

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
SEDE “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

**Título: “Efecto de las materias extrañas en la caña sobre las
variables de eficiencia del proceso en la UEB fábrica de azúcar
14 de Julio”**

AUTORA: Laritza Martínez Pérez

TUTOR: MSc. Víctor Manuel González Morales

CONSULTANTE: Ing. Juan Carlos Díaz Fach

CURSO: 2016-2017

Cienfuegos, 2017

Pensamiento



“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana”.

Ernesto Che Guevara.

Dedicatoria

A mi Madre y a mi Padre, que sin su esfuerzo en todos estos años de estudio no hubiese llegado a este momento tan importante para mi vida.

A mis abuelos por siempre confiar en mí y estimularme a terminar.

A mi familia en general por sentirse siempre orgullosos de mis logros.

Agradecimientos

A mi tutor, MSc. Víctor Manuel González Morales por estar siempre cerca y guiarme en la complejidad del trabajo.

Al Ing. Liosmel Albelo Prado por ayudarme en la obtención de los datos necesarios para la realización de esta investigación.

A los trabajadores del laboratorio de la UEB: Fábrica de Azúcar “14 de Julio” en especial al Ing. Juan Carlos Díaz Fach.

A todos los profesores que me ayudaron, con la crítica oportuna a tiempo y a destiempo.

A Dariel González Leiva por su paciencia y apoyo incondicional.

A todas las personas que contribuyeron y aportaron su granito de arena a la investigación.

A todos, Muchas Gracias.

Resumen

RESUMEN

El presente trabajo de diploma tiene como objetivo realizar el estudio del efecto de las materias extrañas en la caña de azúcar sobre las variables de eficiencia del proceso en la UEB fábrica de azúcar “14 de Julio,” para lograr elevar las variables de eficiencia tales como: azúcar hecha, recobrado y rendimiento industrial. Se utilizó un “diagrama heurístico” para representar el procedimiento de la metodología propuesta. Como resultados principales de la investigación se define que existe influencia significativa entre el contenido de materias extrañas y las variables de eficiencia del proceso y se obtiene una propuesta tecnológica para la limpieza de la caña antes de entrar en el área del basculador. La pre-factibilidad económica en condiciones óptimas, determinó un VAN de 67 256 743,63 CUP, con un período de recuperación de la inversión en el primer año y según el análisis de sensibilidad, continúa siendo favorable hasta un 10 % de variación en los costos de la caña, el azúcar y miel final. La propuesta de un sistema de limpieza en seco de la caña genera un fuerte impacto económico, técnico ambiental y social.

Palabras claves: efecto, materias extrañas, variables de eficiencia y pre-factibilidad económica.

Summary

SUMMARY

The present diploma work corresponds to an investigation, whose objective is to study the effect of foreign matter on sugar cane on the process efficiency variables in the UEB sugar factory "14 de Julio" To raise efficiency variables such as: sugar made, recovered and industrial performance. A "heuristic diagram" was used to represent the procedure of the proposed methodology. The main results of the research define that there is significant influence between the content of foreign matter and the variables of efficiency of the process and a technological proposal is obtained for cleaning the cane before entering the area of the jogger. The economic pre-feasibility under optimal conditions determined a NPV of 67 256 743,63 CUP, with a period of recovery of the investment in the first year and according to the sensitivity analysis, continues to be favorable up to 10 % variation in the Costs of sugar cane, and molasses. The proposal of a system of dry cleaning of the cane generates a strong economic, technical environmental and social impact.

Keywords: effect, foreign matter, efficiency variables and economic pre-feasibility.

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: Revisión Bibliográfica.	4
1.1 Industria azucarera en el mundo.	4
1.2 Industria azucarera en Cuba.	5
1.3 Caracterización de la materia prima principal.	7
1.4 Sistemas de cosecha de la caña de azúcar.	9
1.5 Materias extrañas en la caña de azúcar.	10
1.6 Clasificación de la materia extraña presente en la caña de azúcar.	11
1.7 Breve descripción del proceso de fabricación de azúcar crudo.	14
1.8 Efectos de las materias extrañas en las principales etapas del proceso de fabricación de azúcar.	16
1.9 Calidad del producto final.	19
1.10 Análisis de regresión y correlaciones.	19
1.11 Tecnologías que se aplican a nivel mundial para la limpieza de la caña de azúcar.	22
1.12 Empleo de mesas alimentadoras para la limpieza en seco de la caña a nivel mundial.	24
Conclusiones del capítulo	26
CAPÍTULO II: Efecto de las materias extrañas sobre las variables de eficiencia del proceso.	27
2.1 Caracterización de la Fábrica de Azúcar "14 de Julio"	27
2.2 Método utilizado en la investigación.	28
2.3 Obtención de la base de datos para el análisis estadístico.	30
2.4 Análisis mediante la regresión lineal simple.	32
2.5 Análisis mediante la regresión lineal múltiple.	34

2.6 Propuesta tecnológica para mejorar la limpieza de la caña de azúcar que entra al central por tiro directo al basculador. _____	36
2.7 Balance de materiales del proceso azucarero en la UEB “14 de Julio”. _____	40
Conclusiones del capítulo _____	46
CAPÍTULO III Evaluación económica. _____	47
3.1 Cálculo del costo del equipamiento. _____	47
3.2 Estimación del capital de inversión. _____	48
3.3 Estimación del costo de la materia prima, el precio de venta de los productos y el costo de operación de la mano de obra. _____	49
3.4 Estimación del costo de las utilidades. _____	50
3.5 Estimación del Costo Total de Producción anual al 100 % de capacidad. _____	51
3.6 Análisis de sensibilidad. _____	52
3.7 Indicadores dinámicos de rentabilidad. _____	52
3.8 Impacto técnico, económico, ambiental y social de la aplicación de la limpieza de la caña en seco sobre mesa alimentadora en la UEB fábrica de azúcar “14 de Julio”. ____	56
Conclusiones del capítulo. _____	58
CONCLUSIONES GENERALES _____	59
RECOMENDACIONES _____	60
BIBLIOGRAFÍA _____	
ANEXOS _____	

Introducción

INTRODUCCIÓN

El Central Azucarero “14 de Julio” se encuentra situado en el municipio Rodas, provincia de Cienfuegos a 74°39’ longitud oeste del meridiano de Greenwich y la 22°13’ latitud norte. En el anexo 1 se observa una vista satelital del central de estudio. Su actividad económica fundamental es la producción de azúcar crudo y paralelamente se obtienen ingresos por la venta de energía eléctrica, otros derivados (miel, cachaza y bagazo) y producciones agropecuarias.

La industria azucarera en Cuba está atravesando por un proceso de reordenamiento y redimensionamiento con el objetivo de alcanzar mayores beneficios tecnológicos, económicos, ecológicos y sociales impuestos por las condiciones económicas y medioambientales en que se desarrolla en la actualidad (Hernández, 2013).

Durante muchos años se mantuvo con un liderazgo indiscutible dentro del desarrollo de la economía nacional, sin embargo a mitad de la década de los ochenta, comenzaron a percibirse los primeros síntomas de deterioro debido fundamentalmente a que los mecanismos establecidos no incidían en el aumento y calidad de los procesos productivos de dicho sector. El proceso de agudización de los problemas en esta agroindustria ocurre con la crisis económica desatada en el país a causa del derrumbe de la URSS, en los años noventa.

Actualmente existen también relaciones adversas tales como: la pérdida de un mercado preferencial, el incremento del posicionamiento de los productos edulcorantes en el mercado mundial, la elevación significativa de los precios de los insumos necesarios para garantizar la industria azucarera, así como el recrudecimiento del bloqueo impuesto por Estados Unidos. Ante tal situación se deberá ir perfeccionando y rediseñando el sistema productivo cañero azucarero.

Las dificultades de financiamiento en Cuba, no permiten invertir en equipos modernos y eficientes, por tal motivo, las reparaciones efectuadas para iniciar la zafra recaen en los propios trabajadores agrupados en la Asociación Nacional de Innovadores y Racionalizadores (ANIR) con el fin de resolver los problemas presentados en las etapas del proceso de fabricación del azúcar y disminuir gastos por importaciones (Fach, 2015).

El rendimiento de la zafra azucarera depende del adecuado funcionamiento de los procesos de cultivo-corte-alza-tiro y molida, es decir el azúcar se produce en el campo donde se cultiva la materia prima principal y su calidad se garantiza si el proceso de llevarla hasta el central se realiza eficientemente con el mínimo posible del contenido de materias extrañas tanto de origen vegetal como mineral, ya que estas pueden provocar efectos indeseables sobre las variables de eficiencia y calidad en el proceso de obtención de azúcar (Hernández, 2013).

En correspondencia con esto se realiza este trabajo investigativo el cual se desarrolla en uno de los más importantes centrales azucareros de Cuba, el central “14 de Julio” y se establece lo siguiente:

Justificación del proyecto.

A solicitud de la empresa azucarera AZCUBA se requiere determinar a través del estudio de las impurezas en la caña, el efecto que estas tienen sobre las variables de eficiencia del proceso presentes en las etapas de zafra (2015-2016) y (2016-2017), teniéndose en cuenta los parámetros industriales y económicos.

Conveniencia.

La investigación emplea programas estadísticos y matemáticos (STATGRAPHICS 5.0 y Microsoft Excel), para proponer mejoras en la calidad del producto y un incremento de los rendimientos azucareros en la UEB central azucarero “14 de Julio”, ya que la unidad no cuenta con modelos que expliquen los resultados obtenidos y establezcan la solución de un manejo adecuado del flujo de caña a moler.

Relevancia social.

Al poder tener un mayor control en relación al efecto provocado por las impurezas en la caña sobre las variables de eficiencia y calidad del proceso, se hará más eficiente la obtención de azúcar crudo de alta pureza en tiempo real, lo que favorece a la reducción de daños al medio ambiente, ya que la propuesta tecnológica realizada contribuye entre otras acciones a eliminar gradualmente la quema de caña antes del corte, y por ende una menor afectación a la sociedad, la cual a su vez podrá disfrutar de un producto de mayor calidad.

Valor metodológico.

El trabajo tiene valor metodológico pues permite dejar registrados de diferentes formas los pasos a seguir para el monitoreo del proceso, el cual es útil para la producción en otros entornos similares.

Viabilidad.

El trabajo es viable, considerando que la unidad posee todas las condiciones materiales y humanas para el desarrollo del mismo, con la calidad requerida.

Problema de investigación:

No se dispone de un estudio actualizado en la UEB fábrica de azúcar “14 de Julio” acerca del efecto de las materias extrañas presentes en la caña sobre las variables de eficiencia del proceso.

Hipótesis:

Si se realiza un estudio del efecto de las materias extrañas en la caña sobre las variables de eficiencia del proceso, se dispondrá de una herramienta que permita lograr una disminución de las materia extrañas y con ello mejorar la calidad del proceso en la UEB fábrica de azúcar “14 de Julio”

Objetivo general:

Realizar el estudio del efecto de las materias extrañas en la caña de azúcar sobre las variables de eficiencia del proceso.

Objetivos específicos:

1. Establecer los fundamentos científicos que sustenten el tema de investigación.
2. Determinar el efecto de las materias extrañas en la caña sobre las variables de eficiencia del proceso.
3. Proponer mejoras tecnológicas para incrementar la eficiencia y la calidad en la producción de azúcar en “14 de Julio”.
4. Realizar la pre-factibilidad económica, ambiental y social.

Capítulo 1

CAPÍTULO I: Revisión Bibliográfica.

1.1 Industria azucarera en el mundo.

La industria azucarera ha sido por muchos años una fuente sobresaliente de sacarosa para la humanidad, disacárido de notables propiedades edulcorantes que ofrece una fuente importante de calorías (Ramos & Ravelo, 2014). Según (Martínez, 2014) la presencia en la región latinoamericana de industrias únicas y competitivas, en países como Brasil, México y Colombia, ofrecen prestigio a nivel mundial en la producción de azúcar de caña.

En Brasil, el cultivo de caña de azúcar ocupa lugar destacado en la economía nacional, es grande generadora de empleos con afiliación patronal, productora de alimentos, cogeneración de energía eléctrica, alcohol, combustibles y fertilizante, a parte de su preocupación con la conservación del suelo y el medio ambiente (Silva, 2013).

Brasil constituye el primer productor mundial de caña y de azúcar, el precio del bagazo con 50 % de humedad puede ser tan bajo como 11 USD/t, aunque el promedio está en la zona de 27 USD/t (Lodos, 2013). En (Rachid & Balieirob, 2016) se expresa que la caña de azúcar en Brasil está pasando por una transición de gestión que está llevando a la abolición de la quema antes de la cosecha. Sin quemar, se generan grandes cantidades de materias extrañas que se trasladan junto con el bulto de caña al central, por lo que se discute la utilización de esta biomasa en la industria para la generación junto al bagazo de la energía eléctrica.

En Colombia el sector azucarero se desarrolla en la cuenca del río Cauca. El empleo de fuerza laboral en los ingenios azucareros ha sido muy notoria; se caracteriza por tener sistemas de contratación directa, a término indefinido, lo que implica mayor estabilidad, mejor productividad, disciplina y consolidación de los derechos y deberes de los trabajadores y las empresas (Cerón, 2014).

Actualmente, la industria azucarera en Honduras, está formada por siete ingenios. Cuenta aproximadamente con 455 km² de caña, las cuales producen más de 800 000 t anualmente. Del total del área, el 49 % pertenece a la industria y el 51 % pertenece a los productores independientes (Fach, 2015).

Estos países entregan sus avances y oportunidades al mundo, se forjaron con los conocimientos de otros y Cuba influyó, de ahí, que la industria azucarera cubana también llegó a ser una referencia a nivel mundial por su dinámica productiva eficiente y el cultivo de la caña. En la tabla 1 se muestra datos de la producción de azúcar en toneladas de diversos países en varios años.

Tabla 1: Producción mundial de caña de azúcar en t/año.

Países	2006	2007	2008	2009
Brasil	477 410 656	549 707 328	645 300 182	689 895 024
India	281 171 800	355 519 700	348 187 900	285 029 000
China	93 306 257	113 731 917	124 917 502	113 745 502
México	50 675 820	52 089 356	51 106 900	-
Tailandia	47 658 097	64 365 482	73 501 610	66 816 446
Pakistán	44 665 500	54 741 600	63 920 000	50 045 000
Colombia	38 450 000	38 500 000	38 500 000	38 500 000
Australia	37 128 000	36 397 000	32 621 113	31 456 858
Filipinas	31 550 000	22 235 000	26 601 400	22 932 819
Indonesia	29 200 000	25 300 000	26 000 000	26 500 000
Estados Unidos	29 564 000	27 750 600	25 041 020	27 455 000
Argentina	26 450 000	29 950 000	29 950 000	29 950 000
Guatemala	18 721 415	25 436 764	25 436 764	-
Otros	215 585 057	221 451 081	225 186 756	127 946 216
Total	1 421 536 602	1 617 175 828	1 736 271 147	1 510 272 815

Fuente: (Fretes, 2011)

1.2 Industria azucarera en Cuba.

Se emprendieron programas de desarrollo, vale mencionar la transformación de los sistemas de manipulación y embarque de azúcar, la implantación de decenas de plantas industriales para la producción de derivados y el desarrollo de un conjunto de instituciones de investigación y desarrollo capaces de apoyar la aplicación y asimilación de nuevas tecnologías (Rosales, 1999).

