ventas)

Fuente: (Borroto y cols., 2002; Colectivo de autores, 2006).

La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas (Colectivo de autores, 2006)

En la Figura 1.1 se muestra en un gráfico un sistema de gestión de la energía.

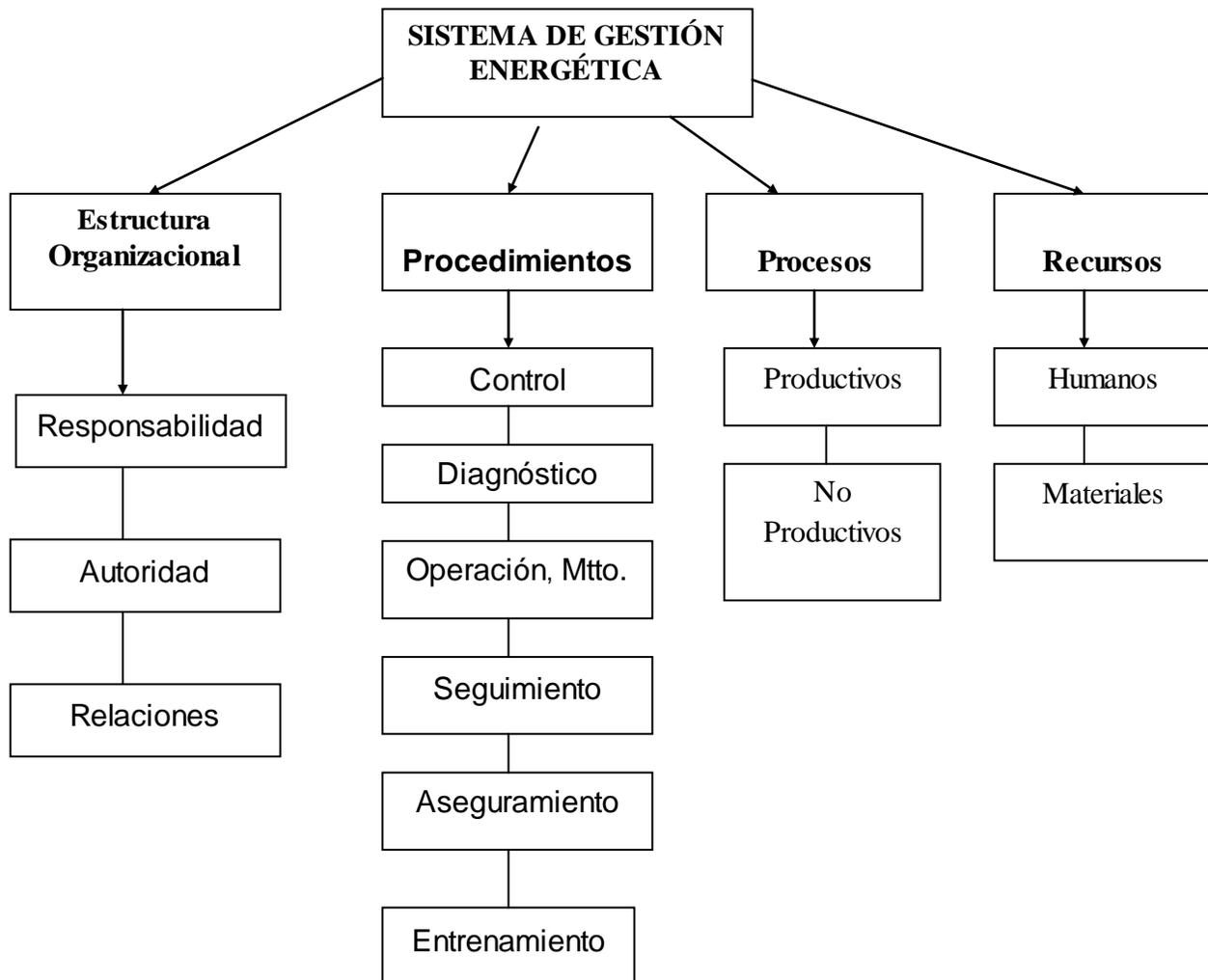


Figura 1.1 Elementos que integran un sistema de gestión de la energía

Fuente: Colectivo de autores, (2006)

Estudios realizados por el CEMA de la Universidad de Cienfuegos, en más de 100 empresas cubanas para determinar la situación actual de su capacidad técnico-organizativa de la administración eficiente de la energía existente arrojaron los resultados mostrados en la Figura 1.2 (Colectivo de autores, 2006).

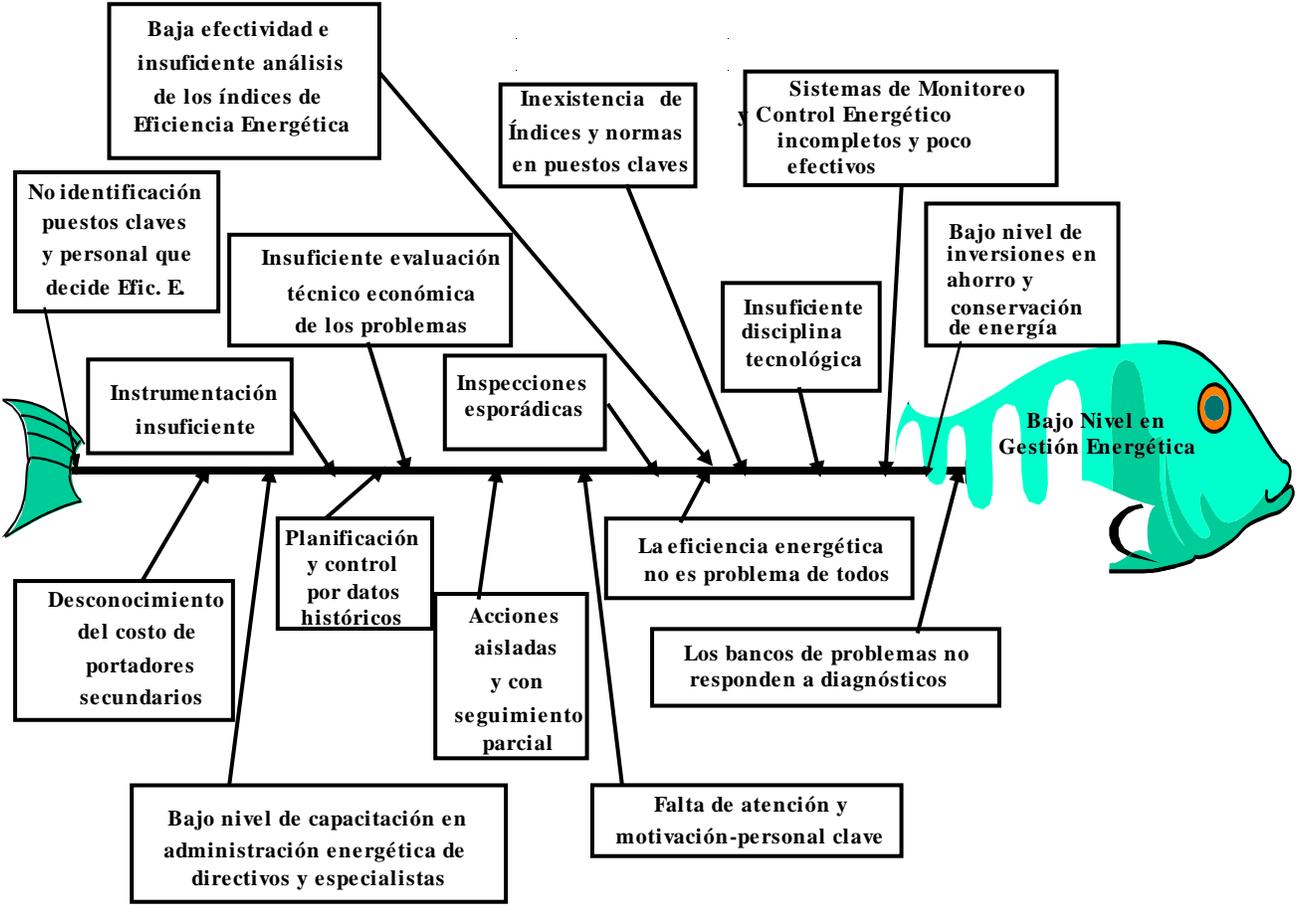


Figura 1.2 Diagrama de Ishikawa con las causas del bajo nivel en materia de gestión energética empresarial
 Fuente: Colectivo de autores, (2006)

La TGTEE fue la solución encontrada por el CEMA para elevar el nivel en materia de eficiencia energética en las empresas cubanas. Este sistema de gestión de la energía incorpora un conjunto de procedimientos y herramientas innovadoras en el campo de la gestión energética. Es particularmente novedoso el sistema de control energético, que incorpora todos los elementos necesarios para que exista verdaderamente control de la eficiencia energética

La TGTEE se caracteriza por los siguientes elementos:

- Es un proceso de reingeniería de la gestión energética de la empresa.
- Su propósito no es sólo diagnosticar y dejar un programa, sino elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa para ser autosuficiente en la gestión por la reducción de sus costos energéticos.
- Añade el estudio socio ambiental, la gestión de mantenimiento, la gestión tecnológica y los elementos de las funciones básicas de la administración que inciden en el uso eficiente de la energía.
- Es capaz de identificar un número muy superior de medidas triviales y de baja inversión para la reducción de los costos energéticos.
- Entrena, capacita y organiza los recursos humanos que deciden la reducción de los consumos y gastos energéticos, y así crea una nueva cultura energética.
- Instala en la empresa procedimientos, herramientas y capacidades para su uso continuo y se compromete con su consolidación.

La TGTEE consta de varias etapas:

- Prueba de necesidad
- Compromiso de la alta dirección
- Diagnóstico energético y socio ambiental
- Diseño de un plan
- Organización y composición de equipos de mejora

- Aplicación de acciones y medidas
- Seguimiento y control

Las etapas constan de varias acciones que se recopilan en la Tabla 1.2

Tabla 1.2 Acciones que se realizan en cada etapa de la TGTEE

Etapas	Acciones
Prueba de la Necesidad	Determinación y análisis de Índices Globales Curvas de comportamiento de consumos Diagnóstico energético-ambiental preliminar Diagnóstico general al sistema de administración Identificación de potenciales y Evaluación de Impactos
Compromiso de la Alta Dirección	Caracterización del estado actual. Proposición de alternativas. Formulación de metas posibles Formular visión y escenarios posibles
Diagnóstico Energético y Socio ambiental	Estructura energético-productiva Estructura de consumo y gastos de portadores primarios Estructura de consumo de portadores secundarios asociados Identificación de unidades áreas y equipos Costos de las corrientes energéticas. Establecimiento de índices, factores y herramientas Estructura de pérdidas energéticas Identificación de prácticas ineficientes Evaluación de mecanismos de interés Determinación de niveles de incompetencia Determinación de estándares y metas Banco de problemas
Diseño de un Plan	Identificación de soluciones Evaluación técnico-económica Establecimiento de escenario. Clasificación de soluciones Planificación de soluciones y metas

	Diseño del sistema de monitoreo Diseño el programa de concientización, motivación y capacitación
Organización y Composición de Equipos de Mejora	Definir estructuras necesarias Determinar tipo, misiones y funciones Sistema de retroalimentación Mecanismos de estimulación Barreras y alternativas
Aplicación de Acciones y Medidas	Normación, regulación y aplicación de las medidas técnico-organizativas Aplicación de las medidas aprobadas Establecimiento de las herramientas para el monitoreo Aplicación del Programa de concientización, motivación y capacitación Entrenamiento
Seguimiento y Control	Monitoreo y registro de índices y factores. Evaluación técnico-económica y ambiental Identificación de causas de desviaciones estimado-real de las metas. Selección e implantación de correcciones al sistema Divulgación de los resultados

Fuente: Colectivo de autores, (2006)

La TGTEE permite, a diferencia de las medidas aisladas, abordar el problema en su máxima profundidad, con concepto de sistema, de forma ininterrumpida y creando una cultura técnica que permite el autodesarrollo de la competencia alcanzada por la empresa y sus recursos humanos.

Sin embargo, lo expuesto en la Tabla 1.1 es aplicable a lo existente. Cuando se trate de nuevas inversiones se requiere la creación de las condiciones preliminares incluida la factibilidad económica, para aplicar la TGTEE, aspecto que considerará el autor.

1.2 Las bioeléctricas en la industria azucarera cubana

El grupo azucarero AzCuba, realiza cambios en su infraestructura tecnológica para desarrollar el uso sostenible de la energía renovable e invertir en tecnologías que proporcionen mayor aprovechamiento energético (Sánchez, 2014).

Las construcciones de nuevas calderas, el montaje de plantas de tratamiento de agua, la mecanización de plantas de bagazo, el reordenamiento de motores y bombas, la automatización de los procesos de molienda y la modernización de centrífugas y de plantas eléctricas; han permitido elevar la eficiencia energética y aportar, además, excedentes a la red eléctrica nacional. En total más de 50 fábricas cuentan con una potencia instalada de 470,4 MW, sincronizados al Sistema Electroenergético Nacional (SEN) por una línea de 33 000 voltios (Sánchez, 2014).

La industria azucarera se ha preparado también para utilizar como combustible la biomasa no cañera, en particular el marabú, cuyo potencial permite generar energía y calor de forma combinada. Para este procedimiento hay ocho astilladoras de madera ubicadas junto a los macizos de esa planta en el centro del país, Villa Clara, Ciego de Ávila y Camagüey (Lodos, 2013).

No obstante el principal proyecto lo constituyen las bioeléctricas en Cuba, plantas destinadas a lograr incrementos seguros y sostenidos de excedentes eléctricos hacia la Unión Nacional Eléctrica (UNE). Aunque su costo es elevado en equipos, evitan al país el uso de combustible fósil para la generación eléctrica en las plantas de la UNE (Godefoy, 2015).

Las bioeléctricas pretenden en primer orden, aprovechar al máximo el ciclo flexible de la caña diversificando su industria. Puesto que la nación cuenta hoy con 20 derivados de la gramínea, distribuidos en energías, alimento animal, alcoholes y bioproductos. Se trata de obtener jugos o mieles para etanol y su posterior empleo como biocombustible; realizar una sincronización eléctrica de las fábricas con la red pública; desarrollar procesos de saneamiento ambiental con vastas

producciones de torulas de vinazas, así como extender el riego de su efluente y otras vinazas; y producir diferentes tipos de alcoholes (hidratado o anhidro) con altas incidencias en la cogeneración (Obregón, 2015).

El programa de AzCuba consiste en poner en marcha a partir de 2018 y hasta 2030, bioeléctricas anexas a centrales azucareros, los cuales molerán a más de 85 % de su capacidad durante 150 hasta 180 días al año, con un consumo de vapor del proceso azucarero inferior a los 400 kg/t caña molida. Los pioneros en este sentido son las Unidades Empresariales de Base Jesús Rabí, de la provincia de Matanzas; el Ciro Redondo, de Ciego de Ávila y 5 de Septiembre de Cienfuegos; en los cuales ya se negocia con capital extranjero el procedimiento tecnológico a utilizar (MINAZ, 2011).

La puesta en funcionamiento, gradual, de las plantas bioeléctricas también incluye la participación paulatina de la industria nacional. Para ello especialistas de AzCuba concretan alianzas estratégicas con fábricas y empresas que puedan proporcionar la fuente financiera para adquirir ingeniería, tecnología, maquinarias y herramientas; que contribuyan a lograr la modernización requerida y de esa forma alcanzar la eficacia en los procesos productivos (Fernández-Bolaño, 2013).

Las bioeléctricas, desarrolladas ya a escala mundial por otros países; entre estos Brasil con 160 plantas, ofrecen indicadores económicos positivos si se tienen en cuenta los precios de venta de la electricidad que amortiza el consorcio de la energía en Cuba, la Unión Eléctrica. Llega a desembolsar a la industria azucarera alrededor de 100-150 USD por MWh de generación (IPROYAZ, 2012).

1.3 La bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

La UEB Central Azucarero “Uruguay” tiene una capacidad potencial de molidad actual de 9 200 t de caña/día. La producción principal es de azúcar crudo de alta calidad; los excedentes de energía eléctrica de 8 kW/t de caña molida, son entregados a la UNE. Cuenta además con una planta de miel urea y bagacillo para alimento animal con una producción diaria de 50 t/día.

Los balances de vapor directo y vapor de escape para el proceso de producción de azúcar proyectado para la zafra 2019-2020, se muestran a continuación en las Tablas 1.3 y 1.4.

Tabla 1.3 Balance de vapor directo para el proceso de producción de azúcar bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Base zafra: 2019-2020.

t/c: 1 283 073,8

Norma de Molida: 10 000: t/d

% de aprovechamiento de la norma potencial: 85.

Días de zafra: 150,95.

Molida horaria: 416,67 t/h.

Capacidad de generación: 50 MWh

Indicadores	U.M	Zafra
Generación de Vapor Total	t	572 303,98
Vapor directo a turbogeneradores	t	546 518,93
Vapor directo a otros usos (Reductora).	t	17 320,76
Vapor directo pérdidas.	t	8 464,29
Consumo de Vapor por t/C	%	42,02
Presión vapor directo.	bar	67,00
Temperatura vapor directo.	°C	520
Valor calórico vapor directo.	kc/kg	828
Eficiencia calderas.	%	85
Humedad del combustible (bagazo + RAC).	%	45,83
Valor calórico combustible (bagazo + RAC).	kc/kg	2 020,83
Bagazo 50 % de humedad comb. 1855 kc/kg	%	83,33
RAC de 25 % de humedad en el combustible 2850 Kc/Kg	%	16,67
Índice de generación de vapor	kgv/kgc	2,44

Fuente: Bravo. (2014).

Tabla 1.4 Balance de vapor de escape para la producción de azúcar bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Base zafra: 2019-2020.
 t/c: 1 283 073,8
 Norma de Molida: 10 000: t/d
 % de aprovechamiento de la norma
 potencial: 85.