Las principales modificaciones tecnológicas realizadas en esta industria son las siguientes:

- Se automatizaron la alimentación de caña a plantas de moler, para lograr la estabilidad del proceso tecnológico.
- Se montaron tolvas Donnelly para lograr alimentación forzada en los molinos, lográndose setting más ajustados y aumento de eficiencia y capacidad.
- Se eliminaron desmenuzadoras, lográndose disminuir la potencia instalada en 20,5 MW.
- Se automatizó la limpieza con vapor en plantas de moler, para disminuir las pérdidas de azúcar por infección en molinos. De una caída de pureza mayor de 2,50 se lograron valores menores de 1,50.
- Se disminuyó la existencia de masas de tercera por medio de la modificación de cristalizadores por varias vías:
 - a) Cambio del sistema de enfriamiento por agua al de aire.
 - b) Introducción de cristalizadores verticales.
- Modificación en la alimentación de las centrífugas de tercera para aumentar su eficiencia y capacidad.

En fábrica de azúcar UEB “14 de julio”, las transformaciones tecnológicas fueron la instalación de un tándem completamente electrificado y una planta eléctrica con capacidad nominal entre 6,5 - 8 MW. En la zafra 2004 se monta una caldera “Reto” de 60 t/h y un sistema de autómatas para todo el bloque energético.

En lo que respecta al ahorro de agua y cuidado de medio ambiente se instaló una estación de recuperación de agua que permitió disminuir el consumo de agua por debajo de los 0,6 m³/t de caña y mantener establemente la temperatura de alimentación a las calderas (Ramos & Ravelo, 2014).

La caña de azúcar es una materia prima con características relevantes que la sitúan como la planta comercial de mayores rendimientos en materia verde, energía y fibra, obtenidos en ciclos de tiempo menores que otras especies. La misma es adaptable a diferentes tipos de climas y posee una importancia económica meritoria en el campo de la industria alimenticia mundial, es un pasto gigante emparentado con el sorgo y el maíz en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el

azúcar; alcanza entre 2 y 5 m de altura y entre 2 y 5 cm de diámetro. Se conocen diversas variedades cultivadas, que se diferencian por el color y la altura del tallo (Sejías, 2001).

La caña de azúcar no tiene características que puedan considerarse constantes en su composición, ya que esta puede variar debido a diferentes factores tales como: variedad, edad, época del año, condiciones del cultivo, tipo de suelo, tiempo de corte, influencia de las materias extrañas, condiciones higiénicas de la fábrica, eficiencia y disciplina del proceso industrial, entre otros, lo que hace que la materia prima a la entrada del central posea diferentes características, que afectan la calidad del azúcar recuperable (Pérez, 2012)

1.3 Caracterización de la materia prima principal.

La azúcar en el mundo es obtenida de dos fuentes principales: la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) o a partir de la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L), mediante los procedimientos industriales convencionales. Para su obtención se requiere de un largo proceso, desde que la semilla germina hasta que el azúcar se comercializa mediante procedimientos industriales tradicionales (Brito, 2013).

En Cuba la azúcar es obtenida a partir de la gramínea, las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. El jugo de la caña de azúcar posee una composición que se muestra en la tabla 2. La tabla 3 resume la composición total de la caña de azúcar:

Tabla 2: Composición del jugo en % peso.

Sacarosa(azúcar)	12-20 %
Sustancias no-azúcar	2-3 %
Agua	76-84 %

Fuente: ("Manual de Información Técnica," 1990)

Tabla 3: Composición de la caña de azúcar en % peso

Componente	Valores medido en % peso
Azúcares totales	10,0 a 15,0
Fibra en caña	11,0 a 16,0
Agua	70,0 a 75,0
Sales	≈ 0,5
Cuerpos nitrogenados	≈ 0,4
Ceras, grasas y ácidos	≈ 0,6

Fuente: Elaboración propia.

La calidad de la materia prima, en cualquier fábrica, es un factor fundamental a considerar, cuando se analiza algún problema surgido en el proceso de producción. En el caso de la materia prima caña, la calidad de la misma, a su vez, depende en gran parte, del proceso de producción agrícola, cosecha y transporte (Tonatto & Romero, 2005).

La introducción de la mecanización en todas las labores de cultivo y cosecha de la caña, si bien ha representado un notable incremento de la productividad y ha contribuido a humanizar el trabajo de las actividades de la zafra, también ha traído aparejado un incremento en los niveles de materias extrañas y una mayor posibilidad de que se produzca el deterioro de la caña, la cual al ser trozada por las máquinas por pedazos pequeños, está más expuesta al ataque de los microorganismos que destruyen el azúcar contenido en la caña ("Manual de Información Técnica," 1990).

Los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostocmesenteroides* y *L. dextranicum*, afectan la calidad de la materia prima después del corte. Estas bacterias dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como alimento, por lo que ocurre pérdidas de la misma lo que afecta la calidad en el proceso de obtención de azúcar (Larrahondo, 1995).

La materia prima ha de satisfacer un conjunto de requisitos mínimos de calidad para que la industria al procesarla adecuadamente, sea capaz de desarrollar una producción estable de calidad y eficiente (Mesa, 2013).

Contenido de azúcar y madurez de la caña.

- Variedades productoras de azúcar y resistentes a las enfermedades.
- Jugos de fácil clarificación.
- Contenido de fibra sea aproximadamente igual al de su pol.
- Edades y programación de la cosecha.
- Índice de madurez (Brix superior del tallo/ Brix inferior del tallo) debe ser de 0,85 a 1.

Otro aspecto de gran importancia en la calidad de la materia prima radica en los llamados desfases, tanto de cañas inmaduras como cañas quemadas, así como la fertilización nitrogenada fuera de tiempo, que por haber sido tardíamente asimilada, origina jugos de baja calidad, difíciles de clarificar, afectando el producto final (Castillo, 2015).

1.4 Sistemas de cosecha de la caña de azúcar.

La cosecha de la caña de azúcar se realiza con diferentes métodos que dependen de una serie de factores como topografía, condiciones del terreno, características climáticas, nivel tecnológico, disponibilidad económica, contexto social, entre otros. La definición de los criterios más apropiados para llevar a cabo la cosecha es una parte fundamental de los paquetes tecnológicos requeridos para disminuir los costos en esta área (Herrera, 2010).

El proceso inicia con el corte de la caña que puede hacerse de diferentes tipos, por su rendimiento y eficiencia. Los que más se utilizan son el corte manual con alce mecanizado y el corte y alce mecanizado. Para facilitar la labor del cortador y eliminar en buena proporción la biomasa formada por las hojas, se procede a la quema de los cañaverales. También se realiza, aunque en mínima parte, corte en verde que también puede hacerse en forma manual o mecanizada (Águila, 2015).

A lo largo de los años se ha ido incrementando paulatinamente la cosecha mecanizada integral con cosechadoras que hacen varias operaciones tales como corte, picado de los tallos (troceado), limpieza de la caña y cargue al equipo de transporte. Todo ello con el fin de posibilitar el corte de caña en verde, ante la dificultad de hacerlo en forma manual (García, 2014).

El corte mecanizado integral de la caña de azúcar está en función de las siguientes variables: diseño de campo, atributos de las variedades, la máquina cosechadora, el operario de la máquina, el mantenimiento de la máquina y la logística del corte y del transporte (Mantilla, 2010).

Cuando se procesa caña verde mediante el sistema de cosecha mecanizada se introducen a las fábricas de azúcar niveles elevados de materias extrañas, incrementándose la cantidad de impurezas que tienen influencia sobre diversos parámetros en el jugo de caña de azúcar, tales como Brix, pol, pureza, azúcares reductores, cenizas, almidón y aquellos compuestos que aportan color. En la tabla 4 se establece una comparación entre el cosecha manual vs mecanizado.

Tabla 4: Comparación entre cosechas mecanizada y manual.

Variable	Cosecha manual		Cosecha mecanizada	
Materia extraña	En caña verde: 2 - 4 %		En caña verde: 10 - 12 %	
	En caña quemada: 1,5 – 2 %		En caña quemada: 8 – 10 %	
Corte en verde	Mayor dificultad para el corte en verde.		Menor dificultad para el corte en verde.	
Manejo de residuos	Difícil manejo de residuos del corte en verde.		Fácil manejo de los residuos del corte verde y quemando.	
Tiempo de permanencia	Alto tiempo de permanencia: 25 h – 40 h.		Bajo tiempo de permanencia: 4 h – 10 h.	
Despaje	Requiere celeridad en el despaje para no afectar el rebrote de la cepa.		Requiere prontitud en el despaje para la labor de repique.	
Eficiencia	Rendimiento del cortero:		Rendimiento de la cosechadora:	
	Caña semi-limpia	2 – 4 t/hombre/d	Caña semi-limpia	24 – 25 t/h
	Caña quemada	5 – 7 t/h/d	Caña quemada	26 – 28 t/h
Manejo de información	Manejo complejo de la información por cada cortero (calidad, rendimiento y pago por nómina).		Menor complejidad en el manejo de la información.	
Otros	Requiere de supervisión para evitar accidentes y garantizar la calidad. Alto costo de la labor. Residuos de la caña seca pueden llegar a la fábrica en el siguiente corte.		Requiere supervisión para garantizar la calidad del corte (materia extraña y rendimiento). Exige variedades apropiadas y adecuación de los campos. No se puede almacenar por períodos largos. Menor costo.	

Fuente: (Mantilla, 2010).

El tema de la influencia de las materias extrañas sobre el desempeño de las fábricas azucareras ha sido objeto de estudio en el sector azucarero mundial (Hernández & Beltrán, 2014).

1.5 Materias extrañas en la caña de azúcar.

Según (Porrás & Alfaro, 2006) en su definición de materias extrañas incluye toda hoja y cogollo de caña, barro, tierra, raíces, piedras y metales entregados con la misma. Puede ser clasificada en dos grupos: las de origen vegetal y las de origen mineral. La materia prima ideal es la caña limpia cortada a ras de tierra y a la que se le ha separado el cogollo.

Las materias extrañas constituyen un excelente recurso de biomasa en los países productores de azúcar en todo el mundo. La cantidad de materias extrañas en la caña depende de la variedad de la planta, la edad del cultivo en la cosecha y el suelo y las condiciones climáticas. Típicamente representa aproximadamente el 15 % de la biomasa total sobre el suelo en la cosecha (Zafar, 2015).

Sin embargo, la introducción del corte mecanizado y el corte manual para el centro de Acopio ha dado lugar a que la caña llegue al central acompañada de impurezas como: cogollo, hojas, raíces, cañas secas, renuevos, piedras, es decir por materia extrañas (Alfaro, 2003).

1.6 Clasificación de la materia extraña presente en la caña de azúcar.

Materia extraña de origen vegetal

1. Cogollos

Según (Fors, 1997), el cogollo o despunte es la porción superior no molible del tallo de la caña de azúcar, que tiene un desarrollo vegetativo muy activo, el cual puede contener jugo con sacarosa pero en concentraciones no extraíbles por la fábrica desde un punto de vista estrictamente económico.

Los cogollos son los componentes vegetales por lo general más abundantes (aproximadamente 60 %) entre las diferentes fracciones que acompañan a la caña; favorecen además el ingreso de microorganismos a la fábrica, así como también agua, cenizas y no azúcares, los cuales provocan que el azúcar recuperable sea menor, aumentando por el contrario los contenidos de melazas y reduciendo la cristalización (Domínguez & Cárdenas, 1981).

Estos introducen una mayor cantidad de no azúcares, la elevada concentración de las sustancias nitrogenadas y las cenizas en el cogollo, sin dudas tiene un efecto en la disminución del rendimiento industrial y de la capacidad de agotamiento de las mieles finales, que aún no ha sido cuantificado, y deberá ser tema de futuras investigaciones. El cogollo es la más dañina de las materias extrañas, por su peso y en la fábrica tienden a disminuir el °Bx, la pureza, y elevan el contenido de fibra, influyendo en las pérdidas en bagazo.

2. Hojas secas, verdes y pajas

Para (Domínguez & Cárdenas, 1981), las hojas secas aumentan el contenido de fibra y actúan como verdaderas esponjas que absorben el azúcar, trasladando y aumentando la cantidad presente en el bagazo. Por su parte, las hojas verdes tienen efectos similares a los causados por los cogollos; por ejemplo, un alto contenido de cenizas y una baja pureza de los jugos. (Fors, 1997) señalan al respecto, que el contenido de fibra aumenta en 0,3604 % por cada porciento de hojas que ingresa con la caña al ingenio.

Este tipo de materias extrañas dificultan la extracción en el molino y crea trastornos a la clarificación. La paja seca aumenta la cantidad de fibra y actúa como una esponja que absorbe el jugo, por consiguiente, aumenta la retención de azúcar en el bagazo, baja la calidad del combustible, afecta la combustión (Pérez, 2012).

3. Raíces

Las raíces ya sean aéreas (adventicias) o pertenecientes a la base de la cepa, son materiales con alto contenido de fibra que prácticamente no contiene azúcar, razón por la cual ocasionan serios problemas durante la molienda y el procesamiento de la caña (Fors, 1983).

Estudios realizados en El Salvador con el objeto de implementar un método justo de pago de la caña a sus trabajadores en este sector, de acuerdo con su calidad, (Fors, 1997) demostraron que por cada un porciento de raíces que ingresa con las cañas al ingenio, hay asociado un incremento de 0,54 unidades en el contenido de fibra.

4. Tallos secos

La presencia de este tipo de material al igual que las hojas que acompañan naturalmente a la caña, es desde todo punto de vista indeseable, por el volumen que ocupa en las carretas que transportan la materia prima de caña al ingenio. Representa un costo neto importante que no genera ningún beneficio complementario.

Como problema para manipular esta clase de basura dentro del ingenio, (Palacio, 1986) menciona que estas impurezas presentan dificultades en el agarre para la alimentación de los molinos; además de que son difíciles de moler por su relativo bajo contenido de fibra. Por el hecho de no contener azúcar, al mezclarse con la caña y su jugo, atrapan sacarosa que consecuentemente se pierde en el bagazo sin recuperación alguna.

Los tallos secos tienen fibras cortas, las cuales no se deslizan fácilmente en los molinos y producen tacos o atascamientos en los mismos, lo cual de acuerdo con (Palacio, 1986), reduce la eficiencia de molienda, aumenta la cantidad de bagazo y por ende, incrementa las pérdidas de azúcar en el proceso.

5. Restos de cepas

Una cepa se define como el conjunto de tallos perteneciente a una misma planta de caña, que poseen su propio sistema radicular. La cepa está constituida por tallos tanto industrializables como no industrializables y por tanto sin valor económico.

6. Mamones

Son retoños o renuevos de la cepa que surgen después de que la mayoría de los tallos han alcanzado su desarrollo normal; generan una caña gruesa, succulenta, por lo general no mayor de 1 m de altura y muy pobre en concentración de azúcar y limitado interés comercial, por lo que no son industrializables ni deseables.

Para algunos investigadores los mamones deben normalmente clasificarse y ubicarse conjuntamente con los cogollos. (Barreto, 1991) afirma por su parte al respecto, que debido a que los mamones son caña tierna y contienen alguna cantidad de azúcar, la caída del rendimiento es menor que la provocada por los cogollos que, a diferencia de los mamones, son puras hojas verdes que no contienen azúcar.

Materia extraña de origen mineral

1. Tierra, piedras y arena

Esta clase de impurezas se presentan por lo general cuando la caña es cosechada y cargada mecánicamente. Para (Fors, 1983), estos materiales son los más indeseables que pueden acompañar a la caña, esto desde el punto de vista físico y mecánico.

Es de vital importancia tener claro que el sistema de corte por sus características, siempre incorporan una gran cantidad de materias extrañas, sin embargo, a los basculadores llega un exceso de impurezas, el cual se produce por mal trabajo, por descuido o por no cumplir con lo que está establecido, y es en ese exceso donde debemos poner el énfasis especial para eliminarlo.

No se justifica su entrada a la fábrica. La tierra que ellos llevan causa serios problemas en la molienda, acelera el desgaste en los equipos preparatorios de la fábrica (tren de molinos, tamices y tuberías) la arena y el cieno causan diferentes problemas a la combustión, tendiendo a que se apague el horno, dificulta la clarificación, influyendo en la calidad del azúcar.

El exceso de materias extrañas se puede producir por:

- Irregularidad en el campo al no ser lo suficientemente llanos y sin rocas para la operación segura de las combinadas y el equipo de transporte.
- La alzadora levanta la caña directamente del suelo, de tal forma que destruye una gran cantidad de cepas y, por otro lado, la tierra, piedras y residuos de cosecha se incorporan al bulto de la caña.
- Incorrecta limpieza de las cuchillas picadoras de las combinadas.
- Mal trabajo de los ventiladores de las combinadas por lo que no se logra la separación mecánica de la mayor cantidad de la tierra.
- La altura de corte que incorpora cogollos.

Efectos que provocan el exceso de materias extrañas.

- a) Reducen virtualmente la capacidad de molienda de la fábrica.
- b) Aumentan el tiempo de zafra.
- c) Aumentan el costo de producción.
- d) Reducen el índice de rendimiento en azúcar.
- e) Incrementan la fibra.
- f) Disminuyen la pureza en los jugos.
- g) Incorporan al proceso el almidón, sustancia que afecta la calidad del azúcar y la eficiencia industrial.
- h) Incorporan al proceso sustancias insolubles y coloides, difíciles de eliminar.

1.7 Breve descripción del proceso de fabricación de azúcar crudo.

Una vez recogida la caña en el basculador, se prepara para su molienda. La caña se descarga en una estera, por medio de la cual se conduce hasta los molinos. En esta estera están colocados los niveladores (gallegos) que ordenan la caña. Después, mediante cuchillas giratorias, se corta en trozos, los cuales pasan a la desmenuzadora, que los rompe y aplasta

extrayéndoles entre el 50 y el 60 % del jugo que contienen. El tren de molinos o tándem está formado por cinco molinos los cuales tienen distintas presiones con el objetivo de extraer la mayor cantidad de jugo posible mediante agua de imbibición entre 65 y 70 °C, excepto en la primera unidad de extracción donde se obtiene jugo primario que es un jugo puro sin agua (López, 2005).

El guarapo extraído corre por canales hacia coladores de bronce, el bagacillo que se deposita en estos coladores se descarga en la misma estera que conduce el bagazo. El guarapo colado, procedente de los molinos, se pesa antes de introducirlo en el tanque de alcalizar, donde se le añade lechada de cal para neutralizar la acidez natural del guarapo. El guarapo alcalizado cuyo pH se encuentra entre 7,6 y 7,8 aproximadamente se bombea a los calentadores, para favorecer la reacción química del óxido de calcio con la sacarosa formando el sacarato de calcio (Batule, 2001).

El jugo después de calentado llega hasta el tanque flash donde se logra que se pierda la temperatura de ebullición. Luego pasa al clarificador donde se separa de la cachaza el guarapo. La cachaza se bombea hacia los filtros rotatorios al vacío con el objetivo de extraerle el guarapo que arrastra. El jugo clarificado pasa por un colador de jugo clarificado y luego llega al área de evaporación. El guarapo clarificado, que contiene un 85 % de agua, pasa a los evaporadores de múltiple efecto en donde se concentra, por evaporación al vacío, hasta obtener un jarabe de color amarillo llamado meladura. En esta área se evapora un 70 % del agua de jugo y el guarapo pasa de 14 Brix a 65 Brix (Rein, 2012).

La meladura procedente de los evaporadores se bombea a los tanques de alimentación de los tachos. Los tachos (seis en total) son evaporadores de un solo efecto, en los cuales se concentra la meladura hasta que se alcanza un punto óptimo, lo que significa que se han formado numerosos cristales pequeños. Después se añade más meladura en pequeñas proporciones y los núcleos van creciendo a medida que se depositen cristales de azúcar sobre ellos. Cuando el tacho está lleno y a punto, se descarga la masa semisólida, que se llama melaza y se completa la cristalización (Hugot, 1963).

Después de la cristalización se obtiene: grano fino virgen, grano fino mejorado y masa cocida C (azúcar de tercera). Las masas pasan de los cristalizadores a los mezcladores y después a las centrífugas para separar la miel del producto final formado por cristales de

azúcar crudo a través de la adición de agua caliente (Honing, 1987).

Luego se envía de nuevo a los tachos para hacer masa cocida B y se realiza el mismo proceso hasta obtener masa cocida A (azúcar de primera) la cual sale a la estera conductora y cae en la tolva de azúcar, una parte de esta es exportada y la otra se utiliza en el consumo nacional. En el anexo 2 se representa el diagrama de flujo del proceso de obtención de azúcar crudo.

1.8 Efectos de las materias extrañas en las principales etapas del proceso de fabricación de azúcar.

1. Molienda:

Para (Hernández, 1987), la presencia de materias extrañas adheridas a la caña afecta de manera considerable las condiciones higiénicas de la estación de molienda, creando focos de contaminación en el tándem muy difíciles de eliminar, y la proliferación de microorganismos en los jugos de forma acelerada si las condiciones son propicias para ello.

2. Purificación:

En la alcalización se puede decir que como se ha explicado estos no azúcares pueden afectar la reacción de alcalización al producir por combinaciones con la misma otros productos derivados de acciones complejas de sustancias orgánicas con el calcio además de reacciones de productos inorgánicos que forman precipitados incrustantes, los cuales afectan la transferencia de calor durante el resto del proceso así como la fortaleza de los flóculos que atrapan las impurezas y características de los jugos respecto a su capacidad buffer es decir al cambio de pH lo que si resulta alta por jugos de mala calidad, se acentúa los consumos de cal nocivos en el resto de las áreas por ello estos productos no azúcares deben ser mínimos.

Los productos orgánicos a eliminar crecen con el contenido de materias extrañas y dado su diversidad y disímiles valores de pH donde precipitan deben ser evitadas con el control de su entrada al proceso dado su incidencia sobre la viscosidad y las afectaciones que provocan por reacciones complejas que producen compuestos formadores de miel y con colores oscurecidos provocando las alteraciones del color y calidad del azúcar así como su capacidad de conservación durante el almacenamiento. En el calentamiento aumentan la producción de incrustaciones (Batule, 2001).

En la clarificación producen afectaciones en la velocidad de sedimentación que disminuye la capacidad de molienda de este equipo, más si es de tipo bajo tiempo de residencia y con altos consumos de floculante para contrarrestar este efecto. Altos niveles de cachaza y dificultosa operación con posibles revolturas que afectan el contenido de insolubles en azúcar de no ser estrictos con la vigilancia del equipo.

3. Filtración:

Ocasionan pérdidas en cachaza por altos volúmenes de esta y su poca concentración, así como anormales características de sus componentes que afectan el mezclado con el bagacillo.

4. Evaporación:

Producen altas afectaciones por incrustaciones y un incremento atípico de los reductores, dado al alto contenido de estos formados por deterioro de la sacarosa por mala acidez del jugo dado los no azúcares que aceleran las reacciones de inversión.

5. Cristalización:

En esta área es donde mayores efectos indeseables pueden ocurrir. Entre ellos se puede citar el aumento de viscosidad en la cocción de las masas que dificulta la circulación en los tachos provocando mayor gasto de vapor poca uniformidad de los cristales y bajo agotamiento de las masas. Provocan incremento del color de los productos azucarados dado la reacción de los aminoácidos con el calcio en presencia de calor, así como otras reacciones complejas entre productos orgánicos que afectan este parámetro en el azúcar y obliga a un mayor uso de agua de lavado, no obstante queda una proporción ocluida en el cristal. También pueden provocar aumento de las pérdidas por inversión de sacarosa dado el alto contenido de acidez de los materiales provocando pérdidas por este concepto y la alteración de los parámetros de operación de las masas impidiendo llegar a los valores óptimos que permiten obtener la eficiencia deseada.

6. Centrifugación:

En esta área los no azúcares afectan la viscosidad de la masa a purgar que con un cristal fino, poco uniforme provoca ciclos de centrifugación mayores de los estipulados, reflejados en tiempos de espera más largos para garantizar una separación más completa del azúcar y

la miel, de lavado más intenso del azúcar para cumplir con la pol y tiempos de centrifugación mayores para secar, por tanto se afecta la capacidad de molida de esta área al convertirse en un cuello de botella además de generar mayor cantidad de miel que afecta a la fábrica en general así como sus existencias y balance energético (Pérez, 2012).

En el anexo 3 se resume en un diagrama de Ishikawa o también denominado diagrama de causa – efecto lo expresado anteriormente acerca del efecto de las materias extrañas sobre las etapas del proceso de obtención de azúcar.

Estudios realizados han demostrado que el aumento del porciento de materias extrañas que acompañan a la caña afecta técnico-económicamente al central azucarero. En la tabla 5 se muestra las toneladas de azúcar perdidas por toneladas de caña molida diaria para uno, dos y tres porcientos de materias extrañas por encima de la norma según normas potenciales. Es decir se observa como el incremento del porciento de materias extrañas afecta significativamente a las toneladas de azúcar que se producen, señalando que el incremento ocurre de esta forma para una misma capacidad de molida del central, no comportándose de igual manera en otra situación. Se puede afirmar que por cada 1 % de materia extraña entrada al ingenio se pierden 1,5 kg de azúcar por toneladas de caña procesada.

Tabla 5: Toneladas de azúcar perdidas por toneladas de caña molida diaria con un porciento determinado de materias extrañas por encima de normas potenciales.

Caña molida (t/d)	Azúcar para 1 % de materias extrañas sobre norma (t)	Azúcar para 2 % de materias extrañas sobre norma (t)	Azúcar para 3 % de materias extrañas sobre norma (t)
6 000	9,0	18,0	27,0
7 000	10,5	21,0	31,5
8 000	12,0	24,0	36,0
9 000	13,5	27,0	40,5
10 000	15,0	30,0	45,0
11 000	16,5	33,0	49,5
11 500	17,3	34,5	51,8
12 000	18,0	36,0	54,0

Fuente: (Pérez, 2012)

1.9 Calidad del producto final.

El producto principal que se obtiene en un central azucarero es la obtención de azúcar, la cual para su comercialización debe cumplir con las normas de calidad establecidas. El azúcar sufre respecto a sus parámetros de calidad, reflejado en altos contenidos de reductores, almidón y dextrana así como cenizas y otros compuestos lo que afecta su estabilidad química causando deterioro de esta, además de que la humedad del producto puede verse afectada y dado su relación con los no azúcares puede afectar el factor de seguridad que garantiza la capacidad de almacenamiento. Los valores de pol obtenidos en producciones de alto contenido de materias extrañas son por lo general muy cercanos a los valores límites normados y existe una tendencia a ser difíciles de mantener produciéndose reiterados incumplimientos.

1.10 Análisis de regresión y correlaciones.

Dos variables estadísticas se dicen dependientes cuando el conocimiento de que se ha presentado una determinada ocurrencia en una de ellas condiciona en algún sentido el valor que pueda tomar la otra. La teoría de regresión permite hacer predicciones del valor que tomará la variable dependiente conociendo el valor que toma la variable independiente, sustituyendo el valor de esta última en la función de regresión. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que las predicciones tienen mayor validez si se consideran valores de la variable cercanos a su media. Conforme los valores estén más alejados de la media más arriesgada será la predicción (Huertas & Patiño, 2005).

El software Statgraphics analiza ampliamente el tema de la regresión. Aporta procedimientos para regresión simple lineal y no lineal. Los procedimientos simples a utilizar se implementan en la opción Dependencia de la barra de menú principal. La opción Dependencia / Regresión Simple resuelve un modelo de regresión con una sola variable independiente, utilizando el ajuste por mínimos cuadrados. Se puede representar gráficamente la línea de ajuste y los residuos para todos los modelos (García, 2002).

El procedimiento análisis multivariable está diseñado para resumir dos columnas o más de datos numéricos, calcula estadísticos de resumen para cada variable, así como las varianzas y correlaciones entre las variables. Las gráficas incluyen una matriz de dispersión, gráficas

de estrella y de rayos. Este procedimiento es usado frecuentemente antes de construir un modelo de regresión múltiple.

Para mejorar el modelo de regresión simple es necesario añadir otros predictores. Esto se logra más fácilmente usando el análisis de regresión múltiple, que puede encontrarse en el menú principal del software Statgraphics (García, 2002).

Principales variables independientes y dependientes que se analizan en la industria azucarera.

Entre las principales variables que se analizan en la industria azucarera se pueden citar: la cantidad de caña que se muele y el % de impurezas con que entra la caña al central. Tales impurezas son: % de tierra, % cogollo y paja. Se analizan además las variables de eficiencia tales como: rendimiento industrial, recobrado, % pol del azúcar producto, pérdidas de azúcar en miel final, toneladas de azúcar que se produce, entre otras. Estas últimas variables dependen de las primeras con gran significación.

Rendimiento.

Para lograr que la operación en el ingenio sea rentable se tendrá que producir al menos con el mismo rendimiento que el potencial productivo por el cual tiene que pagarse la materia prima al cañero. En aquellos casos en que como se muestra en la tabla 6, la eficiencia de la industria logra sobrepasar el potencial productivo, se obtienen ganancias adicionales muy atractivas porque los 7,40 kg de azúcar adicionales no se le consideran el 50 % por concepto de pago de la materia prima.

Tabla 6: Rendimiento industrial de un central.

Rendimiento industrial del ingenio			Comentarios sobre los resultados obtenidos
% en peso	kg de azúcar por t de caña.	Comparación con AR	
10,00	100,00	- 17,60	Ingenio ineficiente
11,76	117,60	00,00	Ingenio eficiente
12,50	125,00	7,40	Ingenio muy eficiente

Fuente: (MINAZ, 1996)

Para el caso de la industria cubana el análisis tiene igual significado, aún cuando no se estipula el pago por calidad, a partir de considerar que el ingenio no es eficiente si el

rendimiento industrial obtenido es inferior al que se calcula por el análisis de los jugos de la desmenuzadora. El cálculo del Azúcar recuperable (AR) puede efectuarse a través de la fórmula representada en la figura 1.

$$AR = P_{JD} * \left(1 - \frac{F + 5}{100}\right) * \left(1 - \frac{P_{MF}}{P_{JM}}\right) * \frac{P_A * E}{96 * (P_A - P_{MF})}$$

P_{JD} = Pureza del jugo mezclado. E = Extracción de pol.
 P_{MF} = Pureza de la miel final. F = Fibra en caña.
 P_A = Pureza del azúcar.

Figura 1: Ecuación de análisis de los jugos de la desmenuzadora. Fuente: (MINAZ, 1996)

La Industria Azucarera Cubana ha establecido el concepto de Rendimiento Guía como un parámetro para conocer en que parte del proceso de cosecha y transporte hasta el basculador se pierde el azúcar a partir de la diferencia entre este y el rendimiento por los jugos. Es válido reiterar que el % de materias extrañas repercute en el rendimiento industrial de forma significativa (MINAZ, 1996).

Pérdidas de azúcar en la miel final.

La mayor pérdida de azúcar que se produce durante el proceso industrial es por miel final, y está influenciada tanto por la formación como por la pureza de las mismas. Estas pérdidas se pueden reducir si se eliminan una serie de fallas operacionales causadas por indisciplinas tecnológicas realizadas a lo largo del proceso de fabricación (Beyra, 2016).

Desde el siglo XX se demostró que los centrales cubanos presentaban caídas de purezas de masa a miel entre 25 y 30 puntos en la masa cocida de tercera. En la provincia de Matanzas se observaron muy pocas empresas azucareras con caídas de purezas superiores a 25 puntos. Estudios realizados en otras provincias muestran comportamientos similares, lo que indica las pérdidas de eficiencia a lo largo de todo el proceso de producción y pérdidas de azúcar por concepto de miel final (Suárez, 2010).