Días de zafra: 150,95.
 Molida horaria: 416,67 t/h.
 Capacidad: de generación: 50 MWh

Indicadores	U.M	Zafra
Vapor de extracción de los Turbogeneradores	t	546 518,93
Pérdida de Vapor en el sistema de Turbo	t	16 373,02
Vapor salida de Turbos a línea de vapor de escape.	t	530 145,91
Vapor de atemperadora.	t	22 876,47
Vapor a línea de escape.	t	553 022,38
Pérdida de vapor de escape	t	27 680,53
Vapor escape a proceso	t	525 341,85
Vapor de escape sobrante o faltante	t	0
Presión de Vapor escape	ATA	2,8
Temperatura Vapor de escape	°C	135
Valor calórico	kc/kg	652,2

Fuente: (Bravo, 2014).

Como combustible se consideró toda la producción de bagazo, base 30% de bagazo en caña y los residuos agrícolas (RAC), procedentes de la recogida de todas las áreas mecanizadas de corte, 22 824,7 ha de caña molible; se utilizó como índice 6,24 t RAC/ha.

a) t de bagazo por hora: 125

c) Total de combustible por hora: 150

b) t de RAC por hora: 25

Para la caña de corte manual la recogida de los RAC se consideró en los Centros de Acopios, con un procesamiento por día de 850 t/d.

Se realizó un estudio de oportunidad con tres variantes que aparecen en la Tabla 1.5 para 150,95 días de zafra y 80 días postzafra (Bravo, 2014).

Tabla 1.5 Variantes analizadas en el estudio de oportunidad realizado en la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Nº Var.	Distribución del equipamiento en cada variante
1	Dos turbogeneradores a extracción-condensación de 25,00 MWh en zafra y 2 turbogeneradores a condensación total de 25,00 MWh en post zafra
2	Un turbogenerador a contrapresión de 25,00 MWh y un turbogenerador de extracción – condensación de 25,00 MWh en zafra y 1 turbogenerador de extracción-condensación de 25,00 MWh post zafra
3	Un turbogenerador a contrapresión de 30,00 MWh y un turbogenerador de condensación 20,00 MWh en zafra y un turbogenerador a condensación de 20,00 MWh post zafra

Fuente: (Bravo, 2014).

Los resultados del estudio de oportunidad, donde se concluyó que la mejor variante es la número 2 se muestran en la Tabla 1.6

Tabla 1.6 Resultados del estudio de oportunidad para bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Indicadores de eficiencia	Var.I	Var.II	Var. III
Generación total en zafra: kW/t.	130.50	136.91	125.77
Consumo específico en zafra y no zafra: kgv/kW.	5.08	4.84	5.00
Bagazo sobrante t/d	102.50	287.99	364.99
Días de generación post-zafra.	6.5	34.83	60.15
Generación GWh/zafra.	167.44	175.67	161.38
Generación GWh/post-zafra.	91.20	45.60	36.48
Generación GWh/día zafra y post-zafra.	258.64	221.27	197.86

Fuente: (Bravo, 2014)

Se constata que lo expuesto en las Tablas 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6; no considera ni el marabú ni la caña energética entre otros, así como, que la bioeléctrica operará menos de 300 días/año, lo cual no atrae el capital extranjero que se necesita y que ha sido criticado (Lodos, 2015); aspecto que el autor considerará en su investigación.

1.4 La caña energética como fuente renovable de energía

Introducida en las Antillas durante la colonización española, la caña de azúcar *Saccharum officinarum*, tuvo como máximo exponente mundial de su cultivo, al sabio científico cubano Alvaro Reynoso, compilado 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).

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

Desplazada en la actualidad por el sector de los servicios, en particular el turismo y la salud como fuentes principales de ingresos de divisas al país; no deja de constituir una fuente nacional importantísima de empleo, sustento y alimentación nacional. Representa uno de los principales ingresos de moneda libremente convertible del sector productivo nacional -junto al sector de la biotecnología médica-, por exportaciones de azúcar, mieles y sus derivados (Almazán, 2005; Alonso, 2015).

La caña de azúcar constituye una de las plantas de mayor capacidad para producir biomasa vegetal y la de mejor aprovechamiento de la energía solar, por sus características de ser una planta del llamado ciclo C4, lo que la hace superar a otras plantas económicas en rendimiento agrícola, por fijación de CO₂ mediante la fotosíntesis y energía procedente de las radiaciones solares. Las variedades de alto contenido fibroso pueden lograr una producción de biomasa de 80-150

t/ha/año, casi el doble de las variedades normales y con un contenido de fibras del 20-25 %. (Triana, 2013)

Se denominan variedades de caña energéticas, a aquellos híbridos del tipo F1, originadas del cruzamientos entre *Saccharum officinarum* y *Saccharum spontaneum*, que utilizan con eficiencia la energía solar con alta producción de biomasa, tanto en tallos como en caña integral. Presentan además, un grupo de características botánicas muy favorables que las hacen aptas para crecer vigorosas en suelos de baja y mediana fertilidad, en condiciones de secano. Desarrollan el doble de materia seca fibrosa por área, comparadas con las variedades productoras de azúcar. Manifiestan cinco veces más rápido, la materia seca que los bosques energéticos más precoces, son resistentes a plagas, enfermedades y condiciones adversas. Registran el doble de fibras que las variedades azucareras tradicionales, aunque con contenidos de sólidos solubles en sus jugos y humedad en caña planta más bajas (Campo y cols., 1998; Jorge y cols., 2005).

Los tallos de las variedades de caña energéticas poseen una adecuada consistencia, altura y condiciones erectas. El bagazo de las mismas manifiesta un calor de combustión de unas 4 500 kcal/kg en caña integral y alrededor de 4 800 kcal/kg en caña limpia. En comparación con el bagazo tradicional de las variedades azucareras comerciales de unas 4 600 kcal/kg en caña limpia, la supera en esta propiedad química. Se obtiene de 70 t a 100 t de materia seca* $\text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, muy superior a otras especies como por ejemplo, maíz $8,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, pino 10 a $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, eucaliptos $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ (Triana, 2013). Dado el alto rendimiento de biomasa que manifiestan de forma natural, sería posible si se combustionaran para suministrar energía, producir $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de petróleo equivalente como promedio. Además de su empleo como fuente de energía, la producción de alcohol y aguardientes con sus jugos, se ven favorecidas por la disminución de tiempos de fermentación, mayor rendimiento alcohólico, el aguardiente obtenido tiene mejor calidad para la fabricación de ron, menor contenido de alcoholes superiores y mayor acidez (Obregón, 2008)

Una hectárea de caña energética puede producir más de 100 000 tallos con altura mayor a tres metros de altura, los que pueden aumentarse, en dependencia del suelo y los sistemas de plantación y cultivo. Tienen un rápido y profuso ahijamiento, por lo que no necesita sembrarse todos los años. Pueden hacerse varias cosechas en la misma plantación. Una característica importante de estas variedades es: que puede cosecharse cuando se requiera, ya que continúa su crecimiento sin deterioro de los tallos. La cosecha puede realizarse de forma manual o mecanizada, aunque su industrialización prevé solo esta última (Romero, 2005). Poseen un amplio rango de adaptación y son altamente resistentes a plagas y enfermedades.

En la Tabla 1.7 se muestran las composiciones químicas del bagazo de diferentes variedades de caña energética.

Tabla 1.7 Caracterización química del bagazo de las variedades de caña energética C90-176 y C90-178 con distintos meses (m) de edad

Variedad	Celulosa (%)	Lignina (%)	Cenizas (%)	Fe (ppm)
C90-176 (9 m)	44.5	22.1	0.8	29.5
C90-178 (9 m)	45.2	22.2	1.2	23.7
C90-176 (18 m)	44.1	21.2	1.2	-
C90-178 (18 m)	45.4	21.1	1.4	-

Fuente: (Triana, 2013)

La composición química de las diferentes variedades y del bagazo de caña energética no se ven afectadas de manera significativa, por la propia variedad de caña, aun con diferentes edades; ni entre las dos variedades energéticas. En el bagazo la celulosa está entre 44% - 47%, la lignina entre el 20% y 22%, el hierro (Fe) más variable, por estar influenciado por el tipo de suelo en que fueron cultivadas, aunque de forma general estos son relativamente bajos (Triana, 2013). Al sur de los Estados Unidos han desarrollado e industrializan variedades endógenas de caña energética, e hibridaciones de estas con hierba elefante que denominan *miscane*. Sus propósitos son para etanol agrocombustible automotor

en su totalidad (Park y cols., 2011). Sin embargo, en las condiciones de Cuba, se ha demostrado que la mejor alternativa es utilizarlas en la generación y cogeneración eléctrica (Diez y Garrido, 2012). En tal sentido, está previsto por el Ministerio de Energía y Minas junto al grupo empresarial azucarero AzCuba, la utilización del bagazo de caña energética entre otras fuentes de biomasa combustible, en las 19 bioeléctricas a instalar a mediano plazo en el país (Balboa, 2015; Godefroy, 2015).

1.5 Tratamientos Térmicos a los substratos de caña azucarera

El gran potencial de Cuba en cuanto a substratos industriales para la fermentación alcohólica lo constituyen los procedentes de la caña de azúcar y sus subproductos particularmente las melazas (Abreu, 2005).

Las características de diferentes substratos de caña de azúcar que se emplean para la producción de etanol se recopilan en las Tablas 1.8 y 1.9.

Tabla 1.8 Especificaciones de los jugos de caña de azúcar

ESPECIFICACIÓN	Jugos para etanol			
	1 (MINAZ, 2006)	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	-	-	-	-
% Pol	-	13,25	-	-
% Azúcares Red. Totales	12,11	-	15,00 – 15,50	> 15,00
% Azúcares Fermentables	-	-	> 14,50	-
pH	5,4	-	-	5,4
% Lodos	1,0 máx.	-	0,5 máx.	≤ 0,5
Unid. Form. colonias / g (ufc)	-	-	-	< 10 ³
p.p.m. ácidos volátiles (AV)	-	500	-	500
p.p.m. ácidos orgánicos (AO)	-	-	500	-
Temp. detrat. térmico (°C)	120	125	125	125

Fuente: (Obregón, 2008)

Tabla 1.9 Especificaciones de la miel B y melaza de caña de azúcar

ESPEC.	Miel B				Melaza			
	1	2	3	(TPCC, 2007)	(NC, 2009)	(NCR, 2007)	(Olbrich, 1969)	
							Tipo I	Tipo II
% Brix	80 - 82	80 - 82	80 - 82	80 - 82	≥ 85	> 75	80	≥ 76,8
% AT	-	-	-	-	≥52.	-	-	-
% AI	-	-	-	-	≥3,8.	-	-	-
% Pol	-	44 - 46	-	≥ 44	-	-	-	-
% ART	≥60	60 - 62	62 - 63	≥ 62	-	> 54	-	-
% AF	-	-	> 60	> 60	≥48,2	-	-	-
pH	5,1-5,4	-	-	-	5,2 - 5,7	-	-	-
% Lodo	-	-	-	-	≥13	-	-	-
ufc/g	-	-	< 10 ⁶	-	-	-	<10 ⁵	< 10 ⁶
ppmAV	-	5 000	-	5 000	-	-	-	-
ppmAO	-	-	5 000	-	-	-	-	-
°C	120	125	125	120	85 - 120	-	-	-

Fuente: (Obregón, 2008)

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 conservados a este propósito.

Las especificaciones para jugos de la Tabla 1.8 tienen plena validez como referencia para los de caña energética, pero no es suficiente. Su caracterización para la fermentación alcohólica implica compararlos con la 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, 2011).

El tratamiento térmico de substratos de caña azucarera tiene un rango de incertidumbre de 85⁰C a 125⁰C, se ejecuta por pasteurización, 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 jugos de los filtros de cachaza (López y Peláez, 2006). Por su lado, en la industria alimenticia entre otras, prevalece la pasteurización con tres alternativas: alta temperatura corto tiempo (HTST) hasta 88⁰C no más de dos minutos, baja temperatura largo tiempo (LTHT) a 62⁰C y 30 minutos y combinación entre ambas de alta temperatura largo tiempo (HTHT) (Frazier y Weshtoff, 1993); esta última también utilizada para pasteurizar melazas de caña en las producciones de levadura torula y en una destilería en Cuba (MINAZ, 1977, TOMSADESTIL, 2015).

1.6 Preservación multivariable de los substratos azucareros

Los substratos azucareros a baja concentración se deterioran en horas, principalmente por contaminaciones microbianas. No considerado por otros autores en Cuba con substratos de la caña de azúcar (de la Cruz, 2002), si hay que hacerlo con los jugos de caña energética conservados.

Para la melaza en Costa Rica esta norma se fija en 75% Brix refractométrico, concentración que ha sido ensayada en Cuba en la conservación ácida de melazas cubanas (Álvarez, 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 a problemas concretos de la producción (Obregón, 2008).

De publicaciones de la literatura para soluciones de sacarosa con mediciones de la actividad acuosa (Aw) 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.

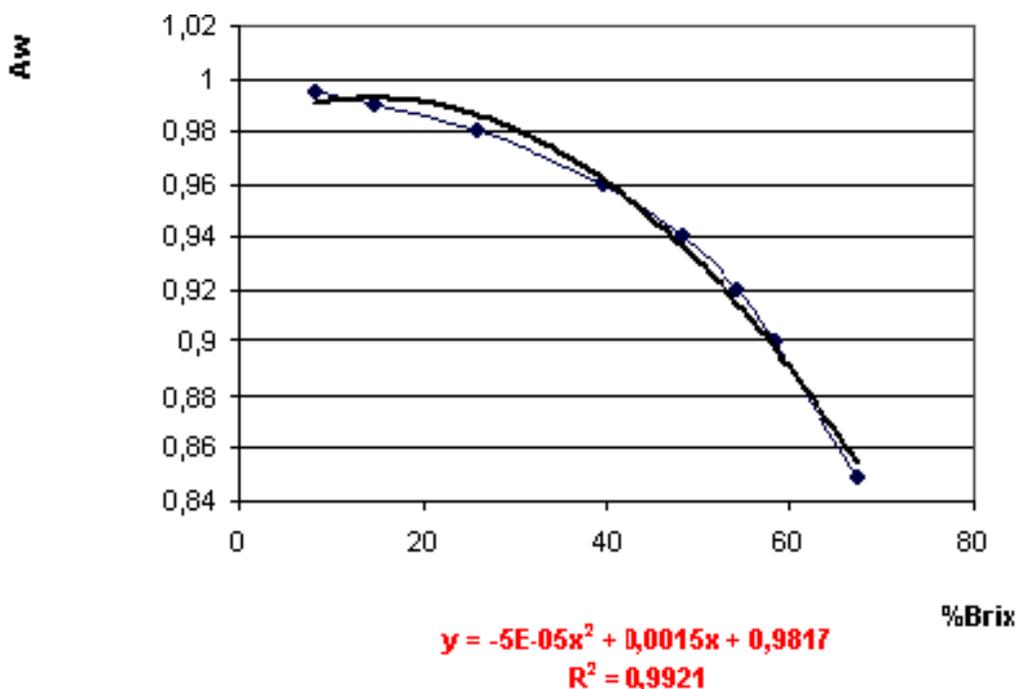


Figura 1.4 %Brix vs. Aw

Fuente: (Obregón, 2008)

Al sustituir para Brix = 75% se determinó que la Aw = 0,8125. Por su parte la Tabla 1.10 muestra las Aw mínimas reportadas por la literatura para los microorganismos comunes:

Tabla 1.10 Actividad acuosa mínima de desarrollo (Aw)

Microorganismo	Aw
Bacterias normales	0,91
Levaduras normales	0,88
Hongos normales	0,80
Hongos Xerófilos	0.65
Levaduras osmófilas	0,60

Fuente: (Olbrich, 1969)

Al compararse el resultado con la tabla, se observa que algunos microorganismos escapan a la presión osmótica de inhibición del desarrollo vegetativo a una $A_w = 0,8125$. Estos no se han sido aislados por decenas de años de caracterizaciones microbiológicas de las mieles finales de caña cubanas normales (ICIDCA, 2003). Por lo expuesto, se determina que el valor mínimo de Brix es 75% para la conservación de los jugos de caña energética (Obregón, 2008).

Otro factor a considerar para la preservación de los substratos azucareros son las contaminaciones bacterianas, cuya norma es como sigue (MACU, 1975):

- a) 2 – 4 bacterias / 100 levaduras, contaminación suave o normal
- b) 5 – 14 bacterias / 100 levaduras, contaminación mediana
- c) 14 – 20 bacterias / 100 levaduras, contaminación fuerte
- d) > 20 bacterias / 100 levaduras, contaminación muy fuerte.

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

Investigaciones realizadas por Obregón, (2008) demostraron experimentalmente, 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). Se determinó que el valor con minimización de riesgos es:

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 en 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, al incrementarse la biomasa de levadura.

La contaminación microbiana, se incorpora como variable de restricción para la conservación de los jugos de caña energética. Unida a los días de conservación y a la concentración a 75% de %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) y alimento animal.

Para los microorganismos contaminantes permisibles expresados en unidades formadores de colonias (ufc) 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, se obtuvo 160 000 ufc/g por la propia incertidumbre de las mediciones (Obregón, 2008). Este es el valor máximo 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 las ufc en la conservación de los jugos de caña energética, que será considerada por el autor. El autor acatará estas restricciones

Conclusiones Parciales

Después de la revisión de la literatura, sobre el tema de esta investigación, se llegó a las siguientes conclusiones parciales:

1. La TGTEE permite, abordar el problema de la eficiencia energética en su amplio espectro y máxima profundidad con concepto de sistema, y en su aplicación se definen índices de eficiencia energética en su etapa de diagnóstico energético y socio-ambiental.
2. La revolución energética en Cuba definió un nuevo paradigma energético: instalar 19 bioeléctricas entre otros, para construir la base del empleo de fuentes renovables en el país.
3. El estudio de oportunidad realizado para la bioeléctrica de la UEB Central Azucarero Uruguay, determinó que cuando se utilizan un turbogenerador a contrapresión de 25,00 MWh y otro turbogenerador de extracción– condensación de 25,00 MWh en zafra, y postzafra solo este último, se obtiene el mayor índice de generación (kW/tc) en zafra y el menor consumo de vapor específico (kgv/kW) en ambos períodos.
4. La caña energética es excelente para la generación de electricidad por su alto rendimiento en biomasa combustible y su elevado poder calórico, así como ofrece la utilización de sus jugos conservados para la producción de alcohol y alimento animal.
5. Los tratamientos térmicos a los substratos azucareros, empleados para la producción de alcohol y alimento animal son indispensables para garantizar su estabilidad microbiológica. La conservación de los substratos azucareros utilizados para la fermentación es multivariable, debe realizarse a %Brix=75% mínimo y que las ufc no superen los 160 000 ufc/g.