La pureza de la miel final se determina a través de la relación entre el % de Pol y el Brix de la miel. Hay varios factores que inciden en la obtención de tal resultado como, la relación reductores-cenizas (índice de agotamiento), el cual se afecta cuando los reductores no se conservan en el proceso ocasionando que se obtengan valores por debajo de 2, por lo que se

puede afirmar que cuando estos valores están entre 1,8 y 2 el índice de agotamiento es regular y por debajo de 1,8 es malo afectando la pureza de la miel final y aumentando las pérdidas de azúcar (Beyra, 2016).

Recobrado.

Es de interés disponer de metas para evaluar y comparar la eficiencia, aspecto que se dificulta en los centrales azucareros debido a la alta variación de la calidad de la caña. Para afrontar la complicación se utilizan variables entre las que se encuentran la extracción reducida de las plantas moledoras y la pureza meta de la miel final, indicadores que mucho tienen que ver con la recuperación de azúcar en el proceso. El uso de estos indicadores y de otros relacionados con el contenido de impurezas en el jugo y su calidad, constituye importante soporte para establecer metas de la recuperación de azúcar en las fábricas. El recobrado se define como el porcentaje de sacarosa extraída del jugo caña transformable en azúcar en el central.

Se reporta (Rein, 2007) para el cálculo de la extracción reducida el uso de una fórmula que considera estandarizar los % de fibra y de pol en caña. En el caso de la pureza meta de la miel final, el propio autor aporta información sobre varias fórmulas que dependen, en buena medida, de las técnicas analíticas usadas. También puntualiza que ecuaciones derivadas de técnicas analíticas similares pueden ser extendidas a diferentes contextos.

1.11 Tecnologías que se aplican a nivel mundial para la limpieza de la caña de azúcar.

- Sistema de limpieza tradicional con agua.
- Sistema de limpieza de caña en seco sobre mesa alimentadora.
- Sistema de separación de materia mineral de la caña.
- Sistema de separación de tierra y picado de materia vegetal.

Existen dos tipos de sistemas de limpieza de la caña en seco. En el primero los ventiladores se encuentran debajo de la mesa alimentadora y la cámara de expansión está en frente de la mesa y el segundo sistema los ventiladores se encuentran en frente de la mesa alimentadora y dirigen el aire hacia abajo en la misma dirección de la caña. La cámara de expansión se encuentra debajo de la mesa y parte del conductor de caña (Vélez, 2010).

Según la consulta bibliográfica un mesa alimentadora se define como una mesa de doble ancho y doble eje motriz en tándem para la limpieza en seco eficiente de la caña, con un 25° de inclinación. La limpieza en seco de la caña se lleva a cabo por el golpeteo de la caña contra un deflector provocado por un eje pateador, donde la tierra se logra separar en un conjunto de rodos. La figura 2 muestra tal sistema de limpieza.

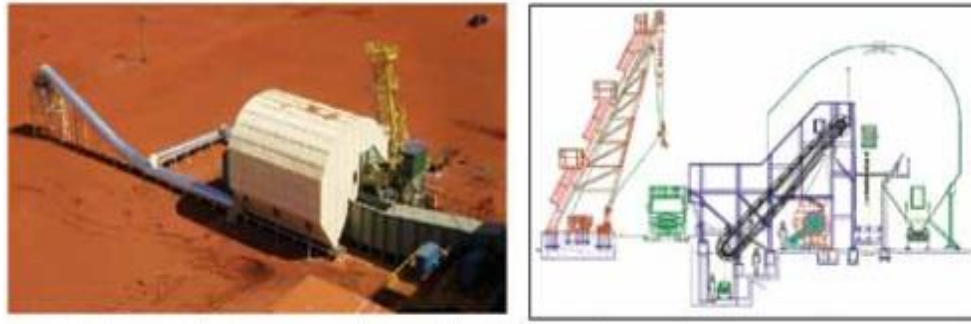


Figura 2: Sistema de separación de materia mineral. Fuente: (Vélez, 2010)

La mesa alimentadora recibe la caña de los camiones por medio de los descargadores y la alimenta al conductor auxiliar. La estructura de la mesa tiene un área proyectada de 14,63 m de ancho por 17,07 m de longitud y está fabricada con columnas y vigas WF (viga de acero perfil “I” o “H” según el estándar americano) y forradas con lámina de hierro negro (Jiménez, 2015).

Las mesas tienen una cubierta sólida y sistemas de cadena que arrastran la caña hasta la descarga. En la mayoría de casos se requiere de dos o más conductores alimentadores diferentes, para suministrar suficiente caña al sistema de tasas de molienda elevadas. Un nivelador se localiza en la parte superior del conductor; este consiste de un eje rotativo lento, provisto de brazos radiales que aseguran que la caña caiga suavemente desde el extremo de la carga del conductor, evitando así que caiga una gran cantidad de caña junta (Jiménez, 2015).

En un ingenio se encontró un sistema de separación solo de materia mineral, el cual consiste de un gran tamiz rotativo de 5 m de diámetro x 20 m de longitud (Vélez, 2010), como se puede observar en la figura 3.



Figura 3: Sistema de separación de materia mineral. Fuente:(Vélez, 2010)

- Sistema de separación de tierra y picado de materia vegetal.

Este sistema se centraliza en una torre cuya parte superior se encuentra el separador de tierra, compuesto por un tornillo sin fin que gira a 600 rpm y tiene su carcasa perforada por donde sale la tierra, la cual cae en una tolva que sirve de alimentación a las volquetas. Luego de separada la tierra, la materia vegetal pasa por un picador tipo desfibrador vertical que descarga la materia vegetal picada sobre un transportador que la dirige a las calderas (Torres & Prieto, 2010). La figura 4 ilustra un esquema que explica el funcionamiento de este sistema.

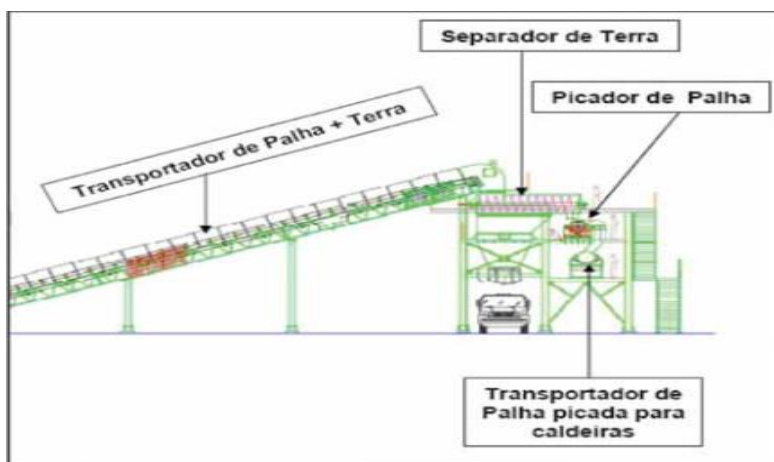


Figura 4: Sistema de separación de tierra y picador de materia vegetal. Fuente: (Vélez, 2010)

1.12 Empleo de mesas alimentadoras para la limpieza en seco de la caña a nivel mundial.

En el plan de futuro sostenible, Brasil tiene como objetivos la eliminación de la quema de caña, la mecanización completa de la cosecha y la disminución de la quema de combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica; por este motivo muchos ingenios

están disminuyendo la eficiencia de limpieza de las cosechadoras mecánicas para aumentar la cantidad de materia vegetal en la caña y están instalando un sistema de limpieza de caña en seco en las fábricas para la limpieza de la caña y el aprovechamiento de la materia vegetal como combustible para mayor producción de energía eléctrica.

En Guatemala también se está implementando este tipo de tecnología de limpieza sobre mesas alimentadoras ya que se ha comprobado el ahorro del consumo de agua que se logra obtener con su puesta en marcha. La limpieza de caña en seco antes del procesamiento parece atractiva en relación con el lavado de caña tradicional, pues las pérdidas de azúcar son inferiores.

Para la zafra de 2006-2007 el ingenio “La Unión” implementó un sistema de limpieza de caña en las mesas alimentadoras en seco en lugar del uso tradicional del agua de lavado. El camión descarga la caña sobre la primera mesa, esta la transporta y la deja caer sobre una especie de tamiz formado por ejes con discos giratorios colocada antes de la segunda mesa, luego la caña limpia sigue su camino hacia el conductor principal de caña. Esta práctica ha permitido remover 140 t al día de impurezas por medios mecánicos, eliminando el uso del agua y con ello las descargas de productos azucarados (contaminación) a los afluentes. Este sistema es el primero que se instala en un ingenio azucarero en Guatemala (CentraRSE, 2012).

El Grupo Azucarero San Pedro S.A. de la ciudad de Veracruz, México realizó un proyecto dirigido a la reducción de costos de cosecha en cultivos de caña de azúcar mediante un sistema tecnológico de recepción y limpieza en seco de caña troceada a través de la instalación de una mesa receptora de caña como se muestra en la figura 5.



Figura 5: Instalación de una mesa receptora de caña con sistema de limpieza en seco.
Fuente: (Ávalos, 2014).

Conclusiones del capítulo

1. Se han realizado estudios técnicos acerca del efecto que provoca el exceso de materias extrañas pero no se encontró en la búsqueda la obtención de un modelo que represente la dependencia del contenido de impurezas sobre los parámetros de calidad y eficiencia industrial.
2. Del estudio bibliográfico se corrobora que las materias extrañas que más afectan el proceso de obtención de azúcar son pajas, cogollos y tierras.
3. El corte mecanizado en comparación al corte manual eleva el exceso de impurezas al proceso de obtención de azúcar.
4. El software STATGRAFICS 5.0 permite hacer un estudio multivariable de la influencia de las impurezas que acompañan a la caña sobre las variables de calidad y eficiencia industriales.

Capítulo 2

CAPÍTULO II: Efecto de las materias extrañas sobre las variables de eficiencia del proceso.

2.1 Caracterización de la Fábrica de Azúcar "14 de Julio"

La fábrica de azúcar pertenece a la Empresa Azucarera Cienfuegos, se localiza en el municipio Rodas y forma parte del Grupo Empresarial Agroindustrial AZCUBA. Se encuentra ubicada a 3 km de la carretera que conduce al municipio Abreus, situada en el centro sur de la provincia Cienfuegos, al norte se encuentra el poblado de Rodas, al sur la refinería de petróleo “Camilo Cienfuegos”, al este el consejo popular Venta del Río, y al oeste el poblado de Abreus. Esta cuenta con una capacidad de molienda de 2 990 t/d, la caña es preparada por dos juegos de cuchillas los cuales necesitan un alto consumo de potencia para realizar su trabajo, la molienda se realiza por un tándem formado por cinco molinos con accionamiento eléctrico, un sistema de bombas y colador rotatorio, lo cual garantiza la separación de los residuos de bagazo disueltos en el guarapo. El proceso de fabricación es capaz de producir por encima de las 400 t de azúcar cada día con un rendimiento por encima de 12 y para ello cuenta con una estación de calentadores que dan óptimo uso al vapor luego de las inversiones realizadas, cuentan con calentadores líquido a líquido, Vampiros y WEBER modificados, un Clarificador BTR, dos Pre – evaporadores, uno de 1 003,35 m²sc (metro cuadrado por superficie calórica) y otro de 743,22 m²sc, un cuádruple efecto de 2 601,29 m²sc, seis tachos que funcionan al vacío de 0,30 m cuenta con dos semilleros uno C y otro B de 38,1 m , tres cristalizadores rápidos de 3ra , tres graneros, cuatro cristalizadores tradicionales de azúcar comercial y finalmente posee cuatro centrífugas comerciales y otras cuatro ACW 1000 A para masa cocida C y tres centrífugas de doble semilla. Con los trabajos realizados con relación a la compactación del proceso, el tiempo de retención disminuyó a 18 h aproximadamente.

La generación de vapor se produce en tres calderas Retal de 35 t/h cada una, con un índice de generación teórico de 2,25 t de vapor /t de bagazo, que utilizan el bagazo como combustible para producir el vapor que demanda la generación eléctrica la cual se realiza en dos turbogeneradores, uno de 4 000 kW y otro de 2 500 kW con un índice de consumo de vapor teórico de 10,62 y 11,32 kg/ kWh respectivamente para un total de 6 500 kW que satisface las necesidades de la industria, con posibilidades de entregar el excedente al SEN.

Misión:

- Producir y comercializar azúcar de alta calidad para el mercado interno y la exportación, aportando energía eléctrica al sistema electro-energético nacional.
- Producir y comercializar mieles y alimento animal para el mercado interno.

Visión:

- Producir azúcar, alimentos y derivados a costos competitivos para satisfacer el consumo interno y las exportaciones, aumentando la calidad de las producciones, preservando el medio ambiente, elevando la capacitación de los trabajadores y mejorando la atención al hombre.
- Para atender esta actividad eminentemente productora, la Fábrica de Azúcar debe interrelacionarse con sus proveedores y por supuesto con los clientes, sin olvidar los competidores, determinándose a su vez la posición en el entorno y en cada sector estratégico de actividad y de negocio.

2.2 Método utilizado en la investigación.

En este trabajo se realizó el estudio mediante métodos estadísticos de regresión lineal simple y regresión lineal múltiple del efecto de las impurezas sobre las variables de eficiencia en dicha fábrica, ya que tales impurezas traen efectos negativos al producto final deseado. Tal estudio se logró a través de una herramienta matemática que arroje resultados ya sean positivos o negativos mediante modelos matemáticos que den con exactitud cuales impurezas afectan en tal sentido y posteriormente realizar una propuesta de mejoras tecnológicas que contribuyan a la disminución de las mismas. A continuación en la figura 4 se muestra el diagrama heurístico que caracteriza la secuencia de las fases de desarrollo de la investigación.

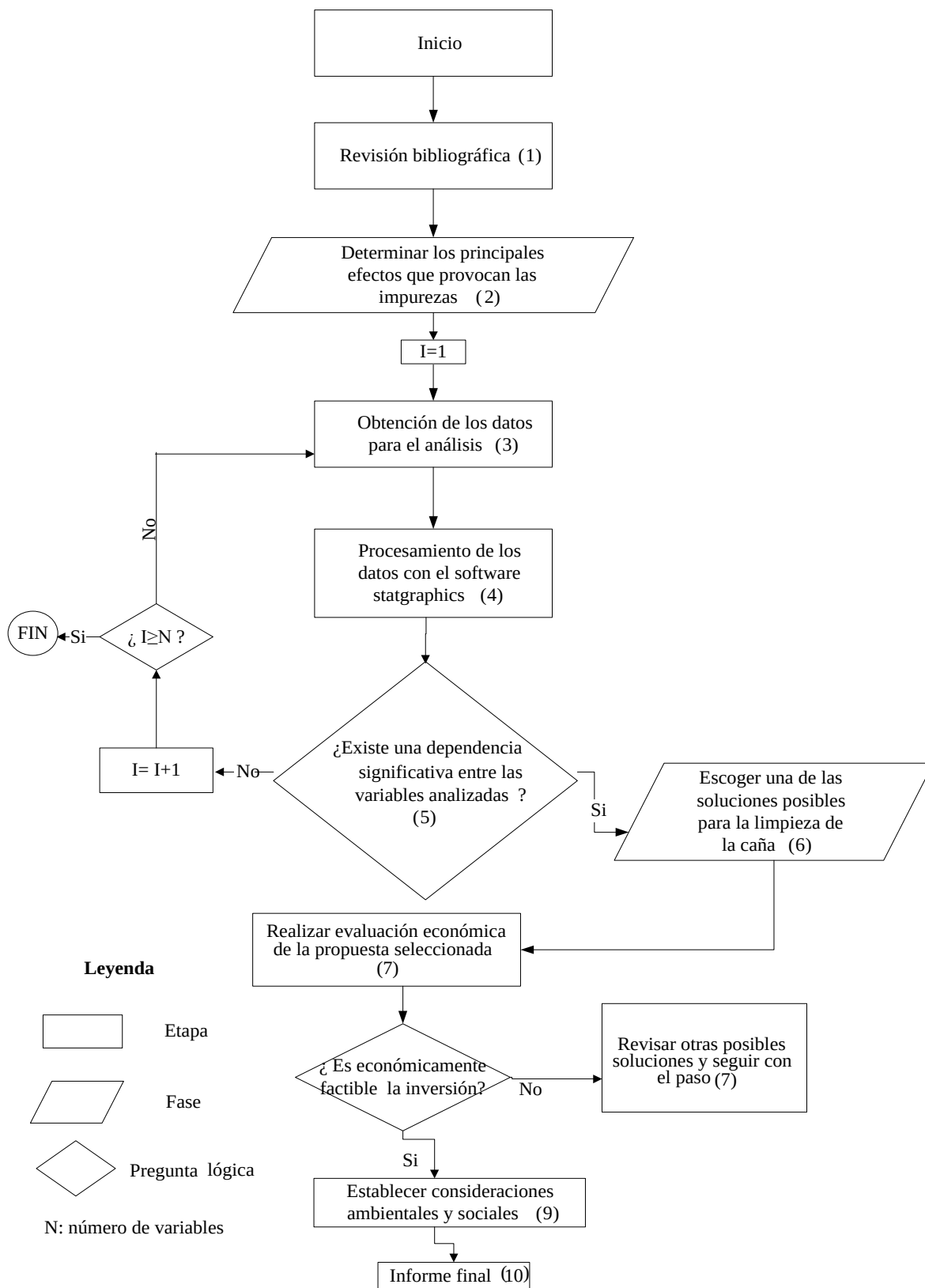


Figura 4: Diagrama heurístico de la metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia

2.3 Obtención de la base de datos para el análisis estadístico.

Para el procedimiento estadístico usado mediante el STATGRAPHICS 5.0 se utilizó los modelos de los partes diarios y despallido de la zafra 2016-2017, de los cuales se tomó las diferentes variables de interés para realizar el análisis ya mencionadas con anterioridad. Todos esos datos fueron llevados a hojas de cálculo de un libro Excel, se introdujeron en las filas los datos de las zafra de estudio por fecha, en las columnas: el flujo de caña a moler y los parámetros industriales tales como: materias extrañas que entran al tándem (%), cogollo (%), jugo mezclado % pol, pérdida de miel final, recobrado % pol caña, azúcar producida (t), miel (t), rendimiento industrial y los factores miel/ azúcar y caña/ t de azúcar. Luego los datos se importaron a la hoja de STATGRAPHICS 5.0, como se muestra en la figura 5.

	Fecha	Caña molida (t)	Materias extrañas tándem (%)	cogollo (%)	Factor caña/t de azúcar	Jugo mezclado % pol	Pérdida de miel final % pol caña	Azúcar (t)
13	13/12/16	2596.65	14.66	7.24	10.55	10.35	10.07	99.30
14	20/12/16	2507.15	15.61	5.9	10.04	10.59	10.42	99.3
15	21/12/16	2752.55	15.13	5.72	10.03	10.07	10.18	99.39
16	22/12/16	3005.96	15.10	7.54	10.73	10.61	9.55	99.4
17	23/12/16	2602.32	16.73	6.67	10.25	10.53	9.52	99.40
18	27/12/16	3220.5	15.51	5.68	9.91	11.16	9.1	99.29
19	28/12/16	3102.61	15.23	7.02	9.9	10.94	9.12	99.24
20	29/12/16	3142.13	15.71	7.11	9.8	11.31	9.02	99.2
21	01/01/17	2622.39	13.29	4.3	9.7	10.74	9.63	99.33
22	02/01/17	2550	12.8	7.03	9.75	10.42	9.61	99.39
23	03/01/17	2844.27	15.09	6.95	9.53	11.04	9.73	99.30
24	04/01/17	2791.03	14.21	7.23	9.49	10.02	9.06	99.41
25	05/01/17	2503.71	13.57	5.94	9.42	11.26	8.99	99.37
26	06/01/17	2695.41	12.57	6.21	9.35	10.99	9.27	99.41
27	07/01/17	3144.24	12.01	5.52	9.31	10.93	9.03	99.4
28	08/01/17	2763.33	12.64	6.22	9.24	11.01	9.12	99.29
29	10/01/17	2592.35	14.70	6.07	9.3	11.05	8.77	99.30
30	11/01/17	3175.90	13.63	10.55	9.25	11.05	9.52	99.30
31	12/01/17	2735.77	14.08	6.51	9.22	11.61	9.1	99.3
32	13/01/17	2993.2	16.16	5.19	9.12	11.34	9.06	99.31
33	14/01/17	2992.23	12.07	4.75	9.00	11.46	8.02	99.33
34	15/01/17	2992.5	12.8	6.14	8.99	11.6	9.42	99.29
35	16/01/17	2651.22	13.12	6.62	8.99	11.5	8.07	99.4
36	18/01/17	2556.61	11.34	6.23	8.97	11.17	9.06	99.32

Figura 5: Datos importados al STATGRAPHICS 5.0 de la hoja de cálculo de Microsoft Excel para el análisis. Fuente: Elaboración propia.

Si se analiza el % de materias extrañas que entran al basculador del central tanto de la zafra 2015-2016 como de la zafra actual 2016-2017 se puede llegar a la conclusión de que en la zafra actual tiene como promedio una entrada menor de materias extrañas sin embargo siguen siendo valores significativos ya que según las normas de AZCUBA el límite de su entrada no debe exceder de un 8 % si se trata del corte de caña verde y de un 10 % si se trata de caña quemada. En la tabla 7 se muestra un resumen estadístico en relación a la

comparación entre las dos muestras y en la figura 6 y 7 se representa la frecuencia con que se comportó el % de materias extrañas durante la zafra 2016-2017 y 2016-2017 respectivamente.

Tabla 7 Resumen estadístico.

	zafra 2015_2016	zafra 2016_2017
Recuento	34	34
Promedio	14,24	13,69
Mediana	14,03	13,91
Moda	13,94	
Media Geométrica	14,23	13,65
Varianza	0,23	1,23
Desviación Estándar	0,48	1,11
Coefficiente de Variación	3,35 %	8,11 %
Error Estándar	0,08	0,19
Mínimo	13,94	10,87
Máximo	15,84	15,13
Curtosis Estandarizada	5,77	- 0,17

Fuente: Elaboración propia.

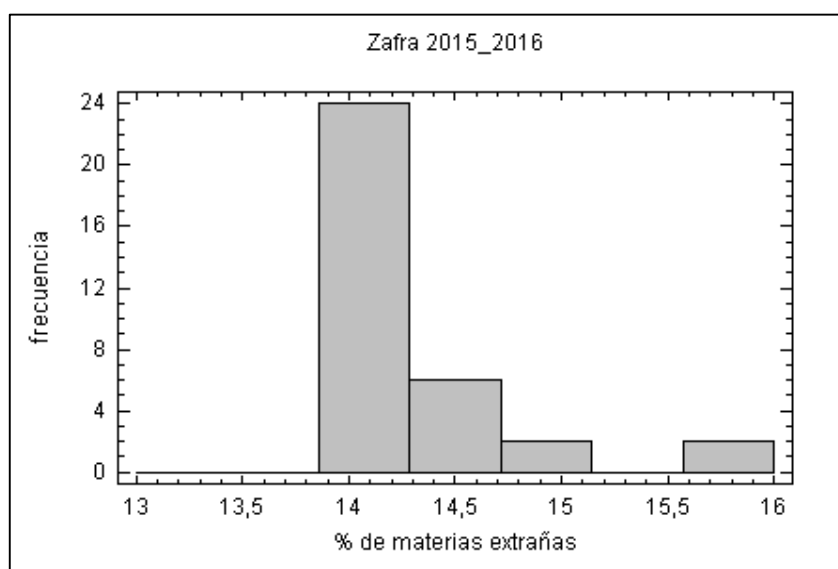


Figura 6: Histograma de frecuencia del % de materias extrañas de la zafra 2016-2017.

Fuente: Elaboración propia.

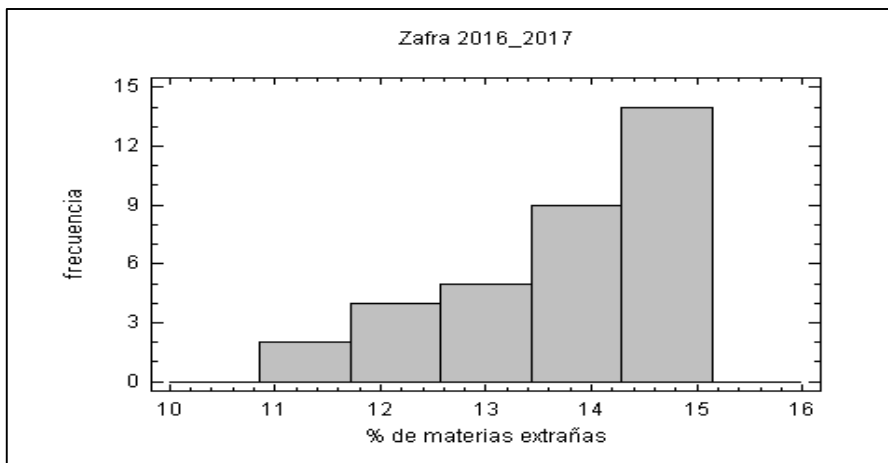


Figura 7: Histograma de frecuencia del % de materias extrañas de la zafra 2016-2017.
Fuente: Elaboración propia.

Comparación de medias de dos muestras.

Luego de realizar una comparación entre las 2 zafras se seleccionó la opción en el STATGRAFICS 5.0 “análisis de comparación de medias” de 2 muestras para determinar la existencia de diferencias significativas en el comportamiento del % de materias extrañas. El resultado de análisis arrojó que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95,0 %.

- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de zafra 2015_2016:
14,2371 +/- 0,166571 [14,0705; 14,4036]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de zafra 2016_2017:
13,6918 +/- 0,387512 [13,3043; 14,0793]

2.4 Análisis mediante la regresión lineal simple.

Se comenzó con el análisis de las variables de estudio, una vez filtrada la data conformada en Microsoft Excel. El filtro tomado fue la caña molida mayor e igual que 2 500 t. Para realizar las regresiones simples a través del programa STATGRAFICS 5.0, primeramente se fue colocando en el programa la variable industrial a analizar como variable dependiente y el % de materias extrañas como variable independiente en un primer momento. Esta operación se repitió, manteniendo la variable independiente y cambiando las variables de eficiencia, luego de que las variables de eficiencia se analizaron cada una individualmente, se realizó un resumen correspondiente a cada análisis. Posteriormente se utilizó el mismo

procedimiento pero solo se cambió la variable independiente por % de cogollo y luego % de paja, tierra y otros. La figura 8 muestra la ruta seguida para el análisis propuesto.

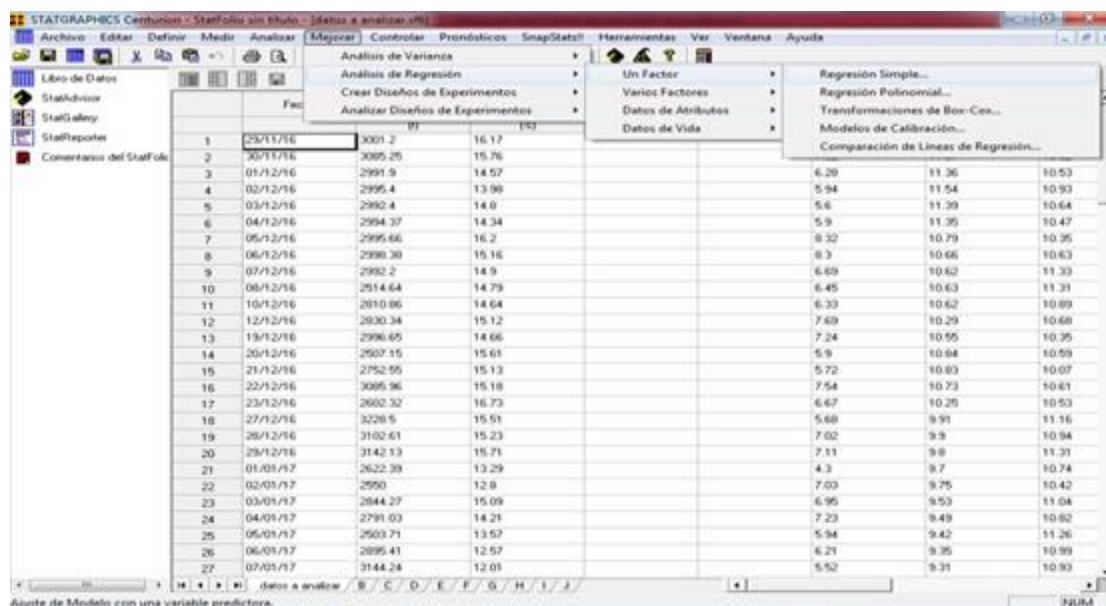


Figura 8: Ruta para el análisis de regresión simple. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se resume la significación estadística de las variables independientes (% materias extrañas, % cogollo, % paja, tierra y otros) con respecto a las variables de eficiencia del proceso luego de haber concluido con el análisis de regresión simple. Los signos (+) y (-) representan la monotonía de la pendiente del modelo que se obtiene para cada una de las regresiones.

Tabla 8: Significación estadística de las variables analizadas de la zafra 2016-2017

Variables de eficiencia del proceso	Variables independientes		
	Materias extrañas (%)	Cogollo (%)	Paja, tierra y otros (%)
Jugo mezclado % pol	Si (-)	Si (-)	Si (-)
% pol del Azúcar producto	No	No	No
Azúcar B96 producido	Si (-)	No	Si (-)
Miel producida	No	Si (+)	Si (-)
Azúcar hecha	Si (-)	No	Si (-)
Pérdida en miel final	Si (+)	Si (+)	No
Caña/t de azúcar	Si (+)	No	Si (+)
Miel/ azúcar	Si (+)	Si (+)	No
Recobrado	Si (-)	Si (-)	Si (-)
Rendimiento industrial	Si (-)	No	Si (-)

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Análisis mediante la regresión lineal múltiple.

Para el análisis de la regresión múltiple se tomó como variables independientes la caña molida, el % total de materia extrañas que entran al tándem, el % de cogollo y el % de paja, tierra y otros. Las variables de eficiencia del proceso se analizaron como variables dependientes, esta operación se realizó varias veces variando solo el término dependiente para después analizar los modelos que arrojó este análisis. La figura 9 muestra la ruta seguida para el análisis propuesto. Las regresiones se realizaron para el 80, 90 y 100 % de molida.