Capítulo 2. Materiales y Métodos

2.1 Tareas de la investigación

Las tareas por etapas para desarrollar este trabajo fueron:

1. Determinar si se existe un destino útil para los jugos de caña energética en la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
2. Identificar si existe mercado seguro para los jugos conservados
3. Establecer la factibilidad tecnológica de la mezcla jugos de caña energética-miel con una modelación matemática de las variables de estabilidad de la mezcla %Brix, Acidez y u_{fct} para establecer la relación entre comportamiento de los jugos conservados y la miel final.
4. Obtener el índice de eficiencia energética equivalente, por la venta de los jugos conservados con miel final y miel B

2.2 Diagrama Heurístico del estudio

En el diagrama heurístico se muestran las tareas de investigación y las preguntas realizadas para continuar con la siguiente, finalizar la investigación o volver a la anterior.

El diagrama heurístico aparece en la Figura 2.1

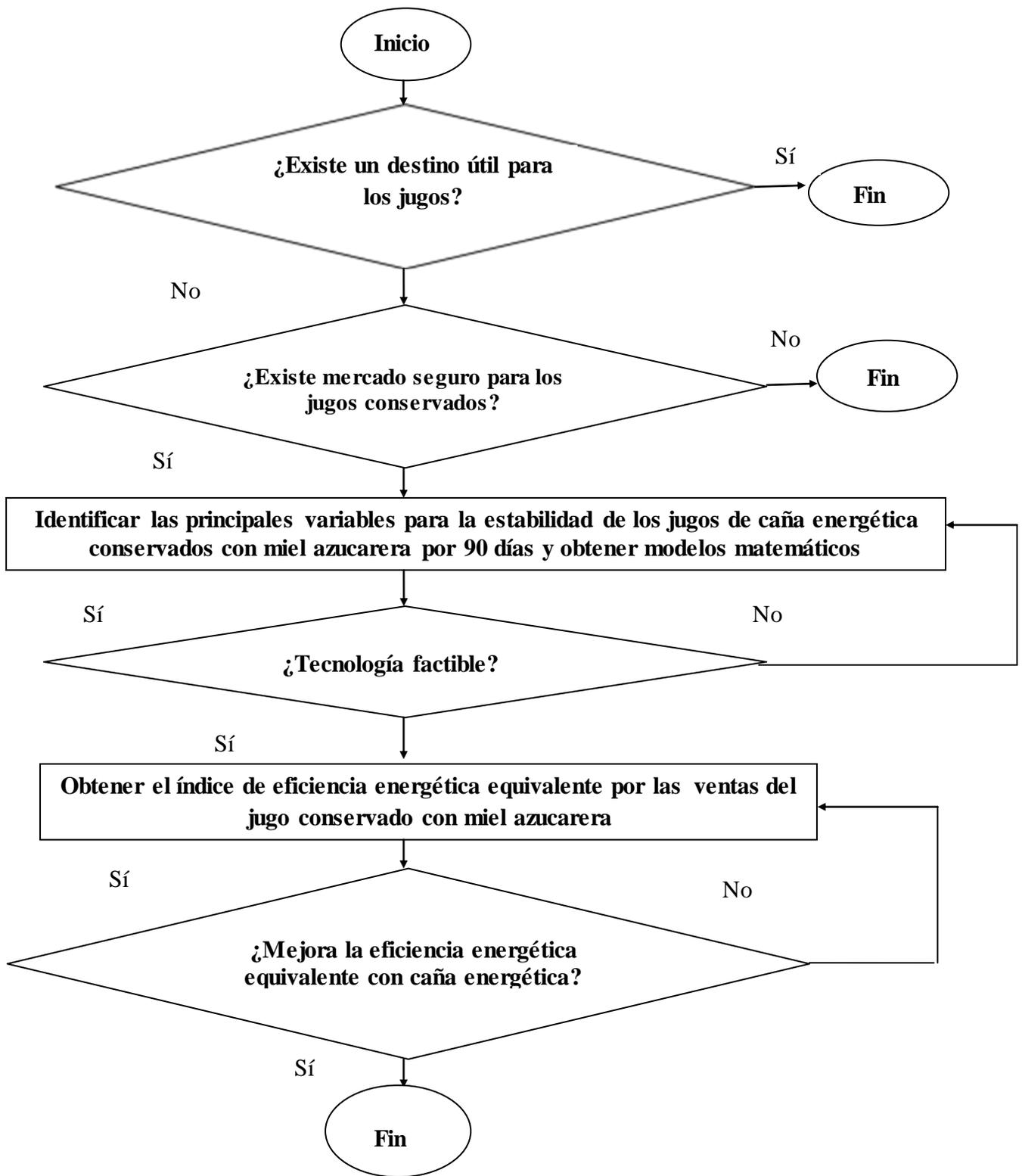


Figura 2.1 Diagrama Heurístico

Fuente: Elaboración propia

2.3 Destino de los jugos de caña energética

En la Figura 2.2 se muestra un diagrama en bloques con las acciones realizadas, para determinar la existencia de un destino útil para los jugos de caña energética.

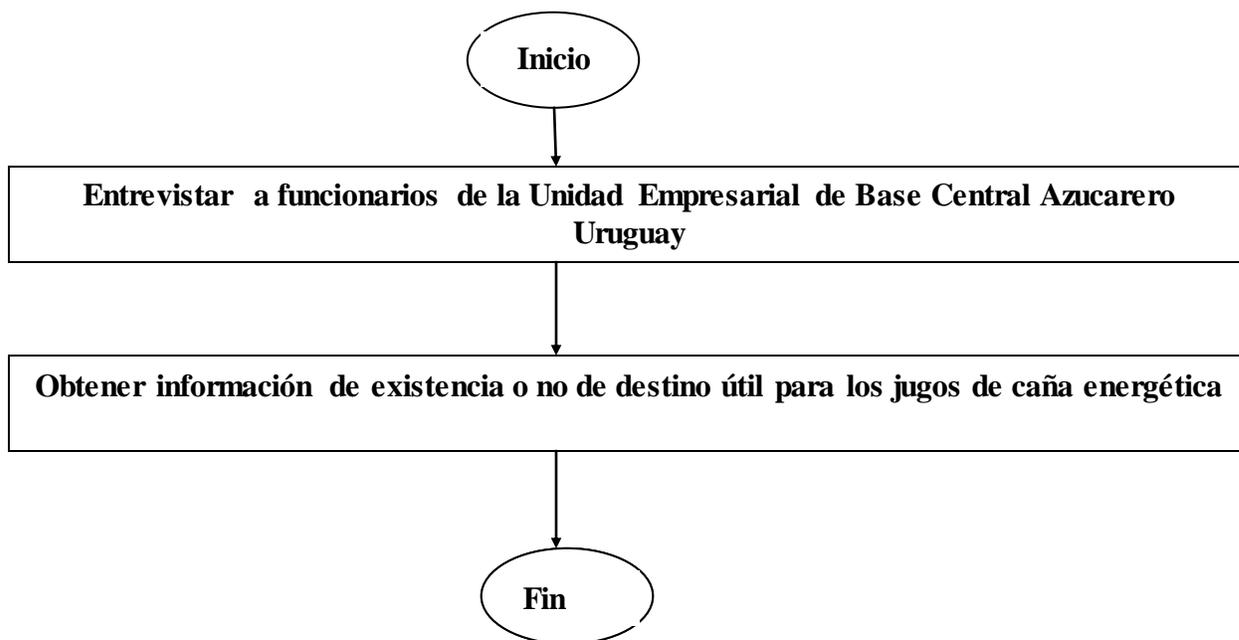


Figura 2.2 Diagrama en bloques para obtener la información sobre existencia de destino útil para los jugos de caña de la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Fuente: Elaboración propia

Se entrevistaron entre febrero y junio de 2015, a varios funcionarios de la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay de la Empresa Azucarera de Sancti Spíritus (Gómez y otros, 2015). La interrogante realizada fue: ¿tienen definido un destino útil para el jugo de caña energética que se originará en la futura bioeléctrica?

2.4 Mercado para la venta de los jugos de caña energética conservados

En la Figura 2.3 se ilustra el diagrama en bloques con las acciones realizadas, para establecer factibilidad económica de la venta de jugos de caña energética conservados.

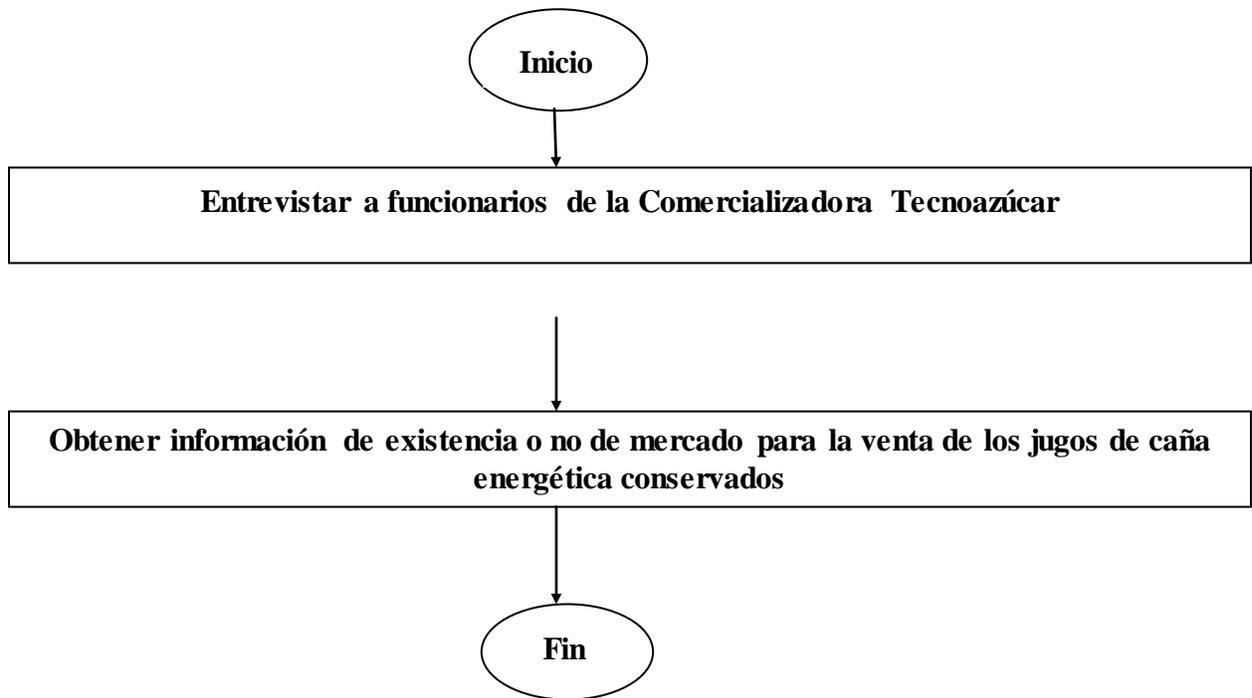


Figura 2.3 Diagrama en bloques para obtener la factibilidad económica de la venta de jugos de caña energética conservados de la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Fuente: Elaboración propia

Se entrevistaron entre febrero y junio de 2015, a funcionarios de la Comercializadora TECNOAZUCAR del grupo AzCuba en Sancti Spíritus (Tecnoazúcar, 2015). La interrogante que se les hizo fue: ¿tiene mercado seguro el jugo de caña energética mezclado con miel azucarera?

2.5 Factibilidad tecnológica de la conservación de los jugos de caña energética

Se pretendió obtener la relación que existe entre el comportamiento de las variables que caracterizan la estabilidad química y microbiológica en la mezcla jugo de caña energética con miel final y el comportamiento de estas variables en la miel final que se usó como testigo. Para eso se determinaron los modelos de regresión, para las variables %Brix, acidez y unidades formadoras de colonias total. Los valores del coeficiente de determinación múltiple (R^2), sirvió para determinar ese grado de relación. En esto consistió la demostración de la factibilidad tecnológica de la conservación. Después como complemento se hallaron los modelos de regresión para las variables %Brix, acidez, %Azúcares Totales y unidades formadoras de colonias total (ufct) en la mezcla jugo de caña energética con miel final en función del tiempo para determinar el tiempo que garantiza una conservación adecuada. Para este caso se tomó como restricciones que %Brix > 70%; ufct < $60 \cdot 10^3$ ufc/g y la acidez < 1,5 % (Obregón, 2008).

En el caso de los % de Azúcares Totales se incorporó como variable no de restricción, sino de precio de venta de los jugos de caña energética conservados de acuerdo a la Resolución 484/2014 vigente (MFP, 2014). No obstante, será de referencia porque el valor real se realiza en un laboratorio mediante análisis químico de la macrocomposición que incluye el %Brix también.

En ambos casos la determinación de los modelos de regresión tuvo el propósito de demostrar la factibilidad tecnológica de la conservación. Los obtenidos para hallar que el tiempo de dicha conservación fuera adecuado, emplearon los estadígrafos t de student y F de Fisher, para validar. Para ello se realizaron pruebas de hipótesis, con las probabilidades de estos estadígrafos y se compararon con el nivel de significancia igual a 0,05 %. Estas pruebas de hipótesis, también guiaron la búsqueda con el software DataFit 9.0.59 de las ecuaciones de regresión que cumplieran con las condiciones requeridas.

También en ambos casos los supuestos del modelo de regresión en dos variables analizados fueron: (1) valor medio de los residuos nulo, (2) no autocorrelación

entre los residuos, (3) igual varianza de los residuos, (4) no correlación entre residuos y variables independientes, (5) modelo de regresión correctamente especificado.

Con el estadígrafo de Durbin-Watson se analizó el supuesto (2); con los gráficos de los residuos de cada variable el supuesto (1) y (4); con los gráficos de la probabilidad de los residuos se analizó el supuesto (3) y de la selección del software de la mejor ecuación de su base de datos en cuanto al valor de R^2 , suma de cuadrados residuales y estimado del error estándar, se deduce el cumplimiento del supuesto (5).

En la Figura 2.4 se muestra un diagrama de bloques para establecer la factibilidad de la tecnología de conservación.

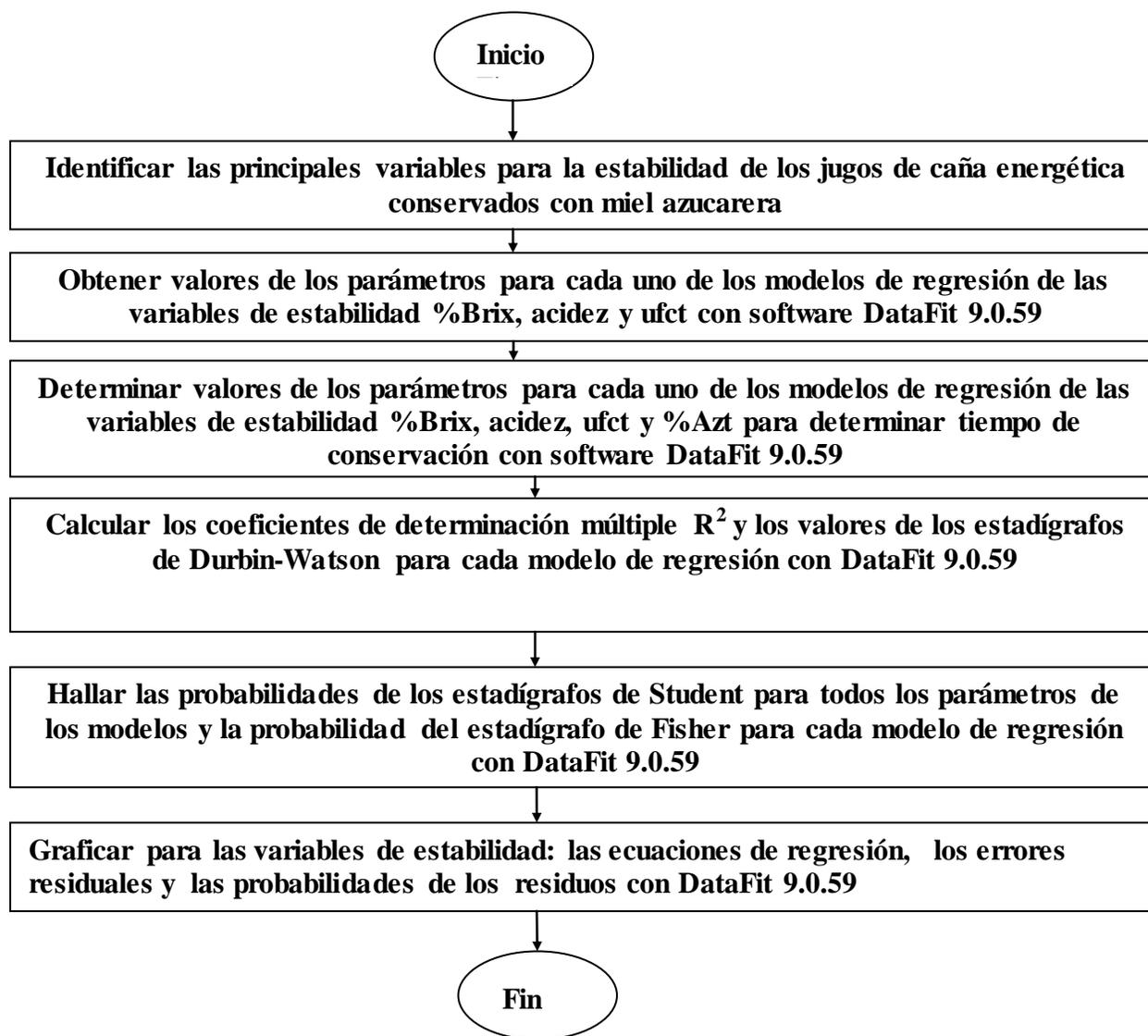


Figura 2.4 Diagrama de bloques para establecer la factibilidad de la tecnología de conservación de los jugos de caña energética

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionaron las variables %Brix, acidez, y unidades formadores de colonias totales: ufc total, porque determinan el comportamiento químico y microbiológico de los jugos de caña energética mezclados con miel; necesario para las producciones de alcohol, levadura y alimento animal.

Según los experimentos realizados por Obregón (2008), se diluyó miel final con los jugos industriales pasteurizados de caña energética, de molidas del central azucarero Melanio Hernández, a un %Brix nominal de 75%; valor demostrado ser satisfactorio a los efectos de la conservación de jugos de caña energética. Como testigo, fue diluida con agua destilada otra parte de la miel final al mismo %Brix nominal. En ambos casos las mezclas fueron de 20 L, almacenadas a la intemperie por separados en tanques plásticos colocados en la azotea de las oficinas administrativas de la destilería Paraíso. Se aflojaron las tapas roscadas, para simular tanques de almacenamiento de mieles. Se realizaron las mediciones iniciales, cada 10 días y hasta 90 días. En la Figura 2.5 se muestra un diagrama en bloques del experimento realizado.

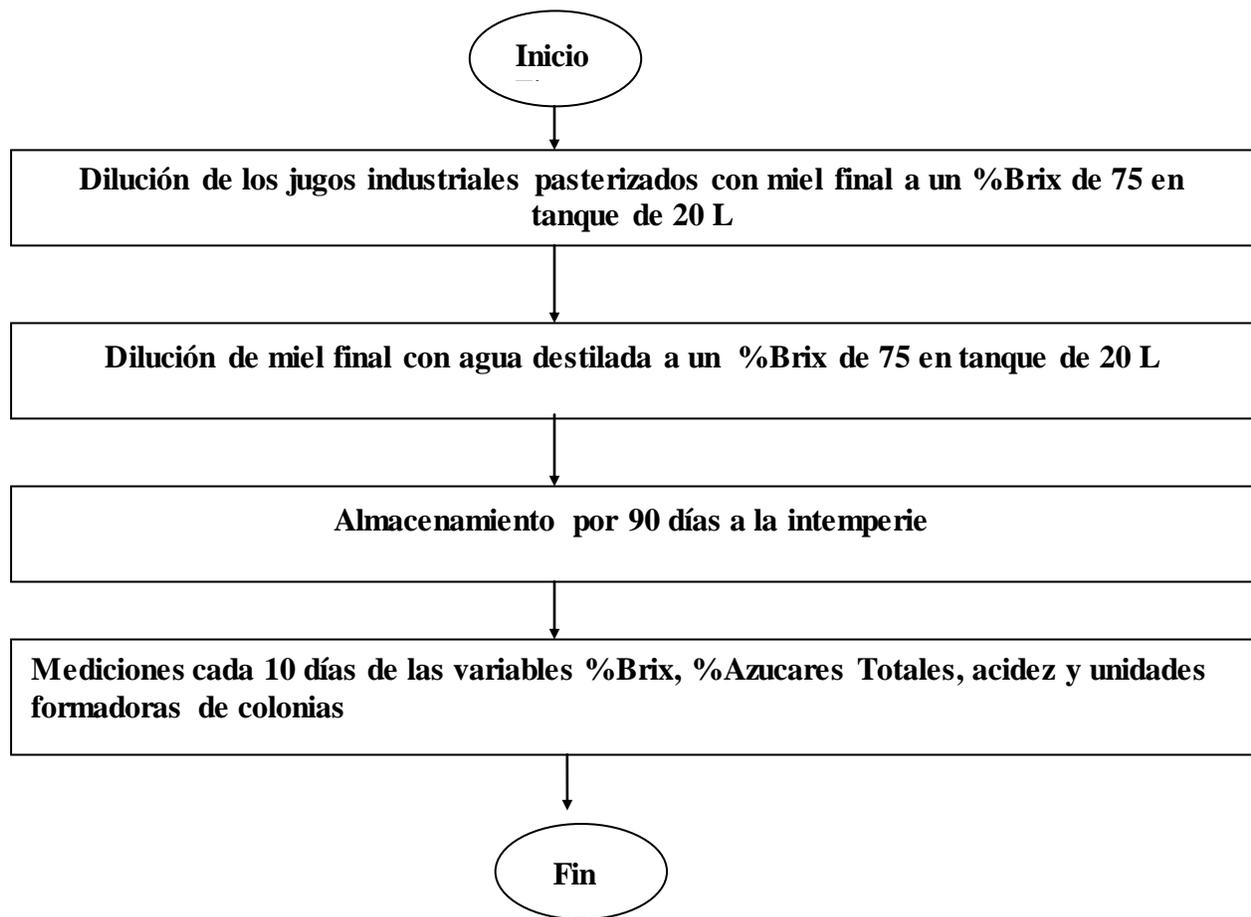


Figura 2.5 Diagrama en bloques del experimento para simular conservación realizado en Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Melanio Hernández por Obregón, (2008)

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.1 mostrada a continuación, se brindan las características de la miel final y los jugos de caña energética industriales pasterizados antes de mezclarse. Por su parte las Tablas 2.2 y 2.3 muestran los comportamientos tanto de la mezcla como de la miel final diluida como testigo, de cero a 90 días a 31°C-33°C.

Tabla 2.1 Características químicas y microbiológicas de la miel final y jugos de caña energética pasterizados a alta temperatura con largo tiempo utilizados

Variable	Miel Final	Jugo de caña energética
% Brix	87,10	9,48
% Sacarosa	17,75	5,15
% Reductores Libres	36,80	1,88
pH	5,70	5,15
% Azúc. Totales	54,55	7,03
% Cenizas	8,28	No determinada
% Az. Inermentables	3,19	1,04
ufcmesófilos/g	69000	109 600
ufc termófilos/g	3 300	

Fuente: (Obregón, 2008)

Tabla 2.2 Comportamiento de las variables de estabilidad de la miel final testigo en el tiempo para mediciones desde cero a 90 días a 31-33°C

Nº	T(d)	%Brix	%AzT	UfcT*10 ³ *g ⁻¹	Acidez (%)
1	0	75,41	4s7,25	61,3	0,85
2	10	75,4	47,24	61,9	0,85
3	20	75,36	47,13	62,8	0,88
4	30	75,34	47,17	63,6	0,86
5	40	75,28	47,06	63,9	0,89
6	50	75,16	46,96	64,8	0,9
7	60	75,01	46,85	65,6	0,89
8	70	74,81	46,72	66	0,91
9	80	74,73	46,61	68	0,93
10	90	74,54	46,37	68,6	0,95

Leyenda

T(d): tiempo de la medición en días

Fuente: (Obregón, 2008)

Tabla 2.3 Comportamiento de las variables de estabilidad de la mezcla jugo de caña energética-miel final desde cero a 90 días y a 31-33°C

Nº	T(d)	%Brix	%AzT	UfcT*10 ³ g ⁻¹	Acidez (%)
1	0	75,33	47,42	79,9	0,85
2	10	75,32	47,35	80,3	0,9
3	20	75,35	47,19	80,6	0,93
4	30	75,21	47	81	0,94
5	40	75,11	46,87	81,1	0,94
6	50	74,98	46,49	81,5	0,96
7	60	74,81	46,7	81,9	0,98
8	70	74,64	46,64	90,6	0,99
9	80	74,56	46,5	91,8	1,04
10	90	74,29	46,36	93	1,06

Fuente: (Obregón, 2008)

La ecuación general de la regresión fue:

$$Y_a = \beta_i X, \quad i=1, \dots, p \quad (2.1)$$

donde p representa el número de parámetros de regresión, X la variable independiente y Y_a la variable dependiente ajustada por el modelo de regresión.

Se utilizaron los estadígrafos de student t y de Fisher F para analizar la veracidad de la hipótesis nula sobre los parámetros de regresión β_i. En la Tabla 2.4 se muestran las reglas de decisión (Miller, 2010).

Tabla 2.4 Pruebas de hipótesis para t y F: Reglas de decisión

Hipótesis	Decisión	Si
H_0 para F: todos $\beta_i=0$ para modelo de regresión	No rechazar	$P(F) \geq 0,05$
H_0 para t: $\beta_i=0$ para parámetro de regresión	No rechazar	$P(t) > 0,05$
H_1 para F: al menos uno $\beta_i \neq 0$ para modelo de regresión	No rechazar	$P(F) \leq 0,05$
H_1 para t: $\beta_i \neq 0$ para parámetro de regresión	No rechazar	$P(t) < 0,05$

Leyenda

$P(t)$: probabilidad del estadígrafo t de Student para cada parámetro de regresión de los modelos de regresión; $P(F)$: probabilidad del estadígrafo F de Fisher para cada modelo de regresión

Fuente: Elaboración propia

En la figura siguiente se muestra como se aplicó las reglas de decisión de la tabla 2.4 para demostrar la validez de cada modelo de regresión.

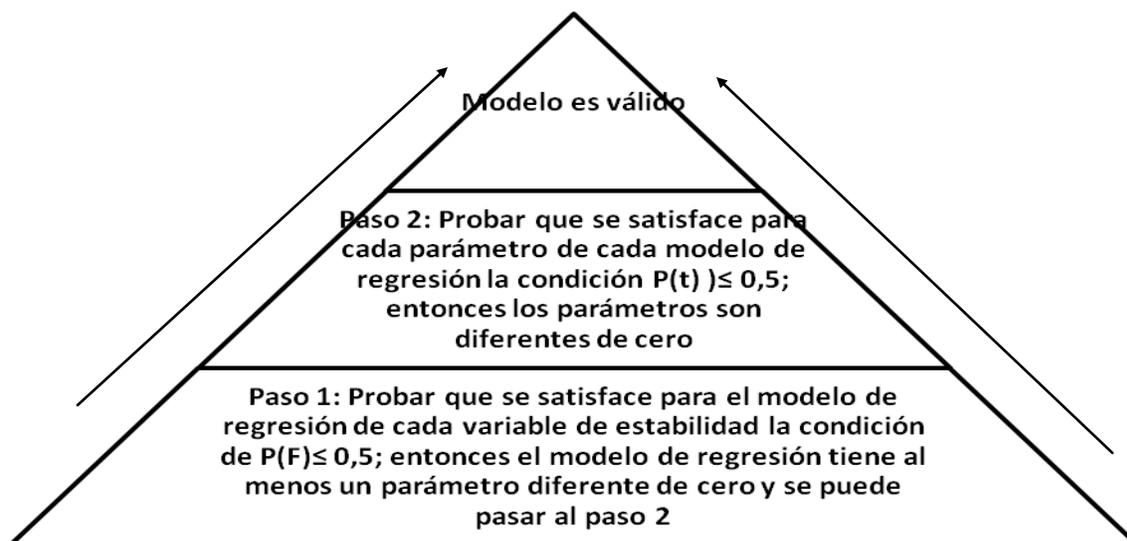


Figura 2.6 Aplicación de las reglas de decisión para demostrar la validez de cada modelo de regresión

Fuente: Elaboración propia

Para calcular los coeficientes de múltiple determinación R^2 el software DataFit 9.0.59 utilizó la ecuación:

$$R^2 = \frac{\text{SSR}}{\text{SST}} \quad (2.2)$$

Donde

$\text{SSR} = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)$ es la suma de regresión de cuadrados

$\text{SST} = \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)$ es la suma total de cuadrados

Y_a son los valores ajustados por el modelo de regresión de la variable dependiente, Y_m es el promedio de los valores de la variable dependiente, Y_i son los valores de la variable dependiente, n es el número de valores de la variable dependiente

El valor de R^2 representa que proporción de la variación en la variable dependiente Y es explicada por el modelo de regresión.

El estadígrafo t de student el software DataFit lo calcula por la ecuación:

$$t = \frac{\beta_{ja}}{S\beta_{ja}} \quad (2.3)$$

donde β_{ja} el valor del parámetro de regresión ajustado

y $S\beta_{ja}$ es la desviación estándar estimada de β_{ja}

La probabilidad $P(t)$ que aparece en la Tabla 2.4 y que también se calcula con el empleo del software DataFit, se utilizó para probar la hipótesis nula $H_0: \beta_i=0$ sobre cada parámetro β_j , contra la hipótesis alterna de $H_1: \beta_i \neq 0$ para cada parámetro de regresión en cada modelo de regresión. Mientras menor sea la probabilidad $P(t)$ menor será la probabilidad de que cada parámetro de regresión sea cero, por eso $P(t) \leq 0,05$ significa que la probabilidad de que el parámetro de regresión sea cero es menor o igual a 5%.

La probabilidad $P(F)$ del estadígrafo de Fisher, se emplea sobre el modelo de regresión para probar la hipótesis nula $H_0: \text{todos } \beta_i=0$ para modelo de regresión contra $H_1: \text{al menos uno } \beta_i \neq 0$ para modelo de regresión. La probabilidad $P(F)$,

representa la probabilidad de que la hipótesis nula es verdadera. Por eso si se cumple que $P(F) \leq 0,05$ entonces la probabilidad de H_0 : todos los parámetros de regresión $\beta_i=0$ para cada modelo de regresión es menor o igual a un 5%, valor adecuado.

Se analizó la existencia o no de autocorrelación de los residuos con el estadígrafo d de Durbin-Watson, las siguientes hipótesis y toma de decisiones (Gujarati, 2005) que aparecen en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Pruebas de hipótesis para estadígrafo d de Durbin-Watson: Reglas de decisión

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

Leyenda

d_L : límite inferior del estadígrafo de Durbin-Watson para una variable explicativa y 10 observaciones

d_U : límite superior del estadígrafo de Durbin-Watson para una variable explicativa y 10 observaciones

Fuente: (Gujarati, 2005):

En la Figura 2.7 se expone las zonas para la aplicación de las reglas de decisión, y definir la presencia o ausencia de autocorrelación en los residuos para una variable explicativa y 10 observaciones.

Se utilizó el software DataFit 9.0.59 de Oakdale Engineering para el cálculo de los estadígrafos de Durbi-Watson y para obtener los valores críticos d_L y d_U las tablas que aparece en el Tomo 2 de Gujarati, (2005).

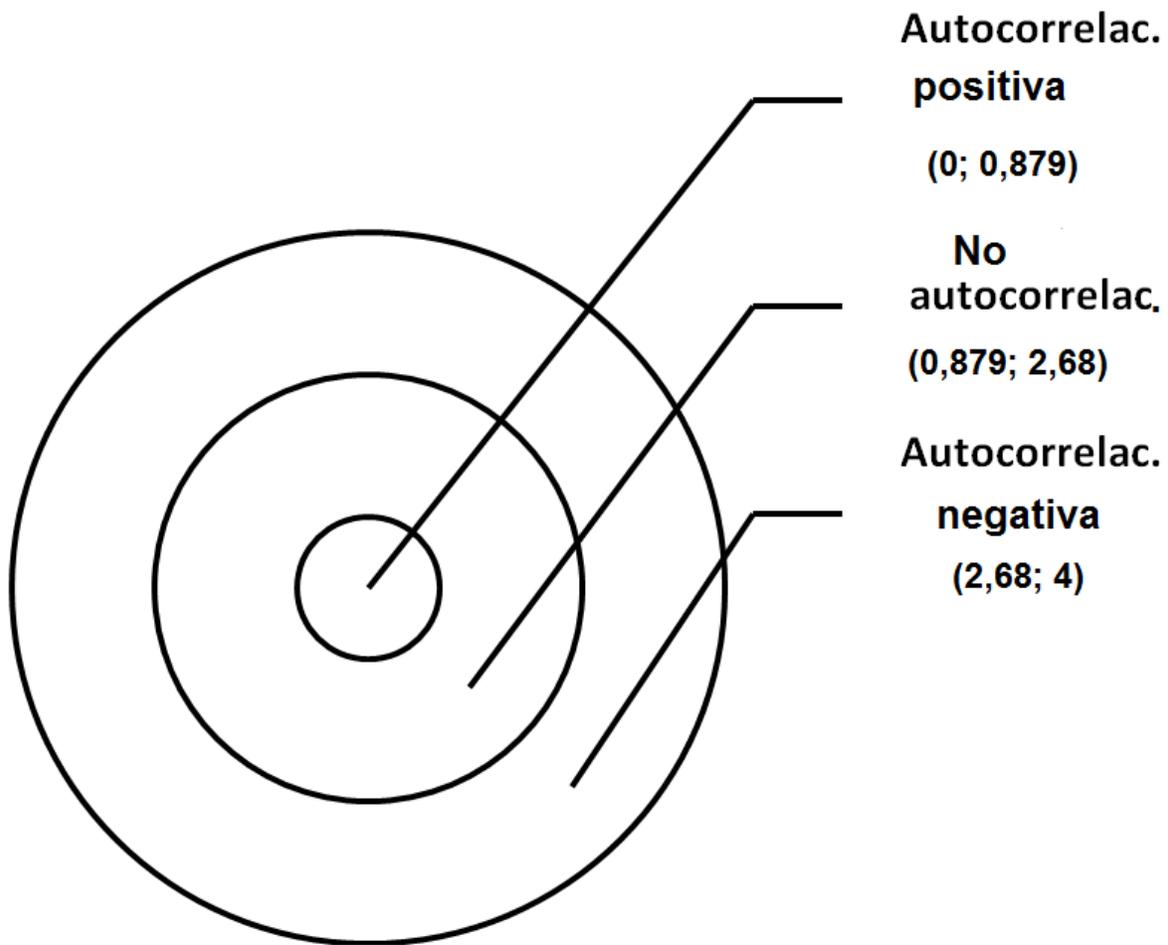


Figura 2.7 Zonas para la aplicación de las reglas de decisión con el estadígrafo de Durbin-Watson

Fuente: Elaboración propia

Todos los gráficos de las ecuaciones de regresión, gráficos de los errores residuales y gráficos de la probabilidad de los residuos fueron obtenidos con dicho software DataFit 9.0.59 de Oakdale Engineering.

Para determinar el tiempo límite de conservación de los jugos de caña energética a partir de las ecuaciones obtenidas por variables y tiempo, se procesó en Excel el pronóstico de los modelos, con las variables de restricciones fijadas (Obregón, 2008).

2.6 Obtención del índice de eficiencia energética equivalente por la gestión de comercialización del jugo conservado

En la siguiente figura se muestra un diagrama en bloque con las acciones para obtener el índice de eficiencia energética equivalente por la gestión de comercialización del jugo conservado.