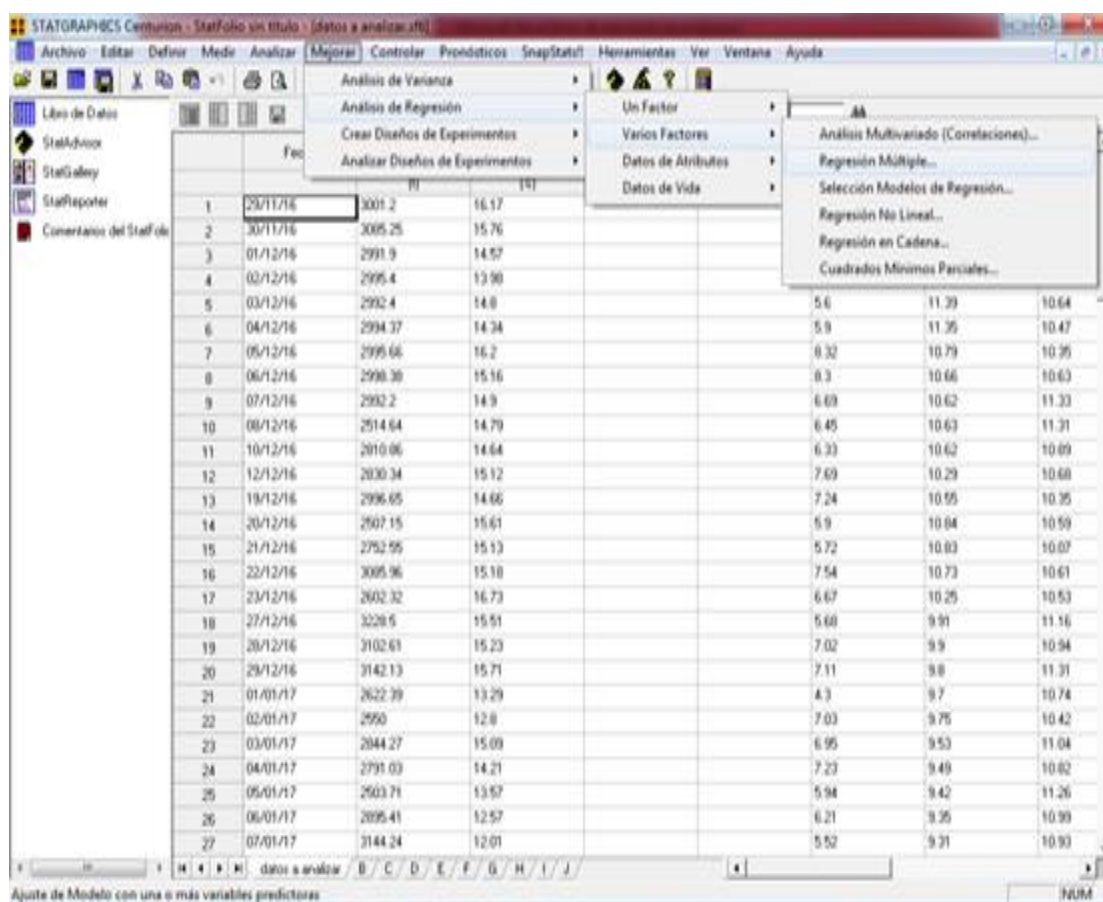


Figura 9: Ruta a seguir para el análisis de regresión múltiple. Fuente: Elaboración propia.

La tabla 9 se muestra los resultados de los modelos que arrojaron las regresiones múltiples, para ver si estos tienen estadísticamente significación o no de forma general. Luego se realizaron a través del mismo procedimiento, una análisis de regresión por parte, para los diferentes niveles de molida 80, 90 y 100 %.

Tabla 9: Significación estadística de los modelos con variables de la zafra 2016-2017.

Variables de eficiencia del proceso	Variables independientes			R-cuadrado (ajustado para el modelo en %)
	Caña molida	Cogollo (%)	Paja, tierra y otros (%)	
Jugo mezclado % pol	Si (-)	Si (-)	Si (-)	39,10
% pol del Azúcar producto	No	No	No	-
Azúcar B96 producido	Si (+)	Si (-)	Si (-)	50,77
Miel producida	Si (+)	Si (+)	Si (+)	20,13
Azúcar hecha	Si (+)	Si (-)	Si (-)	92,62
Pérdida en miel final	Si (-)	Si (+)	Si (+)	40,06
Caña/t de azúcar	Si (-)	Si (+)	Si (+)	39,68
Miel/ azúcar	Si (-)	Si (+)	Si (+)	15,69
Recobrado	Si (-)	Si (-)	Si (-)	66,46
Rendimiento industrial	Si (+)	Si (-)	Si (-)	87,12

Fuente: Elaboración propia.

El mejor modelo obtenido para la variable azúcar hecha y rendimiento industrial fue al 100 % de molida con una variabilidad del 92,62 % y 87,12 % respectivamente, mientras que en el caso de la variable recobrado fue al 90 % de molida con un 66,46 % de su variabilidad. Lo que significa que los primeros dos modelos son más confiables a la hora de realizar una predicción, mientras que en el caso de la variable recobrado el % de bondad de ajuste es menor por lo que no resulta aconsejable su utilización. Las tablas 10, 11 y 12 muestran las variables dependientes de los modelos escogidos una vez estimadas a partir de valores supuestos de las variables independientes declaradas del modelo.

Modelo matemático para estimar la variable Azúcar hecha:

Azúcar hecha = $93,6948 + 0,137558 * \text{caña molida} - 20,3861 * \text{cogollo} - 8,73405 * \text{Paja tierra y otros}$

Modelo matemático para estimar la variable Rendimiento industrial:

Rendimiento industrial

$$= 14,3381 + 0,000894603 * \text{caña molida} - 0,704896 * \text{cogollo} - 0,291936 * \text{Paja tierra y otros}$$

Modelo matemático para estimar la variable Recobrado:

$$\text{Recobrado} = 91,1681 - 0,376287 * \text{Paja tierra y otros} - 0,736852 * \text{cogollo} \\ + 0,000561337 * \text{caña molida}$$

Tabla 10: Estimación de la variable azúcar hecha según el modelo seleccionado.

Variables independientes			Constante del polinomio	Azúcar hecha
caña molida	Cogollo	paja, tierra y otros		
3 500	7	3	93,6948	406,24
3 000	6,5	3,5	93,6948	343,29
2 500	5	5	93,6948	291,99
2 000	7	3	93,6948	199,91
1 500	6,5	3,5	93,6948	136,95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Estimación de la variable recobrado según el modelo seleccionado.

Variables independientes			Constante del polinomio	Recobrado
caña molida	Cogollo	paja, tierra y otros		
3 500	7	3	91,1681	86,85
3 000	6,5	3,5	91,1681	86,75
2 500	5	5	91,1681	87,01
2 000	7	3	91,1681	86,00
1 500	6,5	3,5	91,1681	85,90

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Estimación del rendimiento industrial según el modelo seleccionado.

Variables independientes			Constante del polinomio	Rendimiento industrial
caña molida	cogollo	paja, tierra y otros		
3 500	7	3	14,3381	11,66
3 000	6,5	3,5	14,3381	11,42
2 500	5	5	14,3381	11,59
2 000	7	3	14,3381	10,32
1 500	6,5	3,5	14,3381	10,08

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Propuesta tecnológica para mejorar la limpieza de la caña de azúcar que entra al central por tiro directo al basculador.

La solución para limpieza de caña a seco y aprovechamiento de la paja es una innovación tecnológica importante, que entre otros beneficios reduce el consumo de agua en los

ingenios y posibilita la utilización de la paja de caña de azúcar en la generación de energía eléctrica. Luego de analizar las diferentes tecnologías aplicadas a tal problema se elaboró una propuesta que permita la limpieza de la caña que entra por tiro directo al basculador. Esta propuesta se dirige a ejecutar un proceso inversionista con el propósito de instalar un sistema de limpieza de caña en seco sobre mesa alimentadora en un área cercana al central “14 de Julio”, que permita recibir la caña del tiro directo en camiones y con ello lograr la separación de la mayor cantidad de tierra, paja y hojas que entra junto con esta.

Principales equipos que componen la propuesta.

Para el logro eficiente de esta propuesta la instalación debe comprender de una serie de equipos que la complementan, entre ellos: una grúa de hilo o perchero, una mesa alimentadora similar a la que se encuentra en los centros de Acopio (estera A), un conductor de banda de goma (estera B) así como de una torre de cuchillas al final del último conductor, con la cual se obtiene una densidad óptima del colchón de caña que alimentará la estera #1 a la fábrica. En la figura 10 se representa el sistema propuesto para la limpieza.

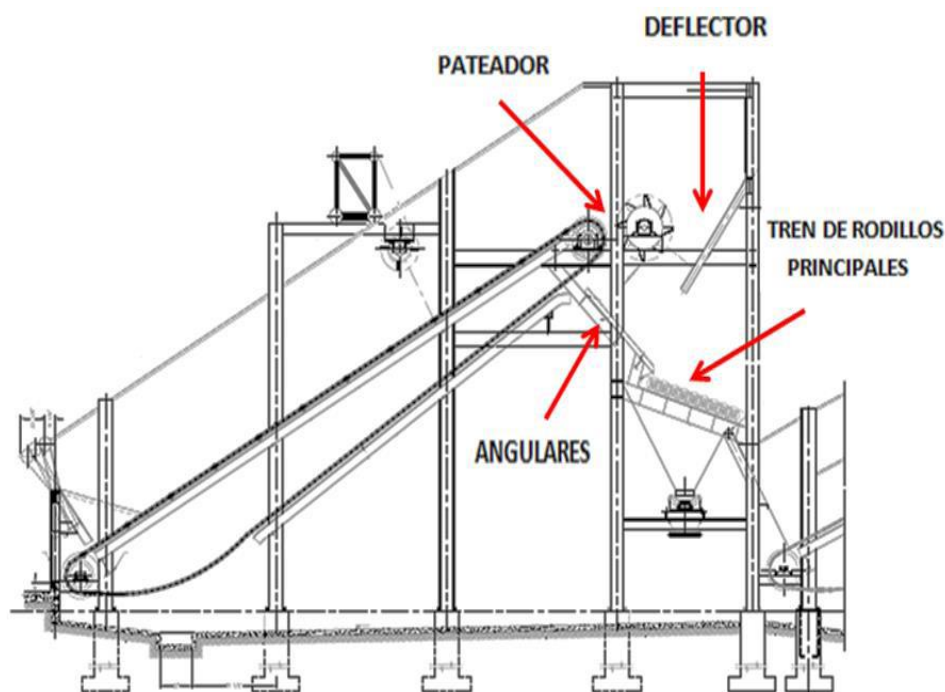


Figura 10: Sistema de limpieza en seco sobre mesa alimentadora. Fuente: (Jiménez, 2015)

Descripción técnica de la propuesta.

Para la aplicación del sistema de limpieza propuesto se requiere de la ubicación de una grúa de hilo ó perchero, y de la instalación de dos mesas alimentadoras típicas de centro de Acopio de la cual está movida por una transmisión compuesta por sprocket, cadena RC 160, dos reductor PM 350 $i = 31,5:1$ y un motor eléctrico de 5,5 kW y 1 750 r/min , la cual tendrá una inclinación con respecto a la horizontal de 20° y su objetivo es transportar la caña larga que vendrá por camiones ZIL V8, KAMAZ y los HOWO hasta una estera B (conductor de banda) la misma estará soportada en una estructura, sobre el nivel de piso, respecto a la horizontal y será movido a razón de 3,10 r/min por una catalina, piñón, sprocket y cadena, reductor y un motor eléctrico. Al final de la segunda estera A estará instalado un nivelador o gallegos el cual mantendrá una altura de colchón de caña de 470 mm el cual estará accionado por un motor eléctrico, reductor, sprocket y cadena, a una velocidad angular de 60 r/min, además en dicha estera estará instalada una torre de cuchillas, cuya función es picar la caña en trozos mejorando así la alimentación de caña al tándem de molinos, mejorando la compactación en el conductor 1 evitando los atoros en este conductor. Por dicha instalación se manejará un volumen de caña correspondiente (t/h) la cual será suficiente para obtener una densidad óptima en la estera que alimentará el tándem. Además comprende la cimentación de las mesas alimentadoras, así como de sus componentes (motores, plataformas, cuarto de control y equipo).

Funcionamiento de los equipos.

El proceso comienza cuando la caña es cortada en el campo, luego es alzada y acomodada en camiones que la transportan hasta el ingenio y posteriormente pesada en una báscula para llevar un control de la cantidad de toneladas de caña que se muelen. La grúa hidráulica se encarga de voltear los remolques y dejar caer la caña sobre las mesas de alimentación.

En dichas mesas la caña de azúcar es conducida hasta un nivelador que se localiza en la parte superior del conductor; este consiste en un eje rotativo lento, provisto de brazos radiales que aseguran que la caña caiga suavemente desde el extremo de la carga del conductor, evitando así que haya una gran cantidad de caña junta.

Seguidamente la caña de azúcar es conducida hasta llegar a un pateador, que se encarga de levantarla y golpearla fuertemente contra un deflector y así realizar una pre-limpieza ya que de esta manera se puede desprender gran cantidad de tierra que trae la caña, después desciende por unos angulares con una inclinación de 18° para después caer sobre un tren de rodillos el cual está conformado por un número determinado de discos. Tales discos se traslapan entre sí dejando un espacio que permite la formación de un colador que deja pasar hojas, tierras, arenas y piedras pequeñas que trae la caña.

En la figura 11 se muestra el diagrama de bloques del proceso de obtención de azúcar crudo con el sistema a implementar para la limpieza de la caña señalado en rojo, donde se destacan las entradas y salidas para el planteamiento de los balances de masa en las principales etapas del proceso hasta la obtención del azúcar crudo y la miel final.

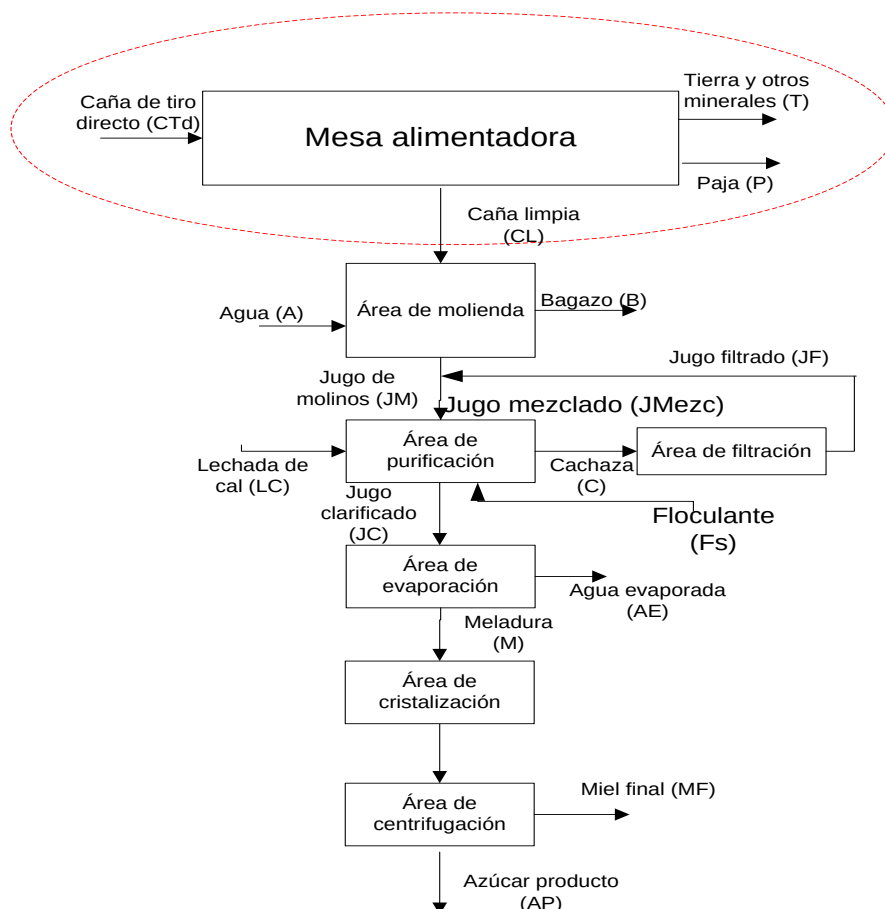


Figura 11: Diagrama de bloques del proceso de obtención de azúcar crudo con sistema de limpieza sobre mesa alimentadora. Fuente: Elaboración propia.