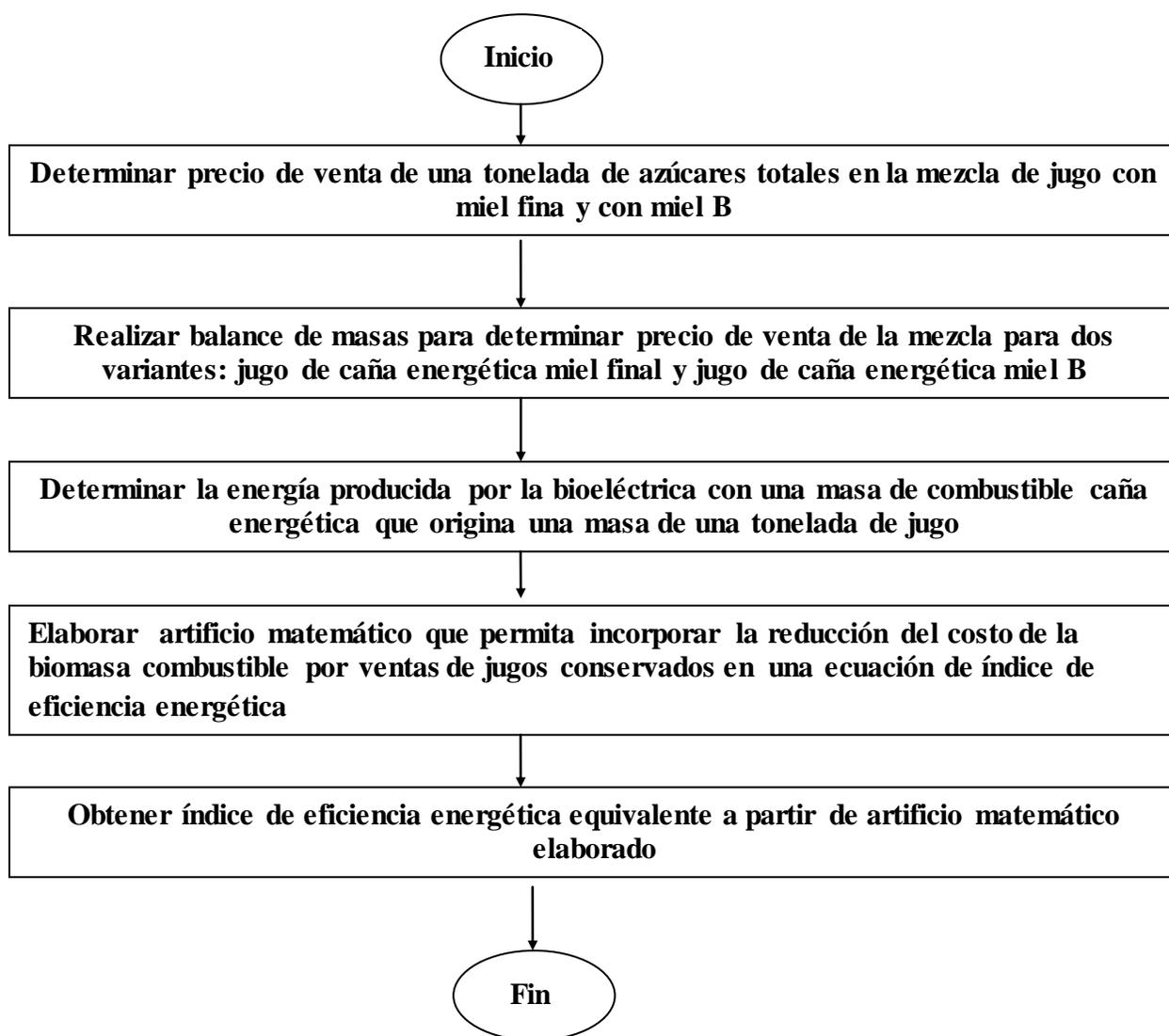


Figura 2.8 Diagrama en bloques para obtener el índice de eficiencia energética equivalente de la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay

Fuente: Elaboración propia

La Resolución 484/2014 del Ministerio de Finanzas y Precios (MFP, 2014) establece los precios de venta de mieles de caña azucarera cubana. De ellas se extrajeron los siguientes datos: (Tecnoazúcar, 2015)

Tabla 2.6 Precio de las mieles de cañas azucareras cubanas

Producto	\$ (CUP/t)	Especificaciones de calidad
Miel Final	\$76,25	85% Brix; 52% A.T.
Miel B	\$320,85	84% Brix; 54% A.T.

Leyenda:

%Brix: % de sólidos solubles disueltos, %A.T.: % azúcares totales

\$ CUP/t: pesos cubanos por tonelada

Fuente: (MFP, 2014)

Cuando la melaza o la miel no reúne los requisitos de composición de %Brix y %A.T. se calcula un índice de ajuste de precio (IAP) determinado por la ecuación (Tecnoazúcar, 2015):

$$IAP = \frac{\%Brix_{real} * \% A.T._{real}}{\%Brix_{norma} * \% A.T._{norma}} \quad (2.4)$$

El valor calculado por (2.4) se multiplica por el precio en CUP/t del producto de la tabla 2.6 y se obtiene el nuevo precio que pagará el comprador.

Para la estimación del precio de venta del jugo de caña energética conservado, se utilizó el % de azúcares totales, aunque los aprovechables para producir alcohol y como fuente energética en alimentos para animales monogástricos son los azúcares fermentables (Obregón, 2011).

Para calcular el precio de una tonelada de azúcares totales en CUP se usó la ecuación:

$$P_{at} = \frac{P_{miel}}{\% AT_{miel}} * 100 \quad (2.5)$$

Donde P_{miel} : precio de miel final o miel B por la Resolución 484/2014

% AT_{miel}: por ciento de azúcares totales de la miel final o miel B por la Resolución 484/2014

Como la mezcla de jugos de caña energética con miel final se comporta en la fermentación alcohólica como mejor substrato que la miel final sola (Obregón, 2008), estos jugos conservados asumirán los precios de la tabla 2.6, en dependencia de con cuál de esos productos fueron mezclados para su conservación. Las razones de realizarlo de esta forma, obedece a que a la caña energética no es aplicable el método actual de precio de compra de la caña azucarera, basado en el Rendimiento Probable de la Caña (RPC), o sea, de la calidad con que llega al central azucarero se estima el azúcar que se obtendrá de la misma (Lodos, 2014).

A continuación se calculó el precio de venta en CUP, de una tonelada de jugo de caña energética conservada por la ecuación:

$$P_{\text{jugo}} = \frac{P_{\text{at}}}{100} * \% AT_{\text{jugo}} \quad (2.6)$$

Donde el %AT_{jugo} se seleccionó de la tabla 2.1

Luego se determinaron los precios totales de las mezclas jugo-miel final y jugo-miel B.

Primero se determinó por un balance de masas la cantidad de toneladas de miel final o miel B que se necesitan para obtener una mezcla inicial de %Brix igual a 75%.

La ecuación utilizada fue:

$$X * B_m + (1 - X) * B_j = 75 \quad (2.7)$$

donde X: fracción peso de la miel final o miel B, B_m = % Brix de la miel final o miel B y B_j = % Brix de los jugos tratados con calor, B_m se obtuvo de la tabla 2.6 y B_j se obtuvo de la tabla 2.1

Se despejó X de la ecuación (2.7) y se obtuvo:

$$X = \frac{(75 - B_j)}{(B_m - B_j)} \quad (2.8)$$

Determinada la fracción peso de la miel final o miel B en la mezcla con jugo de caña energética, se hallaron las masas necesarias en toneladas de cada una de las mieles, para formar la mezcla con una masa de una tonelada de jugo de caña energética con la ecuación:

$$M_{\text{miel}} = \frac{X}{1-X} \quad (2.9)$$

Finalmente el precio de la mezcla:

$$P_m = P_{\text{jugo}} + P_{\text{miel}} * M_{\text{miel}} \quad (2.10)$$

Determinado el precio de venta del jugo de caña energética conservado por la ecuación 2.10, se inició la creación del índice de eficiencia energética equivalente, por venta de jugos conservados con miel azucarera.

Inicialmente se calcula el índice de producción de jugo (IPJ), que representa la masa de caña energética necesaria para obtener una tonelada de jugo. Este valor se obtuvo a partir de mediciones durante tres años, de molidas industriales de caña energética en el central Melanio Hernández (CEEPI, 2005; CYTED, 2007).

Los valores promedio ponderales fueron:

% jugo de caña energética=35,02 ; % agua de imbibición=10,01

% extracción del tándem=54,98

Sea A= % jugo de caña energética + % agua de imbibición

Para calcular el % jugo mezclado de caña energética en base a peso extraído en tándem, se utilizó la ecuación siguiente:

$$\% \text{ JMCE} = A * \frac{\% \text{ extracción del tándem}}{100} \quad (2.11)$$

Con % JMCE se obtuvo el índice de producción de jugo por la ecuación:

$$IPJ = \frac{100}{\% \text{ JMCE}} \quad (2.12)$$

Después se multiplicó el índice de producción de jugo por el índice de generación eléctrica de una bioeléctrica, que trabaja con bagazo de caña azucarera Lodos, (2013). De esta forma se obtuvo la energía eléctrica producida por la caña energética. La ecuación que resultó fue:

$$E_p = IPJ * I_e \quad (2.13)$$

Donde $I_e = 300$ kWh/t es el índice de generación eléctrica de la bioeléctrica con caña energética

Esa energía producida hallada con la ecuación 2.13 se convirtió de kWh a toneladas equivalentes de petróleo (tep) con ayuda de la tabla que aparece en el anexo 3.

Posteriormente se dividió la energía obtenida en 2.13, ya convertida a tep por una eficiencia energética de 35%, de la bioeléctrica que se proyectó para la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay y que se describe con mayor detalle en el capítulo 1, para obtener la energía consumida en tep:

$$E_c = \frac{E_p}{0.35} \quad (2.14)$$

Luego se utilizó la ecuación, que define el índice de eficiencia energética (Borroto y cols., 2006):

$$I_{\text{Efic. Energ.}} = \frac{E_{\text{prod}}}{E_{\text{cons}}} \quad (2.15)$$

Se multiplicó por el precio de la tep el numerador y denominador y quedó:

$$I_{\text{Efic. Energ.}} = \frac{E_{\text{prod}} * P_{\text{tep}}}{E_{\text{cons}} * P_{\text{tep}}} \quad (2.16)$$

La energía obtenida de 2.13 se situó en el numerador de 2.17 y la energía obtenida de 2.14 en el denominador de 2.17 y quedó:

$$I_{\text{Efic. Energ.}} = \frac{E_p * P_{\text{tep}}}{E_c * P_{\text{tep}}} \quad (2.17)$$

Como resultado de la gestión energética de venta, se reduce el costo del combustible consumido y entonces se resta en 2.18 al precio de la tep el precio de venta del jugo conservado con miel final o miel B obtenido de 2.10. La ecuación 2.17 quedó así:

$$I_{\text{Efic. Energ.Equiv.}} = \frac{E_p * P_{\text{tep}}}{E_c * (P_{\text{tep}} - P_m)} \quad (2.18)$$

Para obtener P_{tep} se utilizó la fuente (BCC, 2015) y la tabla que aparece en el anexo 4 para convertir de barril de petróleo a tep.

Conclusiones Parciales

1. Para ejecutar la investigación, se diseñó el diagrama heurístico que contiene las cuatro etapas de la metodología para obtener el índice de eficiencia energética equivalente.

(a) Se describió la pregunta para determinar la existencia o no de destino útil para los jugos de caña energética

(b) Se precisó la pregunta a realizar en las entrevistas cara a cara a funcionarios de la Comercializadora Tecnoazúcar.

(c) Se mostraron las dos modelaciones matemáticas con regresión lineal y el análisis de los supuestos del modelo de regresión, de la idoneidad de las ecuaciones y parámetros de regresión con los estadígrafos de student, Fisher, Durbi-Watson y gráficos de los residuos y sus probabilidades.

(d) Se describió como se obtuvo el índice de eficiencia energética equivalente a partir del índice de eficiencia energética definido por Colectivo de autores, (2006), en el caso de venta de jugos conservados de caña energética; para aplicar la TGTEE en la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay.

Capítulo 3. Resultados y Discusión

3.1 Resultados de la existencia de destino útil para los jugos de caña energética

Los entrevistados de la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay, respondieron que después de los primeros tres años que usarán marabú como combustible, sembrarán caña energética y no prevén ningún empleo para los jugos de caña energética. Al mostrarle la intención de conservar los jugos para la venta de los mismos, lo consideraron una posibilidad de obtener ingresos, necesarios para el funcionamiento de la futura entidad.

3.2 Resultados de la existencia de mercado seguro para jugos conservados de caña energética

Los entrevistados de TECNOAZUCAR, afirmaron que para el caso de la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay, siempre tendrá mercado seguro los jugos de caña energética conservados, aunque sea en primavera cuando se originen, porque priorizarían la destilería Paraíso que tiene experiencia en fermentar estos jugos. Ello reducirá costos de transportación de melazas de otras provincias para elaborar alcohol.

3.3 Resultados de la factibilidad tecnológica y la obtención del índice de eficiencia equivalente

(a) Resultados obtenidos para la demostración de la factibilidad tecnológica

Para la demostración de la factibilidad tecnológica se obtuvieron las tablas y graficos que aparecen a continuación.

Tabla 3.1 Ecuaciones de regresión para las variables %Brix, Acidez y ufct

Variable	Ecuación de regresión
%Brix	Logaritmo de cuarto orden $Y = a+b*\ln(x)+c*\ln(x)^2+d*\ln(x)^3+e*\ln(x)^4$
Acidez	Polinomio de sexto orden $Y = a*x^6+b*x^5+c*x^4+d*x^3+e*x^2+f*x+g$
ufct	Logaritmo inverso de quinto orden $Y = a+b/\ln(x)+c/\ln(x)^2+d/\ln(x)^3+e/\ln(x)^4+f/\ln(x)^5$

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.2 Valores del coeficiente R² y el estadígrafo de Durbi-Watson d para las ecuaciones de regresión

Variable	R ²	d
%Brix	0,99	2,46
Acidez	0,95	2,04
ufcT	0,88	2,63

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.3 Valores de los parámetros, y probabilidades P(t) y P(F) para la variable %Brix

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	-9,35E	0,0	0,00
b	2,72E+10	0,0	
c	-4,39E+8	0,0	
d	1,46E+9	0,0	
e	-8,43E+7	0,0	

Fuente: DataFit 9.0.59

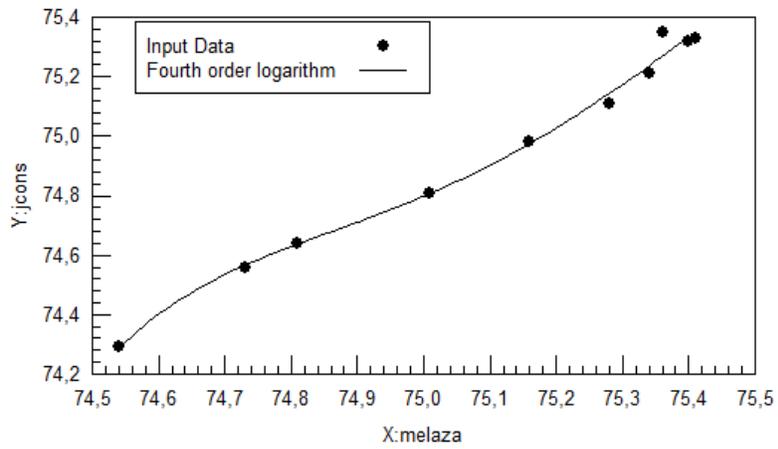


Figura 3.1 Ecuación de regresión para % Brix
 Fuente: DataFit 9.0.59

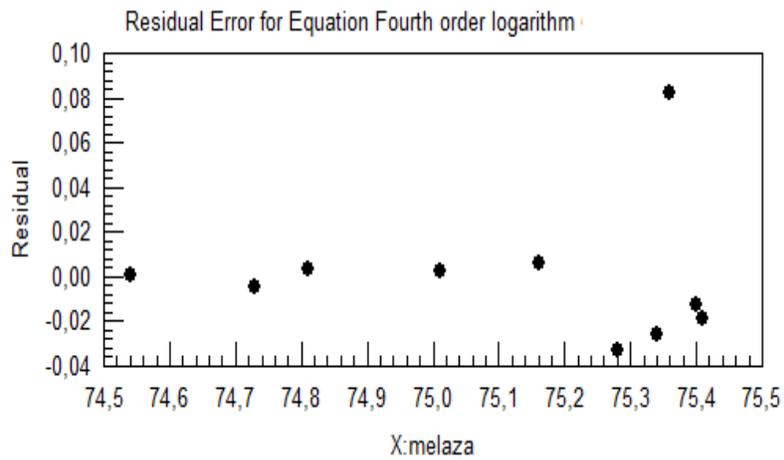


Figura 3.2 Errores residuales para la ecuación de regresión de % Brix
 Fuente: DataFit 9.0.59

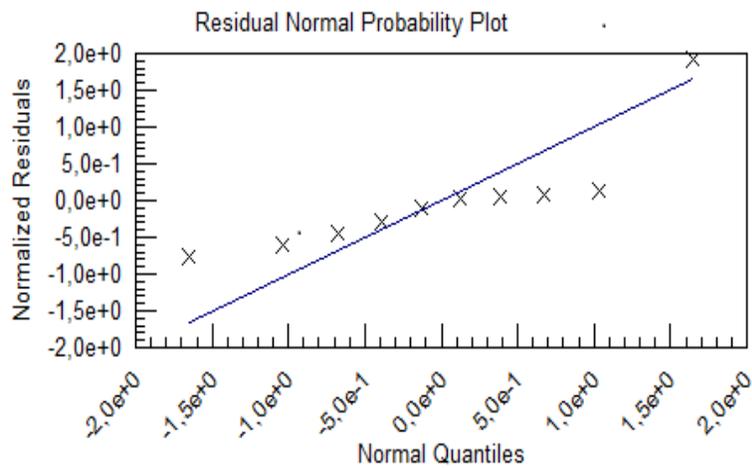


Figura 3.3 Gráfico de la probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de %Brix

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.4 Valores de los parámetros de regresión; y probabilidades P(t) y P(F) para la variable Acidez

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	-2,36E+7	0,0	0,04
b	1,27E+8	0,0	
c	-2,86E+8	0,0	
d	3,42E+8	0,0	
e	-2,30E+8	0,0	
f	8,28E+7	0,0	
g	-1,24E+7	0,0	

Fuente: DataFit 9.0.59

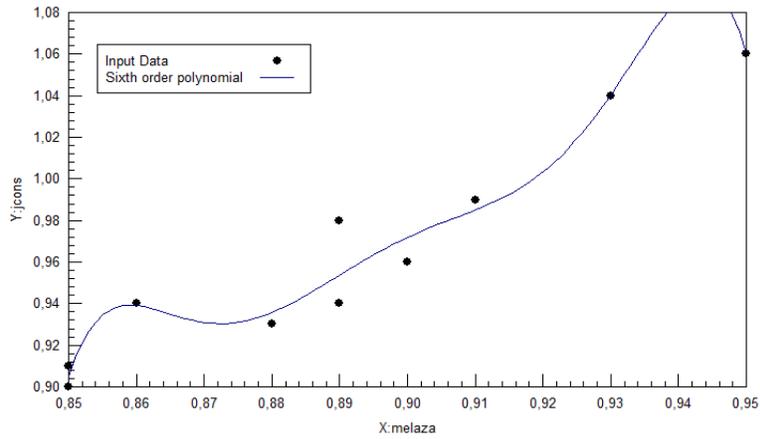


Figura 3.4 Ecuación de regresión para la variable acidez

Fuente: DataFit 9.0.59

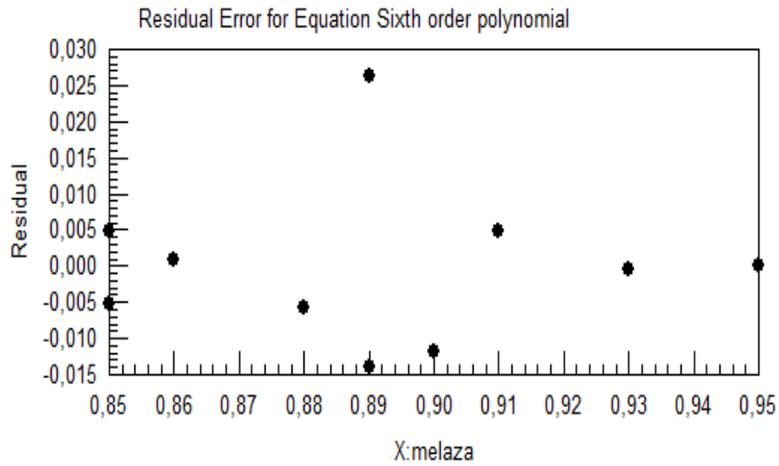


Figura 3.5 Errores residuales para la ecuación de regresión de la acidez

Fuente: DataFit 9.0.59

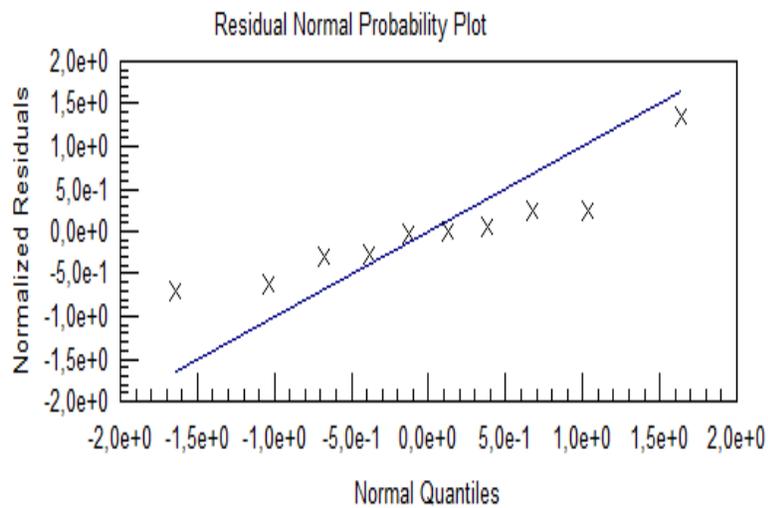


Figura 3.6 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de la acidez

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.5 Valores de los parámetros de regresión; y sus probabilidades P(t) y P(F) para la variable ufcT

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	1,11E+15	0,0	0,05
b	-6,17E+16	0,0	
c	1,36E+18	0,0	
d	-1,51E+19	0,0	
e	8,41E+19	0,0	
f	-1,86E+20	0,0	

Fuente: DataFit 9.0.59

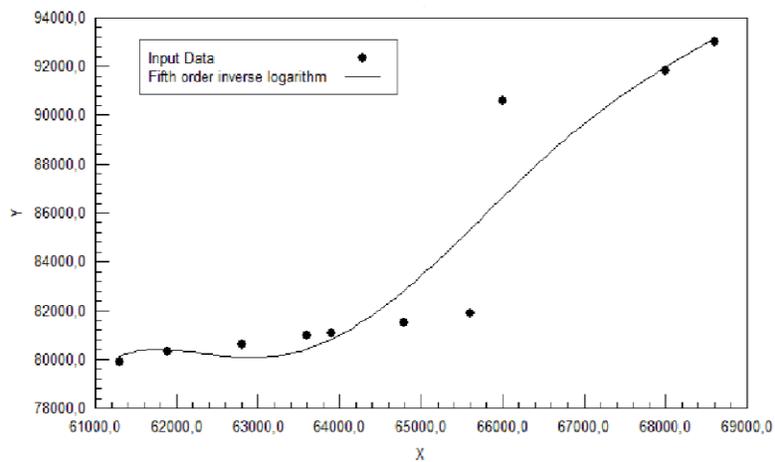


Figura 3.7 Ecuación de regresión para la variable ufcT

Fuente: DataFit 9.0.59

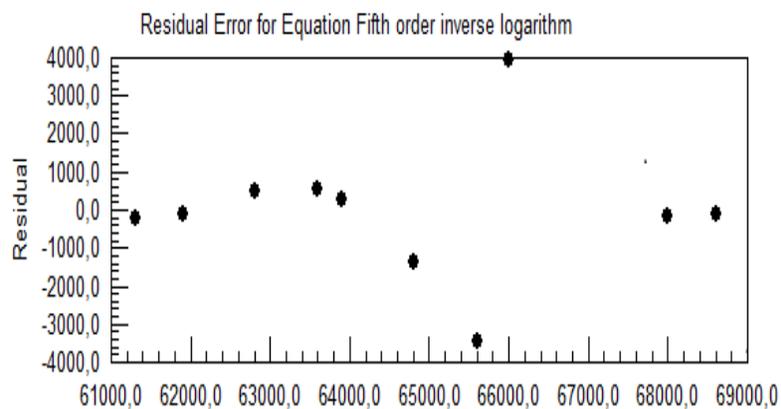


Figura 3.8 Errores residuales para la ecuación de regresión ufcT

Fuente: DataFit 9.0.59

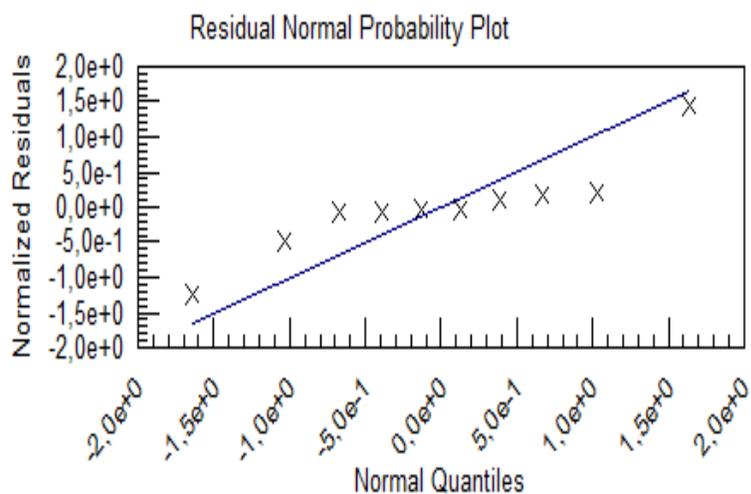


Figura 3.9 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de ufct

Fuente: DataFit 9.0.59

(b) Resultados obtenidos para la determinación del tiempo de conservación del jugo de caña energética con miel azucarera

Los modelos de regresión y gráficos obtenidos para la determinación del tiempo de conservación adecuado aparecen a continuación.

Tabla 3.6 Ecuaciones de regresión para las variables %Brix, %AzT, Acidez y Ufct

Variable	Ecuación de regresión
%Brix	Polinomio $Y = a+b*x+c*x^{1.5}$
%AzT	Polinomio $Y = a+b*x^{1.5}+c*x^2$
Acidez	Polinomio segundo orden $Y = a+b*x^2$
ufct	Polinomio $Y = a+b*x^{2.5}$

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.7 Valores del coeficiente R^2 y el estadígrafo de Durbi-Watson d para las ecuaciones de regresión

Variable	R^2	d
%Brix	0,99	2,58
%AzT	0,93	2,21
Acidez	0,97	2,49
ufcT	0,89	2,04

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.8 Valores de los parámetros y Probabilidades P(t) y P(F) para la variable %Brix

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	75,3	0,0	0
b	5,83E-03	0,06	
c	-1,83E-03	0,0	

Fuente: DataFit 9.0.59

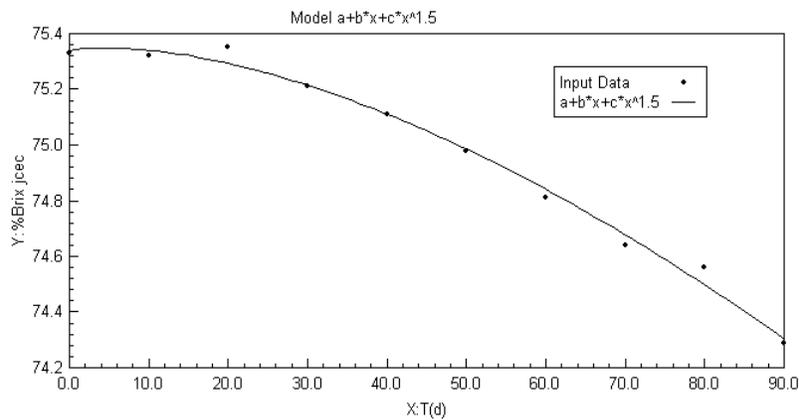


Figura 3.10 Ecuación de regresión para %Brix

Fuente: DataFit 9.0.59

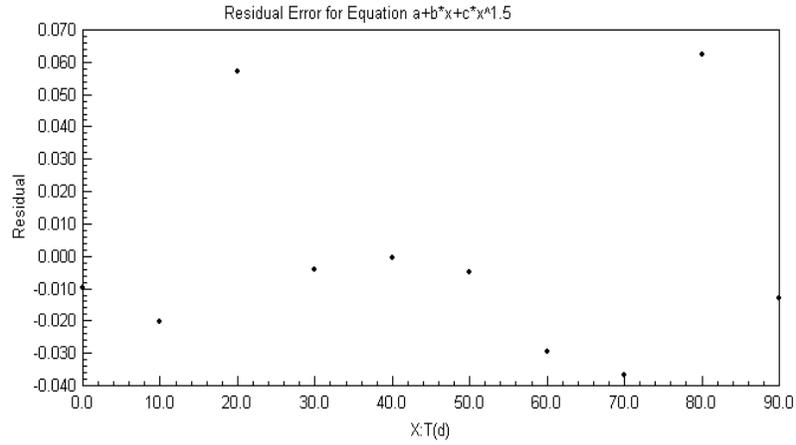


Figura 3.11 Errores residuales para la ecuación de regresión de %Brix
Fuente: DataFit 9.0.59

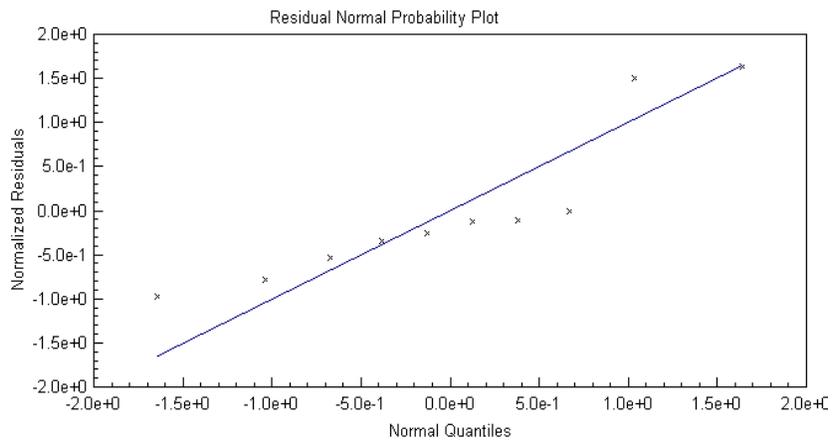


Figura 3.12 Gráfico de la probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de %Brix
Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.9 Valores de los parámetros y Probabilidades P(t) y P(F) para la variable %AzT

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	47,4	0,0	0
b	-4,49E-03	0,0	
c	3,51E-04	0,01	

Fuente: DataFit 9.0.59

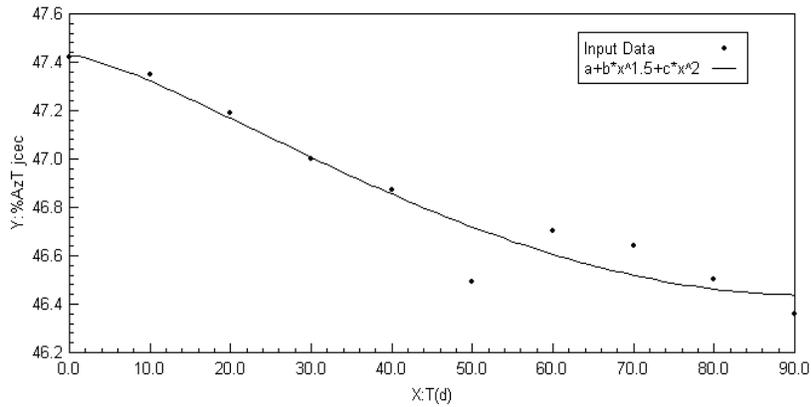


Figura 3.13 Ecuación de regresión para la variable %AzT

Fuente: DataFit9.0.59

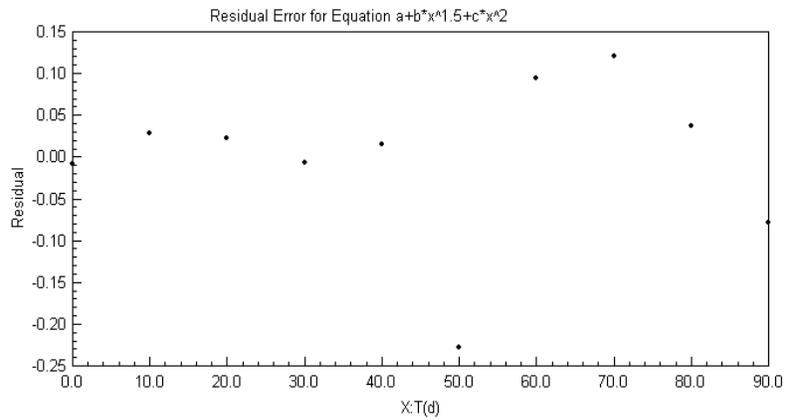


Figura 3.14 Errores residuales para la ecuación de regresión de %AzT

Fuente: DataFit9.0.59

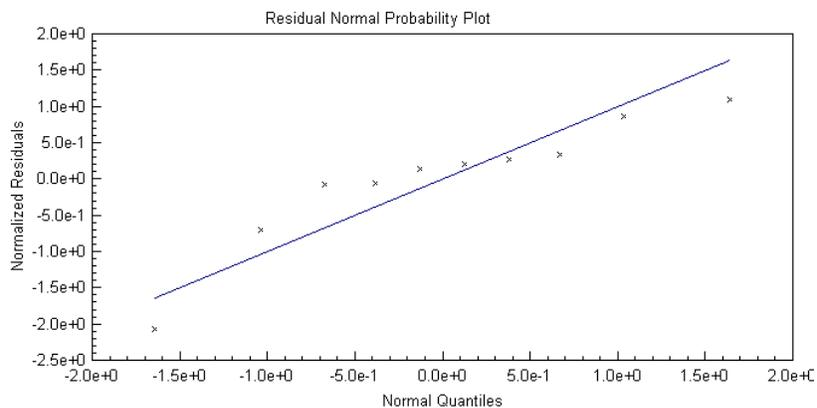


Figura 3.15 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de %AzT

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.10 Valores de los parámetros de regresión y Probabilidades P(t) y P(F) para la variable Acidez

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	0,91	0,0	0
b	1,84E-05	0,0	

Fuente: DataFit 9.0.59

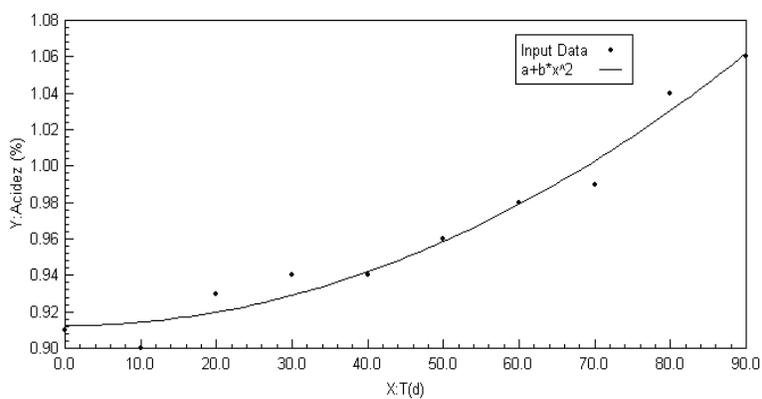


Figura 3.16 Ecuación de regresión para la variable acidez

Fuente: DataFit 9.0.59

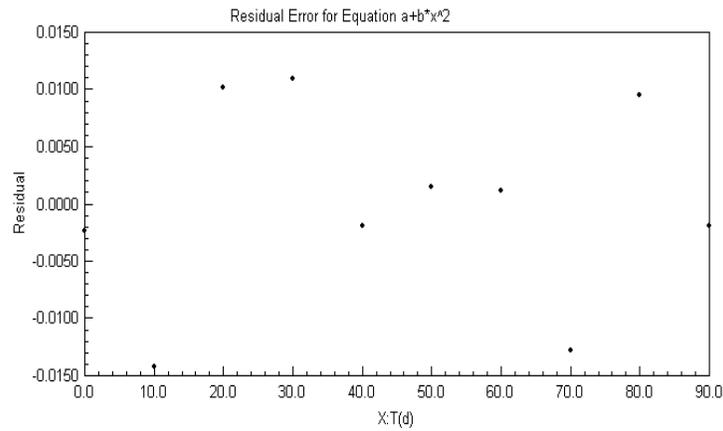


Figura 3.17 Errores residuales para la ecuación de regresión de la variable acidez