2.7 Balance de materiales del proceso azucarero en la UEB “14 de Julio”.

Área de limpieza de la caña.

$$CTd = CL + P + T \quad (1)$$

Área de molienda.

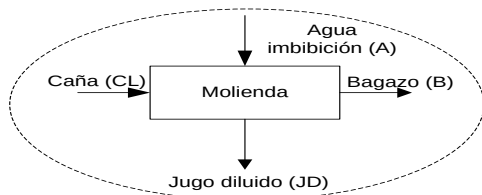


Figura 12: Diagrama de bloque para el subsistema molienda. Fuente: Elaboración propia.

$$CL + A = B + JM \quad (2)$$

$$x_{CL} * CL + x_{CL} * A = x_B * B + x_{JM} * JM \quad (3)$$

Área de purificación.

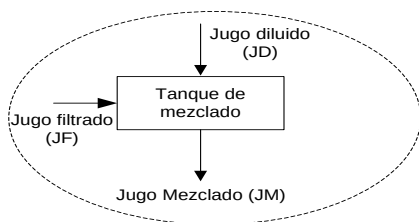


Figura 12: Diagrama de bloque para el subsistema tanque de mezclado. Fuente: Elaboración propia.

$$JM = JF + JD \quad (4)$$

$$JF = 0,15 JM \quad (5)$$

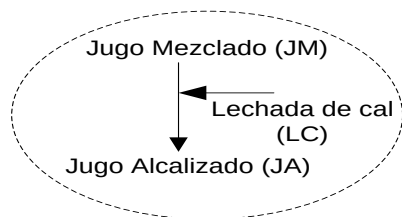


Figura 13: Diagrama de bloque punto de mezcla para la obtención del jugo alcalizado. Fuente: Elaboración propia.

- Índice de consumo (CaO) = 500g/ (t/d de caña molida)
- Demanda de CaO = 500 g/t * CL
- Flujo volumétrico de lechada de cal $LC_v = \text{Demanda de CaO} / \text{cant g/L CaO}$
- Flujo másico de la lechada de cal $LC_m = LC_v * \rho_{LC}$
- Para determinar la densidad de los líquidos (kg/m³) en función de la concentración en grados Baumé se emplea la siguiente ecuación:

$$\rho = 145 / (145 - ^\circ\text{Be}) * 1000$$

Luego la densidad de la lechada de cal se puede determinar de la siguiente manera:

$$\rho = 1000 * (145 / (145 - 4))$$

$$\rho = 1028 \text{ kg/m}^3$$

$$JA = JM + LC_m \quad (6)$$

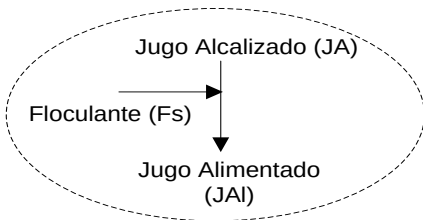


Figura 14: Diagrama de bloque punto de mezcla para la obtención del jugo alimentado al clarificador. Fuente: Elaboración propia.

$$JAl = F_s + JA \quad (7)$$

$$F_s = \frac{\text{Caña molida (Cm)} * \text{Dosificación (Df)}}{1000} \quad (8)$$

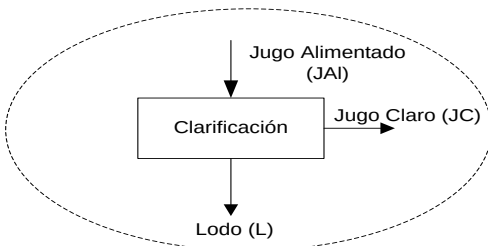


Figura 15: Diagrama de bloque para el subsistema clarificación. Fuente: Elaboración propia.

$$JAl = JC + L \quad (9)$$

$$x_{JAl} * JAl = x_{JC} * JC + x_L * L \quad (10)$$

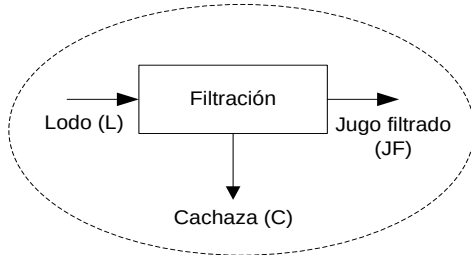


Figura 16: Diagrama de bloque para el subsistema filtración. Fuente: Elaboración propia.

$$L = C + JF \quad (11)$$

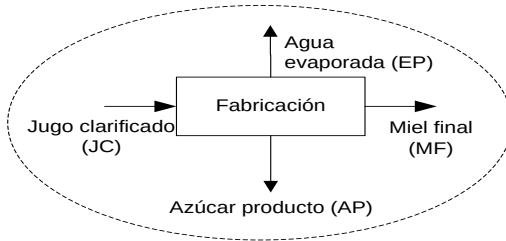


Figura 17: Diagrama de bloque para determinar los principales productos del proceso. Fuente: Elaboración propia.

Relación auxiliar:

$$AP = 3,95 * MF \quad (12)$$

Balance total:

$$JC = AP + MF + AE \quad (13)$$

Balance de azúcar:

$$pol_{JC} * JC = pol_{AP} * AP + pol_{MF} * MF \quad (14)$$

Una vez planteado todos los balances se confeccionó una hoja de Microsoft Excel para el cálculo de todos los flujos correspondientes. En las tablas 13, 14 y 15 aparece un resumen del balance de materiales aplicado.

Tabla 13: Resumen de los balances de materiales para un 100 % de molida.

Molienda		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Caña (CL)	3 375,69	t/d
fracción fibra de caña (xCL)	0,12	–
fracción fibra de bagazo (xB)	0,48	–
Agua de Imbibición (A)	810,17	t/d
Bagazo (B)	843,92	t/d
Jugo diluido (JD)	3 341,93	t/d
Tanque de mezclado		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Jugo mezclado (JM)	3 931,69	t/d
Índice de CaO	500,00	500g/ (t/d de caña molida)
Demanda de CaO	1 687 845,00	g/d
Concentración del CaO	36,00	g/l
Concentración de la LC	4,00	°Baumé
Densidad ρ (LC)	1 028,37	kg/m ³
Lechada de cal (LCv)	46,88	m ³ /d
Lechada de cal (LC)	48,21	t/d
Jugo alcalizado (JA)	3 979,90	t/d
Punto de mezcla		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Floculante (Fs)	0,0169	t/d
Jugo alimentado (JAl)	3 979,92	t/d
xJAl	0,0066	–
Clarificación		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
	2 803,94	t/d
xJC	0,00098	–
Lodo (L)	1 175,98	t/d
xL	0,02	–
Filtración		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Jugo filtrado (JF)	589,75	t/d
Cachaza (C)	586,23	t/d
Determinación de miel final y azúcar producto		
pol (AP)	0,99	–
pol (MF)	0,34	–
pol (JC)	0,13	–

Azúcar/Miel (AP/MF)	3,62	–
Agua que se evapora (Beyra)	2 385,80	t/d
Azúcar producto (AP)	327,63	t/d
Miel final (MF)	90,51	t/d

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Resumen de los balances de materiales para un 90 % de molida.

Molienda		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Caña (CL)	2 857,02	t/d
fracción fibra de caña (xCL)	0,12	–
fracción fibra de bagazo (xB)	0,48	–
Agua de Imbibición (A)	685,68	t/d
Bagazo (B)	714,26	t/d
Jugo diluido (JD)	2 828,45	t/d
Tanque de mezclado		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Jugo mezclado (JM)	3 327,59	t/d
Índice de CaO	500,00	500g/ (t/d de caña molida)
Demanda de CaO	1 428 510,00	g/d
Concentración del CaO	36,00	g/l
Concentración de la LC	4,00	°Baumé
Densidad ρ (LC)	1 028,37	kg/m ³
Lechada de cal (LCv)	39,68	m ³ /d
Lechada de cal (LC)	40,81	t/d
Jugo alcalizado (JA)	3 368,39	t/d
Punto de mezcla		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Floculante (Fs)	0,0143	t/d
Jugo alimentado (JAl)	3 368,41	t/d
xJAl	0,0066	–
Clarificación		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Jugo claro (JC)	2 373,12	t/d
xJC	0,00098	–
Lodo (L)	995,29	t/d
xL	0,02	–
Filtración		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida

Jugo filtrado (JF)	499,14	t/d
Cachaza (C)	496,15	t/d
Determinación de miel final y azúcar producto		
pol (AP)	0,99	–
pol (MF)	0,26	–
pol (JC)	0,12	–
Azúcar/Miel (AP/MF)	3,95	–
Agua que se evapora (Beyra)	2 037,36	t/d
Azúcar producto (AP)	267,93	t/d
Miel final (MF)	67,83	t/d

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Resumen de los balances de materiales para un 80 % de molida.

Molienda		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Caña (CL)	2 651,22	t/d
fracción fibra de caña (xCL)	0,12	–
fracción fibra de bagazo (xB)	0,48	–
Agua de Imbibición (A)	636,29	t/d
Bagazo (B)	662,81	t/d
Jugo diluido (JD)	2 624,71	t/d
Tanque de mezclado		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Jugo mezclado (JM)	3 087,89	t/d
Índice de CaO	500,00	500g/ (t/d de caña molida)
Demanda de CaO	1 325 610,00	g/d
Concentración del CaO	36,00	g/l
Concentración de la LC	4,00	°Baumé
Densidad ρ (LC)	1 028,37	kg/m ³
Lechada de cal (LCv)	36,82	m ³ /d
Lechada de cal (LC)	37,87	t/d
Jugo alcalizado (JA)	3 125,76	t/d
Punto de mezcla		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Floculante (Fs)	0,0133	t/d
Jugo alimentado (JAl)	3 125,77	t/d
xJAl	0,0066	–
Clarificación		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida

Jugo claro (JC)	2 202,17	t/d
xJC	0,00098	–
Lodo (L)	923,60	t/d
xL	0,02	–
Filtración		
Variables declaradas	Flujo	Unidad de medida
Jugo filtrado (JF)	463,18	t/d
Cachaza (C)	460,41	t/d
Determinación de miel final y azúcar producto		
pol (AP)	0,99	–
pol (MF)	0,36	–
pol (JC)	0,12	–
Azúcar/Miel (AP/MF)	2,73	–
Agua que se evapora (Beyra)	1 881,68	t/d
Azúcar producto (AP)	234,57	t/d
Miel final (MF)	85,92	t/d

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones del capítulo

1. Existe una pequeña disminución del % de materias extrañas en la zafra actual con relación a la anterior y aunque continúa siendo alto, presentan diferencias significativas.
2. Las variables de azúcar hecha, recobrado y rendimiento industrial son las que más se ven afectadas con la introducción de materias extrañas en especial de paja, tierra y otros.
3. No existe influencia significativa entre materias extrañas y la variable de estudio % pol del azúcar producto.
4. Se obtuvo modelos para estimar el azúcar hecha, recobrado y rendimiento industrial los cuales ofrecen un 92,62 %, 87,12 % y un 66,46 % de coeficiente de bondad de ajuste de tales variables respectivamente.
5. Del balance de materiales se pudo comprobar su consistencia ya que para 327,63 t/d de azúcar producto y 90,51 t/d de miel final para un 100 % de molida, mientras que para un 80 % de molida los resultados fueron de 234,57 y 85,92 t/d respectivamente.
6. La tecnología de limpieza en seco de la caña sobre mesa alimentadora constituye una vía para eliminar un mayor contenido de materias extrañas que se introducen al proceso en el central “14 de Julio”

Capítulo 3

CAPÍTULO III Evaluación económica.

La evaluación económica se elaboró según la metodología recomendada en la asignatura Diseño de Planta con la utilización de la herramienta creada para la estimación de la misma. Todos los cálculos necesarios se realizaron siguiendo la metodología del (Peters & Timmerhaus, 1991) para la evaluación económica a través de un libro en Microsoft Excel.

3.1 Cálculo del costo del equipamiento.

La determinación del costo total de inversión de equipos se realizó primeramente un listado de los mismos así como del precio que costaban en el año 2013, datos obtenidos del proyecto descrito en (IPROYAZ, 2014). A continuación en la tabla 16 se arrojó los resultados obtenidos. Para el cálculo del costo de equipos actualizado se tuvo en cuenta los índices de costos según el año correspondiente.

- Índice de costo año 2013 = 567,3 (Bullock, Davis, Gentile, & Trautes, 2016)
- Índice de costo año 2016 = 556,8 (Bullock, Davis, Gentile, & Trautes, 2016)

Tasa de cambio = 25 CUP

Tabla 16: Costo de inversión de equipos en CUP.

Nombre de equipos	No. Equipos	Costo Unitario (CUP)	Costo actualizado (CUP)	Costo total (CUP)
Perchero	1	23 949,66	23 506,38	23 506,38
Winche	1	3 992,71	3 918,81	3 918,81
Mesa alimentadora	1	472 363,05	463 620,21	463 620,21
Conductor de banda de goma	1	30 613,74	30 047,12	30 047,12
Torre de cuchillas	1	2 511,70	2 465,21	2 465,21
Nivelador o rompe bulto	1	6 766,08	6 640,85	6 640,85
Sistema motriz rompe bulto o nivelador	1	2 467,51	2 421,84	2 421,84
Sistema motriz de la mesa alimentadora	1	1 625,64	1 595,55	1 595,55

Sistema motriz de la torre de cuchillas	1	1 258,30	1 235,01	1 235,01
Sistema motriz del conductor de banda	1	1 568,73	1 539,69	1 539,69
Costo total de inversión de quipos				536 990,66

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Estimación del capital de inversión.

El capital de inversión se estimó mediante el método de la hoja de trabajo de (Peters & Timmerhaus, 1991). Se emplearon las fracciones aplicables a un proceso químico – tecnológico de plantas de procesamiento de sólidos tanto para los costos directos como los indirectos. En la tabla 17 se ofrecen los resultados obtenidos para el caso de los costos directos mientras que en la tabla 18 los resultados para los costos indirectos. Luego la tabla 19 muestra el resultado del cálculo de los términos Capital de Inversión Fija, el Capital de trabajo y el Total de Inversión de capital.

Tabla 17: Estimación de los costos directos en CUP.

Elementos a considerar	Fracción literatura	Fracción tomada	Costos directos (CUP)
Equipo comprado, E'			536 990,66
Entrega, fracción de E'	0,10	0,10	53 699,07
Subtotal: equipo entregado	-	-	590 689,72
Instalación de equipos comprados	0,45	0,45	265 810,37
Instrumentación y controles	0,18	0,18	106 324,15
Tuberías	0,16	0,16	94 510,36
Sistemas eléctricos	0,10	0,10	59 068,97
Edificios	0,25	0,25	147 672,43
Mejoras en el patio	0,15	0,15	88 603,46
Instalaciones de servicio	0,40	0,40	236 275,89
Total de los costos directos	1,69	1,69	1 588 955,35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Estimación de los costos indirectos en CUP.

Aspectos a considerar	Fracción literatura	Fracción tomada	Costos indirectos (CUP)
Ingeniería y supervisión	0,33	0,33	194 927,61
Gastos de construcción	0,39	0,39	230 368,99
Gastos legales	0,04	0,04	23 627,59
Honorario del contratista	0,17	0,17	100 417,25
Contingencia	0,35	0,35	206 741,40
Total de los costos indirectos	1,28	1,28	756 082,84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Determinación de la Inversión Total del Capital (TCI) en CUP.

Capital de Inversión Fija (FCI) en CUP			2 345 038,20
Capital de trabajo (WC) en CUP			413 482,81
Inversión Total de Capital (TCI) en CUP	Según la literatura	Propuesto	2 758 521,00
	0,70	0,70	

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Estimación del costo de la materia prima, el precio de venta de los productos y el costo de operación de la mano de obra.