Fuente: DataFit 9.0.59

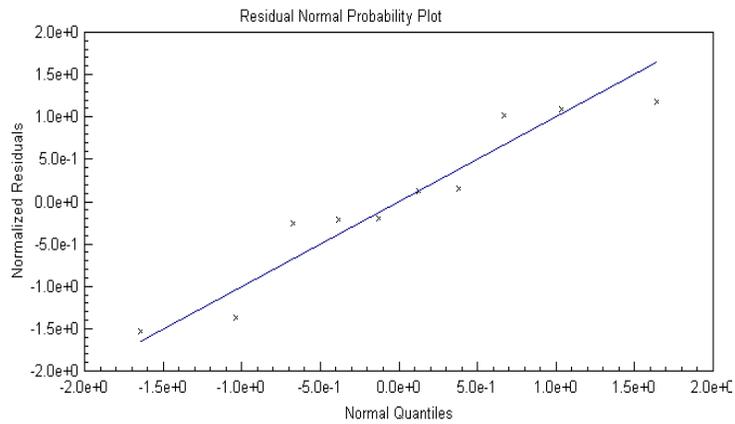


Figura 3.18 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de la variable acidez

Fuente: DataFit 9.0.59

Tabla 3.11 Valores de los parámetros de regresión y probabilidades P(t) y P(F) para la variable ufcT

Parámetro	Valor	P(t)	P(F)
a	7,97E+4	0	0
b	0,188	0	

Fuente: DataFit 9.0.59

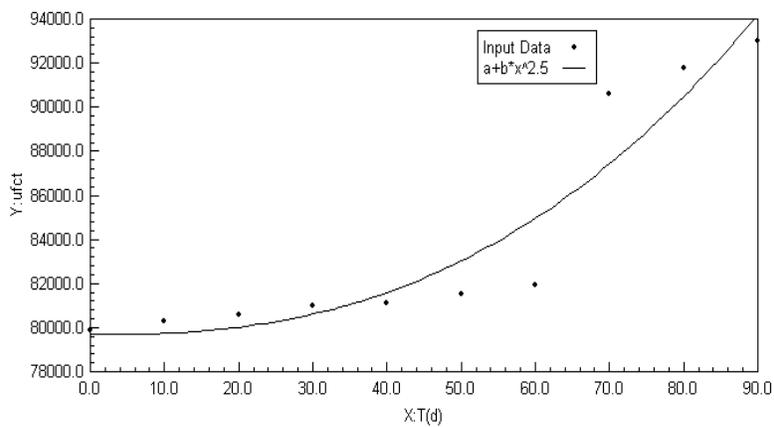


Figura 3.19 Ecuación de regresión para la variable ufct

Fuente: DataFit 9.0.59

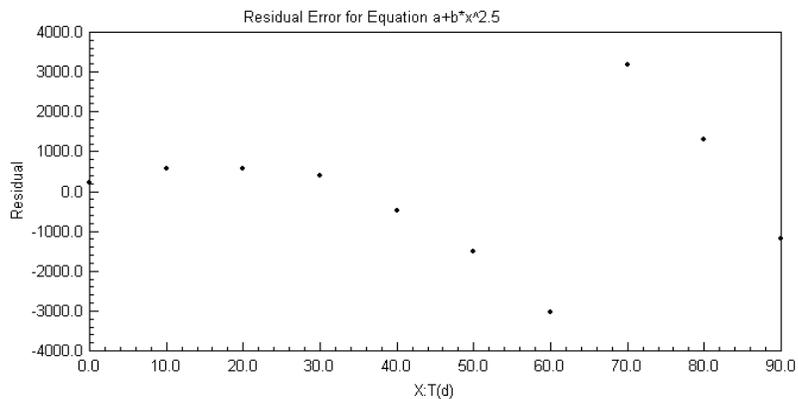


Figura 3.20 Errores residuales para la ecuación de regresión ufct

Fuente: DataFit 9.0.59

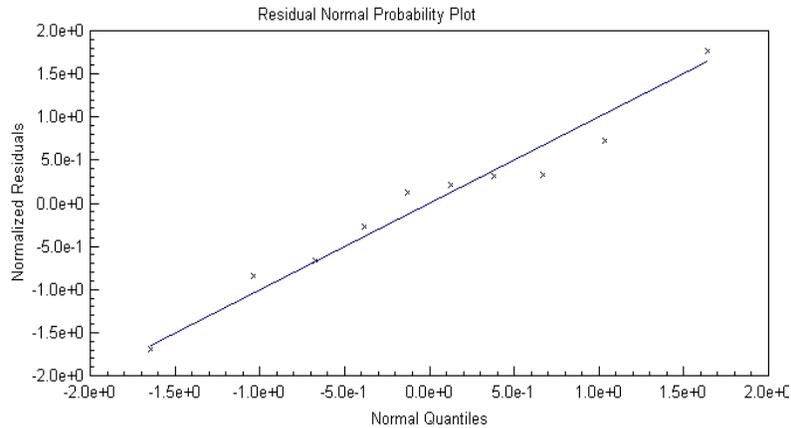


Figura 3.21 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de ufct

Fuente: DataFit 9.0.59

Con el Excel 97 se realizó la siguiente tabla para determinar el tiempo límite de conservación de los jugos de caña energética mezclados con miel final, que fue de 6 meses.

Tabla 3.12 Determinación del tiempo óptimo de conservación de los jugos de caña energética con miel final

T(días)	%Brix	Acidez(%)	Ufct/g
100	74,0	1,09	98 500
120	73,6	1,17	109 355
140	73,1	1,27	123 299
160	72,5	1,38	140 577
180	71,9	1,50	161 422
200	71,3	1,64	186 048
220	70,6	1,80	214 662
240	69,9	1,97	247 459

3.4 Resultados de la obtención del índice de eficiencia energética equivalente

Como resultado de la ecuación (2.5) del capítulo 2 se obtuvo el precio de la masa de una tonelada de azúcares totales cuando provienen de miel final y miel B. En la tabla 3.13 se recoge esta información.

Tabla 3.13 Precio de venta de una tonelada de azúcares totales

Producto	Precio (CUP)
Miel Final	146,63
Miel B	594,17

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.14 se recopilan los precios de venta de la masa de una tonelada de jugo de caña energética mezclado con miel final y miel B calculados con la ecuación (2.6).

Tabla 3.14 Precio de venta de la masa de una tonelada de jugo caña energética mezclada con miel final y con miel B

Producto	Precio (CUP)
Miel Final	10,31
Miel B	41,77

Fuente: Elaboración propia

De la ecuación 2.8 se obtuvieron las fracciones peso para la miel final y miel B, cuando se mezclan con jugo de caña energética. Los resultados aparecen en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Fracciones peso de miel final y miel B y las correspondientes al jugo de caña energética en mezclas conservadas

Producto	Fracción peso de miel (%)	Fracción de peso del jugo (%)
Miel final	86,76	13,24
Miel B	87,92	12,08

Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación 2.9 se obtuvo la masa de miel final y de miel B que se van a mezclar con la masa de una tonelada de jugo de caña energética, a partir de las

fracciones peso tabuladas en la tabla 3.15. Estos resultados se recopilan en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16 Masas de miel final y miel B en las mezclas
Con una masa de una tonelada de jugo de caña
energética**

Producto	Masa (t)
Miel final	6,55
Miel B	7,28

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.17 se recopilan los precios, de los jugos conservados con miel final y miel B obtenidos por la ecuación (2.10)

Tabla 3.17 Precio de la mezclas de jugo conservados con miel final y con miel B

Producto	Precio (CUP)	Precio (USD)
Miel Final	509,75	20,39
Miel B	2377,56	95,10

Fuente: Elaboración propia

Con las ecuaciones 2.11 y 2.12 se obtuvo $\%_{jm}=24,76\%$ y $IPJ= 4,04 t$

Se sustituyó el IPJ en la ecuación 2.13 y se halló $E_p=0,104 tep$ y este valor se sustituyó en la ecuación 2.14 y se halló $E_c=0,297 tep$

El resultado de la ecuación 2.18 aparece en la tabla 3.18

**Tabla 3.18 Indice de eficiencia energética equivalente
Por la venta de jugos de caña energética conservados**

Tipo de miel en la mezcla con jugo	Indice de Eficiencia Energética Equivalente (%)
Miel final	36,8
Miel B	44,8

Fuente: Elaboración propia

3.5 Discusión de los resultados de la existencia de destino útil para los jugos de caña energética

La inexistencia de un destino útil para los jugos de caña energética, muestra la importancia que tiene la metodología que se propone para evitar la contaminación ambiental, que podrían constituir los jugos de caña energética convertidos en residuales.

Por otra parte representa el empleo de los jugos traerá beneficios económicos y energéticos para la entidad y sociales para sus trabajadores.

3.6 Discusión de los resultados de la existencia de mercado seguro para los jugos de caña energética conservados

La existencia de mercado seguro, es un hecho clave para esta investigación porque nada se puede hacer si no se realiza la gestión de comercialización del nuevo producto jugo de caña energética conservado con miel. Esto se muestra en el diagrama heurístico, con el camino hacia el fin de la investigación. Todas las etapas subsiguientes de este estudio, fueron posibles por la factibilidad económica concluida de los resultados de las encuestas realizadas a funcionarios de la comercializadora de AzCuba.

3.7 Discusión de los resultados de la factibilidad tecnológica de la conservación

(a) Discusión de la factibilidad tecnológica

La tabla 3.2 muestra que par todas las ecuaciones obtenidas el coeficiente de determinación múltiple R^2 fue bueno, mayor a 89% para todas las variables %Brix, acidez, y ufct. Esto significa que el comportamiento de estas variables en la mezcla jugo de caña energética con miel es similar al comportamiento de ellas en la miel, y el comportamiento de la miel final es estable según los estudios realizados por el ICIDCA, (ICIDCA, 2003). Se puede afirmar entonces que la conservación de los jugos de caña energética es una tecnología factible.

2. La tabla 3.2 muestra los valores obtenidos cuando se aplicó la prueba de hipótesis, para la autocorrelación en los residuos con el estadígrafo de Durbi-

Watson. Se determinaron los valores críticos $d_L=0,879$ y $d_U=1,320$ a un nivel de significancia de un 5%, 1 variable explicativa y 10 observaciones. Esto representa un intervalo (1,320; 2,68) donde no va a existir autocorrelación. Los valores obtenidos del estadígrafo de Durbi-Watson, para las tres variables de la investigación caen dentro de este intervalo; por tanto se rechaza la hipótesis nula de existencia de autocorrelación positiva o negativa y se concluye que no existe autocorrelación en los residuos de los modelos de regresión hallados; por lo tanto el supuesto del modelo de regresión de no existencia de autocorrelación en los residuos se satisface.

3. Las tablas 3.3, 3.4, 3.5 muestran las probabilidades halladas de los estadígrafos de student y de Fisher para realizar las pruebas de hipótesis. Se obtuvo que la probabilidad del estadígrafo t, $P(t)$ fue inferior a 0,05 y la probabilidad $P(F)$ fue inferior o igual a 0,05; para las tres variables. Esto significa que la probabilidad de que los parámetros de regresión sean cero, es inferior al 5% cuando se valora el estadígrafo t e inferior o igual a un 5 % cuando se valora el estadígrafo F. Como se satisfacen los valores de las probabilidades para la hipótesis alterna, no se rechaza y se concluye que los parámetros de la regresión son distintos de cero.

4. Las figuras 3.1, 3.4, 3.7 muestran gráficamente, el buen grado de ajuste a los puntos experimentales obtenido por las ecuaciones de regresión para las variables %Brix, %AzT, Acidez; hecho que se manifiesta en una distribución aleatoria de puntos por debajo y por encima de las curvas de regresión.

5. Las figuras 3.2, 3.5, 3.8 muestran los errores residuales para las tres ecuaciones de regresión obtenidas. Se aprecia que están aleatoriamente dispersos alrededor de cero y no muestran ningún patrón, es decir no están relacionados con los valores de la variable independiente. Este hecho es otra prueba más, de que no existe autocorrelación en los residuos de las ecuaciones de regresión y que el supuesto del modelo de regresión lineal en dos variables, que el valor medio de los errores residuales es igual a cero se satisface.

6. Las figuras 3.3, 3.6, 3.9 muestran las probabilidades de los residuos de las ecuaciones de regresión. Los residuos están normalmente distribuidos alrededor

de cero, porque se agrupan a ambos lados de una recta con pendiente 45 grados e intercepto cero con el origen de coordenadas. Esto muestra que se satisface, el supuesto del modelo de regresión lineal en dos variables que los residuos tienen la misma varianza porque obedecen a una distribución normal.

Se concluye que las ecuaciones de regresión obtenidas son correctas porque se satisfacen los cinco supuestos del modelo de regresión lineal y la factibilidad tecnológica de la conservación del jugo de caña energética está validada.

(b) Determinación del tiempo de conservación del jugo de caña energética con miel azucarera

1. La tabla 3.7 muestra que para todas las ecuaciones obtenidas el coeficiente de determinación múltiple R^2 fue bueno, mayor a 89% para todas las variables %Brix, acidez, Ufct y acidez. Esto significa que los modelos de regresión obtenidos explican muy bien la variación en las variables dependientes %Brix, acidez, Ufct y acidez.

2. La tabla 3.8 muestra los valores obtenidos cuando se aplicó la prueba de hipótesis, para la autocorrelación en los residuos con el estadígrafo de Durbi-Watson. Se determinaron los valores críticos $d_L=0,879$ y $d_U=1,320$ a un nivel de significancia de un 5%, 1 variable explicativa y 10 observaciones. Esto representa un intervalo (1,320; 2,68) donde no va a existir autocorrelación. Los valores obtenidos del estadígrafo de Durbi-Watson, para las cuatro variables de la investigación caen dentro de este intervalo; por tanto se rechaza la hipótesis nula de existencia de autocorrelación positiva o negativa y se concluye que no existe autocorrelación en los residuos de los modelos de regresión hallados y el supuesto del modelo de regresión sobre este aspecto se satisface.

3. Las tablas 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 muestran las probabilidades halladas los estadígrafos de student y de Fisher para aplicar la prueba de hipótesis. Se obtuvo que la probabilidad del estadígrafo t, P (t) fue inferior a 0,05 y la probabilidad P (F) fue inferior o igual a 0,05; para las cuatro variables. Esto significa que la probabilidad de que los parámetros de regresión sean cero, es inferior al 5% cuando se valora el estadígrafo t e inferior o igual a un 5 % cuando se valora el estadígrafo F. Como se satisfacen los valores de las probabilidades para la

hipótesis alterna, no se rechaza y se concluye que los parámetros de la regresión son distintos de cero y los modelos de regresión son válidos.

4. Las figuras 3.10, 3.13, 3.16 y 3.19 muestran gráficamente, el buen grado de ajuste a los puntos experimentales obtenido por las ecuaciones de regresión para las variables %Brix, %AzT, Acidez y Ufct; hecho que se manifiesta en una distribución aleatoria de puntos por debajo y por encima de las curvas de regresión.

5. Las figuras 3.11, 3.14, 3.17 y 3.20 muestran los errores residuales para las cuatro ecuaciones de regresión obtenidas. Se aprecia que están aleatoriamente dispersos alrededor de cero y no muestran ningún patrón, es decir no están relacionados con los valores de la variable independiente. Este hecho es otra prueba más, de que no existe autocorrelación en los residuos de las ecuaciones de regresión y que el supuesto del modelo de regresión lineal en dos variables, que el valor medio de los errores residuales es igual a cero se satisface.

6. Las figuras 3.12, 3.15, 3.18 y 3.21 muestran las probabilidades de los residuos de las ecuaciones de regresión. Los residuos están normalmente distribuidos alrededor de cero, porque se agrupan a ambos lados de una recta con pendiente 45 grados e intercepto cero con el origen de coordenadas. Esto muestra que se satisface, el supuesto del modelo de regresión lineal en dos variables que los residuos tienen la misma varianza porque obedecen a una distribución normal.

Se concluye que los modelos de regresión obtenidos para esta caso son válidos porque se satisfacen todos los supuestos del modelo de regresión.

7. La tabla 3.12 muestra que el tiempo de conservación de 180 días, que depende de las condiciones de restricción impuestas a las variables %Brix, ufct y acidez dá un margen conveniente de conservación de los jugos de caña energética con miel para su uso en la producción de alcohol y alimento animal.

3.8 Discusión de los resultados de la obtención de un índice de eficiencia energética equivalente

1. La tabla 3.7 muestra los precios de venta de la masa de una tonelada de azúcares totales en CUP, cuando dichos azúcares provienen de miel final y miel B. Se aprecia que la diferencia de precio entre ambas masas, es la misma que la diferencia de precios entre los productos melíferos azucareros, establecidos por la Resolución 484/2014 del Ministerio de Finanzas y Precios.

2. La tabla 3.8 contiene los precios de venta de la masa de jugo de caña energética igual a una tonelada mezclada con miel final y miel B. Aquí también se muestra, que la diferencia de precios entre ambas masas de jugo de caña energética, radica en las diferencias de precios entre los productos melíferos azucareros, establecidos por la Resolución 484/2014 del Ministerio de Finanzas y Precios.

3. La tabla 3.9 recopila las fracciones peso, de miel final y miel B y las correspondientes al jugo de caña energética en mezclas conservadas. Se aprecia que un alto porcentaje le corresponde a las mieles y uno muy bajo a los jugos de caña energética.

4. La tabla 3.11 recopila los precios de las mezclas de jugo con miel final y con miel B. El precio del jugo conservado con miel B es 4,66 veces mayor que el de la mezcla con miel final, lo que significa que para la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Azucarera, es mejor vender el jugo de caña energética mezclado con miel B, para obtener el máximo valor posible de eficiencia energética equivalente.

5. La tabla 3.12 muestra que la eficiencia energética equivalente, cuando se comercializa el jugo con miel final, toma un valor de 36,8 %. Sin embargo cuando se mezcla con miel B y se comercializa toma un valor de 44,8%. Se obtuvo un mayor índice de eficiencia energética equivalente con la gestión de comercialización de la mezcla formada por jugo de caña energética y miel B, porque el precio de venta de esta variante de mezcla es mayor, que la variante de mezcla con la miel final y entonces disminuye más el precio de la tonelada equivalente de petróleo consumido por la bioeléctrica, que es lo que decide el aumento de la eficiencia energética equivalente de la bioeléctrica.

6. Los resultados obtenidos, después de demostrada la factibilidad económica de la comercialización de los jugos de caña energética conservados, de comprobada la factibilidad tecnológica de los jugos conservados; demostraron la veracidad de la hipótesis de este estudio: si se realiza una alternativa de gestión energética con la comercialización de los jugos de caña energética y aumenta la eficiencia energética equivalente de la bioeléctrica.

Conclusiones Parciales

1. Se determinó que la Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay no tiene un destino útil para los jugos de caña energética que se originarán, sin embargo para la venta de los jugos conservados con miel final y miel B, existe un mercado seguro en la destilería Paraíso del municipio Taguasco, provincia de Sancti Spíritus.
2. Se demostró la factibilidad tecnológica de la conservación del jugo de caña energética con miel azucarera y se determinó que el tiempo límite de conservación del jugo de caña energética con miel final es de seis meses.
3. Se determinaron los precios estimados de venta de una tonelada de jugo de caña energética mezclados con miel final igual a 10,31 CUP y con miel B igual a 41,77 CUP y los precios de las mezclas de jugo de caña energética con miel final igual a 509,75 CUP y otra con miel final igual a 2 377,56 CUP.
4. Se determinó la ecuación para el índice de eficiencia energética equivalente para la futura bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay por la venta de jugos conservados con miel final y miel B y los valores para estos casos de 36,8% y 44,8% respectivamente.

Conclusiones

Después de realizada la investigación se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

-se definió si la bioeléctrica UEB Central Azucarero Uruguay tenía un destino útil para los jugos de caña energética y la existencia de mercado seguro para la venta de los jugos conservados de caña energética

-se demostró la factibilidad tecnológica de la conservación de los jugos

-se obtuvo un índice de eficiencia energética equivalente en la bioeléctrica UEB Central Azucarero Uruguay, por ventas de jugos conservados con miel final y miel B.

Recomendación

Se sugiere generalizar el índice obtenido de eficiencia energética equivalente para la futura bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay a otras bioeléctricas que se instalen en el país, que utilicen como combustible la caña energética en casos de problemas con el almacenamiento del bagazo de la caña de azúcar y se propongan implantar la TGTEE.

Bibliografía

1. Abreu, R. (2005). *Alcohol orgánico: otra alternativa de diversificación*. [en-línea] Disponible en: <http://www.monografia.com> [17/04/15]
2. Almazán, O. (2005). *Comentarios a Power Point: "Un nuevo amanecer para programas de etanol carburante: ¿Realidad o ficción?*, [CD-ROM].
3. Alonso, R. (2015). *Mesa Redonda*. Canal Cubavisión, Cuba.
4. Álvarez, J. A. (2002). Conservación de las mieles para la fermentación alcohólica. *Centro Azúcar* (3), 7 pp.
5. Balboa, A. (2015). Ministerio de Energía y Minas. Intervención en reunión celebrada en la Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". Información interna.
6. Batstone, D. B. (2005). US Patent No. US2005142265. US 2005/0142265 A1.
7. BCC, (2015). Banco Central de Cuba. Información Económica. Año 9. Nº 238, mayo. RPNS-330 pdf. 2 pp.
8. BPH-PRAJ. (2006). Planta de 300 000 L/día de etanol combustible *usando fermentación semicontinua, destilación multipresión y deshidratación por tamices moleculares*. India: Intercontinental Infra-Project (P) Ltd., 7pp.
9. Borroto A. y cols. (2002) *Gestión Energética Empresarial*. Cienfuegos: Editorial Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-040-X
10. Bravo, R. (2014) *Estudio de oportunidad planta bioeléctrica de 50 MWh UNIDAD EMPRESARIAL DE BASE Central Azucarero "Uruguay"*. Presentación en powerpoint, 42 diapositivas, Sancti Spíritus.
11. Colectivo de autores. (2006) *Gestión Energética en la producción y los servicios*. Bajo la redacción de Aníbal Borroto Nordelo y José P. Monteagudo Llanes Cienfuegos: Editorial Universo Sur. ISBN no especificado.
12. Campo, R. y cols. (1998). Variedades energéticas de caña de azúcar: Una solución a la biomasa del presente y el futuro. *Revista Cuba & Caña*, No. 1, 10-13.
13. Castro, F. (1998). *Fidel Castro y la Producción Azucarera*. La Habana: Producciones Azucareras. Ministerio del Azúcar. (MINAZ). Cuba.

14. CATIC, (2006). *Catalogue: 300 000 L/day Molasses Fuel Alcohol*. China: Catic Beijing Company. 37 p.
15. CEEPI. (2005). *Informe final del Proyecto Nacional: Evaluación tecnológica de la cogeneración durante todo el año usando caña energética como segundo combustible. Código 00101175. Centro de Estudios de Energías y Procesos Industriales*. Centro Universitario de Sancti Spiritus “José Martí Pérez”. Documento interno.
16. CYTED. (2007). *Caña de alto contenido en fibra: CAÑA ENERGETICA*. Taller y monografía. Red IVH. Cooperación Iberoamericana. Ciencia y Tecnología para el desarrollo. CD-ROM. ISBN 978-959-7136-51-4.
17. 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 en opción al grado de Doctora en Ciencias Técnicas, UCLV, Santa Clara
18. DEDINI. (2006). *Especificaciones de jugos de caña para etanol. Convenio del ALBA Cuba-Venezuela*. Documento interno.
19. Díez, F. y Garrido, N. (2012). Bagazo de caña de azúcar: ¿energía o etanol carburante? *Revista INGENIERÍA QUÍMICA*, No. 506, 76-85, Mayo 2012 Editorial Alción S. A., Madrid, España. ISSN 0210-2064.
20. FEDNA. (2007). *Melaza de caña*. [en-línea] Disponible en: <http://www.etsia.upm.es>. [27/11/14]
21. Fernández-Bolaños, M. (2013). *Cuba por mejorar eficiencia energética en industria azucarera*. [en-línea] Disponible en: <http://www.prensa-latina.cu>[4/9/14]
22. Frazier, W. C. y W. D. C. (1993). *Microbiología de los alimentos*. España: Editorial Acribía.
23. Godefroy J., (2015). *Cuba actualiza su tecnología azucarera*. Grupo Azcuba, 7 de agosto. [en-línea] Disponible en: www.cubaindustria.cu
24. Gómez, V. y cols. (2015). *Entrevista Personal*. UEB Central Azucarero Uruguay.

25. 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.
26. Guerra R., (2014). El camino hacia la Eficiencia Energética en Cuba. *Semanario Económico y Financiero de Cuba* (Mayo). Grupo de Desarrollo de Juventud Rebelde. ISSN 1563-8340
27. Gujarati, D.N. (2005). *Econometría*. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba.
28. Honig, P. (1987). *Principios de Tecnología Azucarera*. (Vol. I y III) Cuba: Ediciones Revolucionarias.
29. Jaques, K; T. P. Lyons y D. R. Kelsall. (2003). *The Alcohol Textbook.4th Edition*. U.K.: Editorial The Midlands Book Typesetters
30. Jorge, H. y cols. (2005). Variedades energéticas: Una alternativa económica para producir energía.1er.Ponencia presentada en *Congreso Internacional de Casos Exitosos de Desarrollo Sostenible del Trópico*. Veracruz, México. Documento en pdf. 7pp.
31. ICIDCA. (2003).*Manual de los derivados de la caña de azúcar*. [CD-ROM].
32. Lima, J. (1999).*Preservación de alimentos como sistema multivariable*. [en-línea] Disponible en:<http://club.telepolis.com/ohcop/temperat.html> [15/7/13]
33. Lodos, (2014). La medición y pago por la calidad de la caña. Parte I: Revisión crítica de los sistemas de medición de la calidad. *Revista ATAC*, N°.3/2014, septiembre-diciembre, ISSN 0138-7553.
34. López, E. y. Peláez, M. (2006). Primera experiencia cubana de producción de etanol integrada a una fábrica de azúcar. Ponencia presentada en *49 Congreso de la ATAC*. Teatro Heredia, Santiago de Cuba.
35. MACU, (1975) *Alcohol y Levadura Saccharomyces*.1ra. Parte. La Habana: Editorial MINAZ
36. Matos, L. (2013). *XI Seminario Nacional de Energía en apoyo a la toma de decisiones*. La Habana: Ministerio de Energía y Minas, 25-27 junio. Documento en pdf. pp. 20
37. Miller I. y cols., (2010) *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. La Habana: Editorial Félix Varela

38. MINAZ. (1977). *Manual de Operación para las fábricas de torula*. Tecnología Francesa.
39. MINAZ. (1983). *Manual de Operaciones para la Producción de Alcohol y Levadura Saccharomyces*. Destilería "Arquímedes Colina", 82 pp. Cuba.
40. MINAZ.(2006).*Nuevos precios de la caña, azúcares, mieles y derivados*. Documento interno.
41. MINAZ. (2011). *Proyecto MINAZ-Cogeneración Ciro Redondo. 30 MW*. Documento en pdf.pp.4
42. MFP (2014). *Precios de venta de la miel final y miel B*. Resolución 484/2014.Cuba
43. NC. (2009).*Miel Final (Melaza)-Especificaciones*. NC 715:2009.
44. NCR. (2007). *NCR 192:1992 Melaza de caña*. [en-línea] .Disponible en: reventazon.meic.go.cr/información/onnum/normas/192.pdf [22/05/13]
45. Negrín, S. (2003).*Curso de Introducción a la Biotecnología.Coordinadora principal*. Universidad para todos. Tabloide. Juventud Rebelde.
46. Obregón, J. (2008). *Estudio para la obtención del bioetanol a partir de jugos de caña energética como componente del substrato*. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas, UCLV, Santa Clara.
47. Obregón, J. (2011). Alternativa de conservación de de jugos de caña en procesos integrados de producciones y cogeneración energética. *Ingeniería Química. Asociación de Ingenieros Químicos de Uruguay*, 39(junio 2011). ISSN0797-4930.
48. Obregón, J. (2015) Consejo Técnico Asesor. Empresa azucarera Sancti Spíritus. Presentación Power Point, 21 diapositivas.
49. Olbrich, H. (1969). *Principios de Tecnología Azucarera* (Vol. III): P. Honig México: Editorial CECSA
50. Park, J. W. y cols. (2011). *Development Of New Intergeneric Cane Hybrids, Miscanes, As Source Of Biomass Feedstock For Biofuel Production*.Plant & Animal Genomes XIX. Conference, San Diego, California, USA.
51. Pierre-Oliviere, C. (1994). Francia Patent No. FR 2697266
52. IPROYAZ. (2012).*Estudio de oportunidad planta bioeléctrica 20 MW UEB Central Azucarero Jesús Rabí*. Grupo AzCuba, Cuba.

53. Reynoso, A. (1998). *Ensayo sobre el Cultivo de la Caña de Azúcar*. La Habana, Cuba: Publicaciones Azucareras, MINAZ.
54. Romero, O. (2005). *Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativas de combustible para generar fuera de zafra*. Tesis en la opción del grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, UCLV, Cuba.
55. Sánchez, Y. (2014). El camino hacia la Eficiencia Energética en Cuba. *Semanario Económico y Financiero de Cuba* (Mayo). Grupo de Desarrollo de Juventud Rebelde. ISSN 1563-8340
56. TOMSADESTIL, (2015). *Instalación de una destilería en Cuba*. [en-línea] Disponible en: <http://tomsadestil.es> [4/6/14]
57. Tecnoazúcar, (2015) Consulta personal con la directora y Jefe Comercial. Sancti Spíritus.
58. Triana, O. (2013). *R5-Potencialidades de la caña energética* [Presentación con diapositivas en power-point] [16/7/14]
59. TPCC. (2007). *Planta de producción de alcohol etílico*. [en-línea] Disponible en: <http://www.turkey.taiwantrade.com.tw> [27/11/14]

Anexo 1. Relación de Tablas por Capítulos

Cap.	Nombre de la tabla
1	1.1 Índices utilizados para evaluar y controlar la eficiencia energética empresarial
	1.2 Acciones que se realizan en cada etapa de la TGTEE
	1.3 Balance de vapor directo para el proceso de producción de azúcar bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	1.4 Balance de vapor de escape para la producción de azúcar bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	1.5 Variantes analizadas en el estudio de oportunidad realizado en la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	1.6 Resultados del estudio de oportunidad para bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	1.7 Caracterización química del bagazo de las variedades de caña energética C90-176 y C90-178 con distintos meses (m) de edad
	1.8 Especificaciones de los jugos para etanol
	1.9 Especificaciones de la miel B y melaza para etanol
	1.10 Actividad acuosa mínima de desarrollo (A_w)
2	2.1 Características químicas y microbiológicas de la miel final y jugos de caña energética pasterizados con HTHT utilizados
	2.2 Comportamiento de las variables de estabilidad de la miel final testigo en el tiempo para mediciones desde 0 a 90 días y a una temperatura de 31-33°C
	2.3 Comportamiento de las variables de estabilidad de la mezcla jugo de caña energética-miel final en el tiempo para mediciones desde 0 a 30 días y a una temperatura de 31-33°C

	2.4 Prueba de hipótesis para la probabilidad de t y F: Reglas de decisión
	2.5 Prueba de hipótesis para el estadígrafo d de Durbi-Watson: Reglas de decisión
	2.6 Precio de las mieles de cañas azucareras cubanas
3	3.1 Ecuaciones de regresión para las variables %Brix, Acidez y ufct
	3.2 Valores del coeficiente R^2 y el estadígrafo de Durbi-Watson d para las ecuaciones de regresión
	3.3 Valores de los parámetros, y probabilidades P(t) y P(F) para la variable %Brix
	3.4 Valores de los parámetros de regresión; y probabilidades P(t) y P(F) para la variable Acidez
	3.5 Valores de los parámetros de regresión; y sus probabilidades P(t) y P(F) para la variable ufct
	3.6 Ecuaciones de regresión para las variables %Brix, %AzT, Acidez y Ufct
	3.7 Valores del coeficiente R^2 y el estadígrafo de Durbi-Watson d para las ecuaciones de regresión
	3.8 Valores de los parámetros y Probabilidades P(t) y P(F) para la variable %Brix
	3.9 Valores de los parámetros y Probabilidades P(t) y P(F) para la variable %AzT
	3.10 Valores de los parámetros de regresión y Probabilidades P(t) y P(F) para la variable Acidez
	3.11 Valores de los parámetros de regresión y probabilidades P(t) y P(F) para la variable ufct
	3.12 Determinación del tiempo óptimo de conservación de los jugos de caña energética con miel final
	3.13 Precio de venta de una tonelada de azúcares totales

	3.14 Precio de venta de la masa de una tonelada de jugo caña energética mezclada con miel final y con miel B
	3.15 Fracciones peso de miel final y miel B y las correspondientes al jugo de caña energética en mezclas conservadas
	3.16 Masas de miel final y miel B en las mezclas con una masa de una tonelada de jugo de caña energética
	3.17 Precio de la mezclas de jugo conservados con miel final y con miel B
	3.18 Índice de eficiencia energética equivalente por la venta de jugos de caña energética conservados

Anexo 2. Relación de Figuras por Capítulos

Cap.	Nombre de la figura
1	1.1 Elementos que integran un sistema de gestión de la energía
	1.2 Diagrama de Ishikawa con las causas del bajo nivel en materia de gestión energética empresarial
	1.3 %Brix vs. Aw
2	2.1 Diagrama Heurístico
	2.2 Diagrama en bloques para definir destino de los jugos de caña energética por la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	2.3 Diagrama en bloques para obtener mercado de venta de los jugos de caña energética para la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	2.4 Diagrama de bloques para determinar factibilidad tecnológica de la conservación de jugos de caña energética en la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
	2.5 Diagrama en bloques del experimento realizado para simular conservación
	2.6 Aplicación de las reglas de decisión para demostrar la validez de cada modelo de regresión
	2.7 Zonas para la aplicación de las reglas de decisión con el estadígrafo de Durbi-Watson
	2.8 Diagrama en bloques de las acciones ejecutadas para obtener índice de eficiencia energética equivalente en la bioeléctrica Unidad Empresarial de Base Central Azucarero Uruguay
3	3.1 Ecuación de regresión para %Brix
	3.2 Errores residuales para la ecuación de regresión de %Brix
	3.3 Gráfico de la probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de %Brix

3.4 Ecuación de regresión para la variable acidez
3.5 Errores residuales para la ecuación de regresión de la acidez
3.6 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de la acidez
3.7 Ecuación de regresión para la variable ufct
3.8 Errores residuales para la ecuación de regresión ufct
3.9 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de ufct
3.10 Ecuación de regresión para %Brix
3.11 Errores residuales para la ecuación de regresión de %Brix
3.12 Gráfico de la probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de %Brix
3.13 Ecuación de regresión para la variable %Azt
3.14 Errores residuales para la ecuación de regresión de %Azt
3.15 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de %Azt
3.16 Ecuación de regresión para la variable acidez
3.17 Errores residuales para la ecuación de la variable acidez
3.18 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de la variable acidez
3.19 Ecuación de regresión para la variable ufct
3.20 Errores residuales para la ecuación de regresión ufct
3.21 Probabilidad de los residuos para la ecuación de regresión de ufct