Para la realización de esta estimación se introdujeron en la hoja del Peter los valores requeridos en relación al precio de la materia prima que es la caña de azúcar y al precio de venta de los productos que se obtienen principalmente en el central de “14 de Julio”, los cuales son azúcar crudo de alta calidad y miel final. En las tablas 20, 21 y 22 se presentan dichos resultados que luego serán empleados para el cálculo del Costo Total de Producción (TPC).

Tabla 20: Costo anual de la materia prima en CUP.

	Materias primas			
Nombre de la materia prima	Precio (\$/t)	Referencia bibliográfica del precio	Cantidad anual (t/y)	Costo anual de las materias primas (\$/y)
Caña de azúcar	100,00	(Arias, 2016)	460 650,00	46 065 000,00
Costo total anual de las materias primas (\$/y)				46 065 000,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21: Valor de ingreso anual de los productos en CUP.

Nombre de productos	Productos			
	Precio (\$/t)	Referencia bibliográfica del precio	Cantidad anual (t/y)	Costo anual de los productos (\$/y)
Azúcar crudo	1 360,00	(Arias, 2016)	47 700,00	64 872 000,00
Miel final	90,00	(Arias, 2016)	13 950,00	1 255 500,00
Precio de venta total de productos				66 127 500,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Costos anual de operación de la mano de obra en CUP.

Mano de obra			
Número de operadores por turno	Turnos por día	\$/h	Costo anual de operación de la mano de obra
120	2	5,00	2 160 000,00

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Estimación del costo de las utilidades.

Las principales utilidades anuales que se necesitan para el proceso de obtención de azúcar son: aire de instrumentación, consumo de electricidad a la arrancada del central y agua. En la tabla 23 se ofrece los resultados.

Tabla 23: Costo de las utilidades en CUP/y.

Utilidad	Costo unitario por defecto	Unidad de medida	Utilidad anual requerida	Unidad de medida	Costo anual de la utilidad en \$/y
Aire de instrumentación	20,00	\$/100m ³	15,00	100 m ³ /y	300,00
Electricidad promedio comparada con EEUU	0,092	\$/kWh	384 000,00	kWh/y	35 251,20
Electricidad autogenerada	0,05	\$/kWh	576 000,00	kWh/y	28 800,00
Agua de enfriamiento	0,25	\$/ m ³	15 000,00	m ³ /y	3 750,00
Agua general	0,25	\$/ m ³	135 000,00	m ³ /y	33 750,00
Agua destilada	5,00	\$/ m ³	150,00	m ³ /y	750,00
Costo total de las utilidades					105 301,20

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Estimación del Costo Total de Producción anual al 100 % de capacidad.

El Costo Total de producción (CTP) se determinó a partir de la información que se ofrece en las anteriores hojas del libro de Excel para la evaluación económica. En la tabla 24 se recoge todos los datos que permitieron su determinación.

Tabla 24: Costo Total de Producción al 100 % de capacidad.

Ítem	Factor que puede ser cambiado	Bases	Basis cost, \$/y	Cost, \$/y
Materias primas				46 065 000,00
Mano de obra				2 160 000,00
Operación de supervisión	0,1	De operación de trabajo	2 160 000,00	216 000,00
Utilidades				105 301,20
Mantenimiento y reparación	0,02	of FCI	2 345 038,20	46 900,76
Suministros operativos	0,1	De mantenimiento y reparación	46 900,76	4 690,08
Cargos de laboratorio	0,1	De operación de trabajo	2 160 000,00	216 000,00
Costo variable =				48 813 892,04
Impuestos de propiedad	0,01	De FCI	2 345 038,20	23450,38
Financiamiento	0	De FCI	2 345 038,20	0,00
Seguro	0,004	De FCI	2 345 038,20	9 380,15
Alquiler	0	De FCI	2 345 038,20	0,00
Depreciación	Se calcula separadamente			
Cargos fijos =				32 830,53
Sobrecarga de planta general	0,25	De trabajo, supervisión y mantenimiento.	2 422 900,76	605 725,19
Plant Overhead =				605 725,19
Manufacturing cost =				45 545 096,58
Administración	0,05	De trabajo, supervisión y mantenimiento.	2 422 900,76	121 145,04

Distribución y venta	0,01	De c_o	50 585 298,78	505 852,99
Investigación y desarrollo	0,01	De c_o	50 585 298,78	505 852,99
General Expense =				1 132 851,01
Costo Total de Producción sin depreciación = c_o =				50 585 298,78

Fuente: Elaboración propia.

La depreciación se tomó lineal del 10 % del Capital de Inversión Fija (FCI).

Luego de haber realizado todos los cálculos anteriores se siguió con la hoja del libro “Evaluación” la cual utiliza los valores de las otras hojas para realizar las medidas de rentabilidad. La estimación se realizó en un período de 10 años. Se determinó los indicadores dinámicos de rentabilidad.

3.6 Análisis de sensibilidad.

La primera evaluación se realizó en condiciones óptimas, sin embargo se realizó un análisis de sensibilidad de la propuesta tecnológica puesto que, para realizar una inversión resulta imprescindible conocer el comportamiento en distintos escenarios. Para ello se consideró una variante en el que se disminuyó los precios de venta del azúcar y se aumentó el precio del costo de la caña en un 5 %. Las otras dos variantes fueron similar pero en un 10 y 15 %. Luego se analizó los resultados obtenidos de los indicadores de rentabilidad. Se precisa que la tasa de descuento fue del 12 % y el período de evaluación en 10 años.

3.7 Indicadores dinámicos de rentabilidad.

- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)

El VAN mide el aporte económico de un proyecto a los inversionistas, es decir: es el excedente que le queda a los inversionistas después de haber recuperado la inversión y el costo de oportunidad de los recursos destinados.

La TIR mide la rentabilidad de un proyecto o activo y se define como la tasa en el que el VAN sea igual a 0. La regla de decisión consiste en aceptar proyectos cuya TIR sea mayor que el costo del capital para activos del mismo nivel de riesgo.

Resultados de los indicadores de rentabilidad en condiciones óptimas:

El cálculo del VAN fue $VAN > 0$, dando como resultado \$ 67 256 743,63. El período de recuperación es de 0,21 años lo que equivale aproximadamente a 3 meses. Según la evaluación realizada no se arrojó TIR puesto que la inversión puede ser recuperada en el primer año de puesta en marcha de la propuesta realizada para la limpieza de la caña del contenido de materias extrañas, especialmente tierra y paja como se puede apreciar en la figura 17.

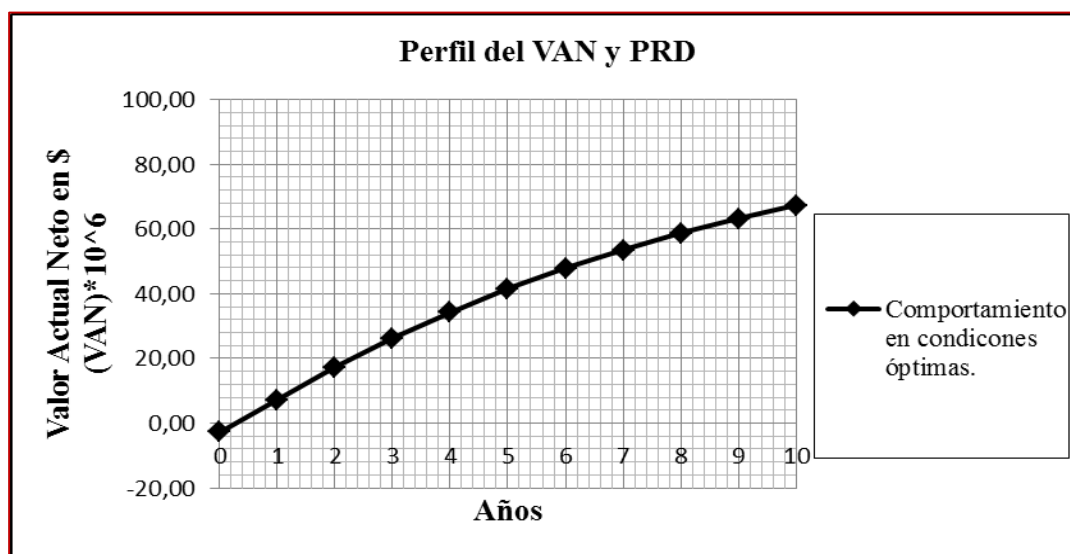


Figura 17: Determinación del Plazo de Recuperación al Descuento (PRD). Fuente: Elaboración Propia.

Resultados de la variante 1: Indicadores de rentabilidad:

Si los precios de venta se reducen y los costos de la materia prima se incrementan en un 5 % el VAN fue $VAN > 0$ dando como resultado \$ 41 822 704,72. El período de recuperación es de 0,32 años lo que equivale aproximadamente a 4 meses. Según la evaluación realizada no se arrojó TIR puesto que la inversión puede ser recuperada en muy rápida en primer año de puesta en marcha de la propuesta realizada para la limpieza de la caña del contenido de materias extrañas, especialmente tierra y paja como se puede apreciar en la figura 18.

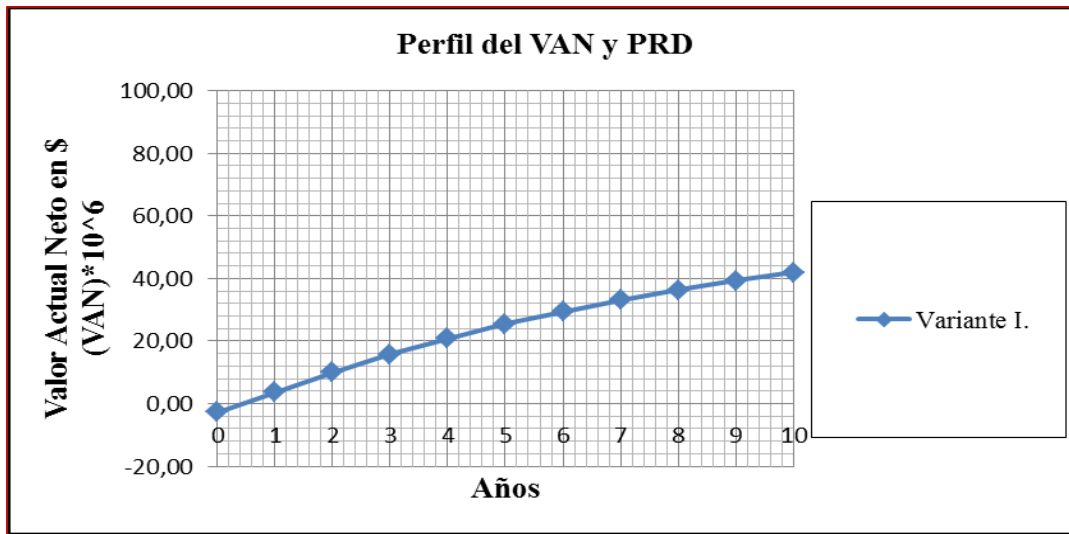


Figura 18: Determinación del Plazo de Recuperación al Descontado (PRD). Fuente: Elaboración Propia.

Resultados de la variante 2: Indicadores de rentabilidad:

Si los precios de venta se reducen y los costos de la materia prima se incrementan en un 10 % el VAN fue $VAN > 0$ dando como resultado \$ 16 388 665,80. El período de recuperación es de 0,76 años lo que equivale aproximadamente a 9 meses. Según la evaluación realizada no se arrojó TIR puesto que la inversión puede ser recuperada en el primer año de puesta de la propuesta realizada para la limpieza de la caña del contenido de materias extrañas, especialmente tierra y paja como se puede apreciar en la figura 19.

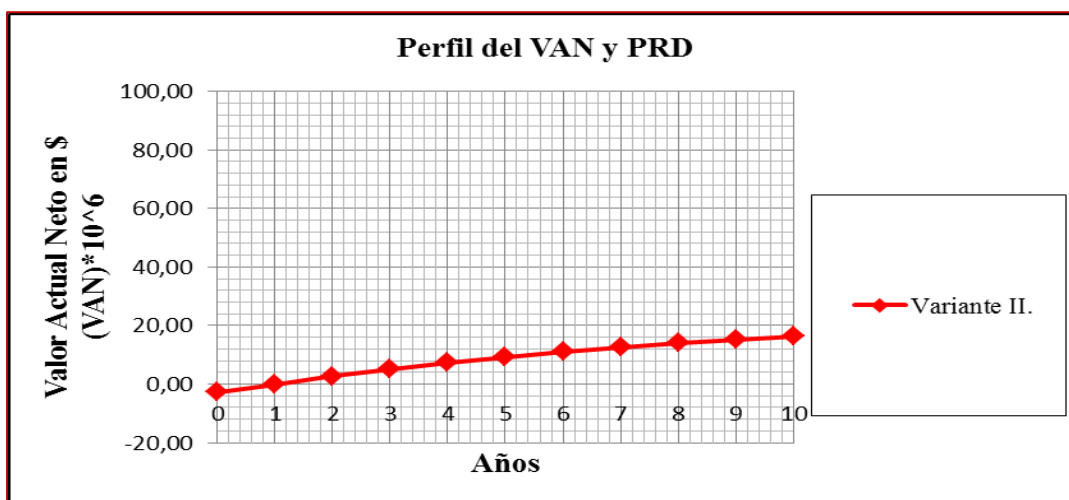


Figura 19: Determinación del Plazo de Recuperación al Descontado (PRD). Fuente: Elaboración Propia.

Resultados de la variante 3: Indicadores de rentabilidad:

Si los precios de venta se reducen y los costos de la materia prima se incrementan en un 15 % el VAN fue $VAN < 0$ dando como resultado \$ -9 045 373,11. Por tanto si ocurrieran tales situaciones, no es favorable la realización de la inversión para la propuesta, como se puede apreciar en la figura 20.

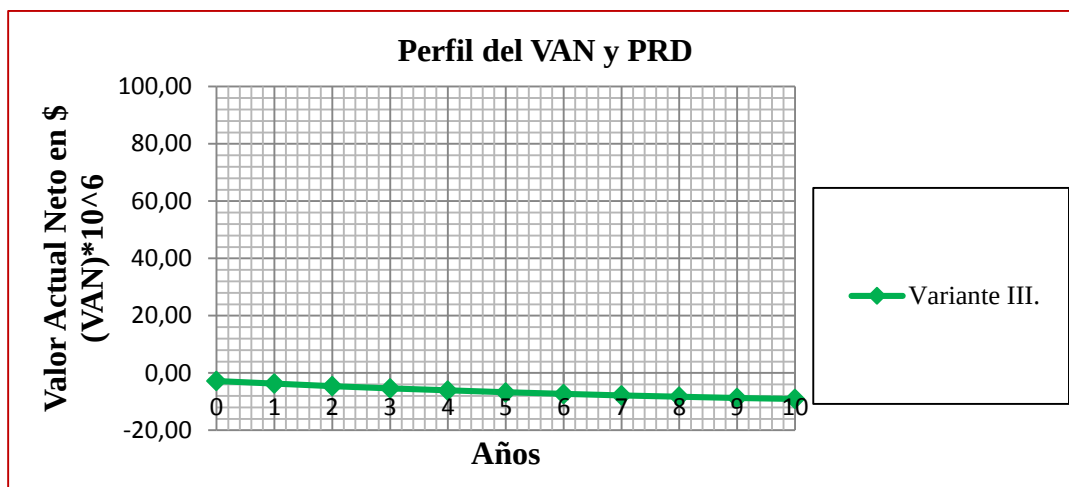


Figura 20: Determinación del Plazo de Recuperación al Descuento (PRD). Fuente: Elaboración Propia.

Luego de haber realizado el análisis de sensibilidad planteado, en una misma gráfica se realizó un resumen acerca del comportamiento en los cuatro casos como se puede apreciar en la figura 21.

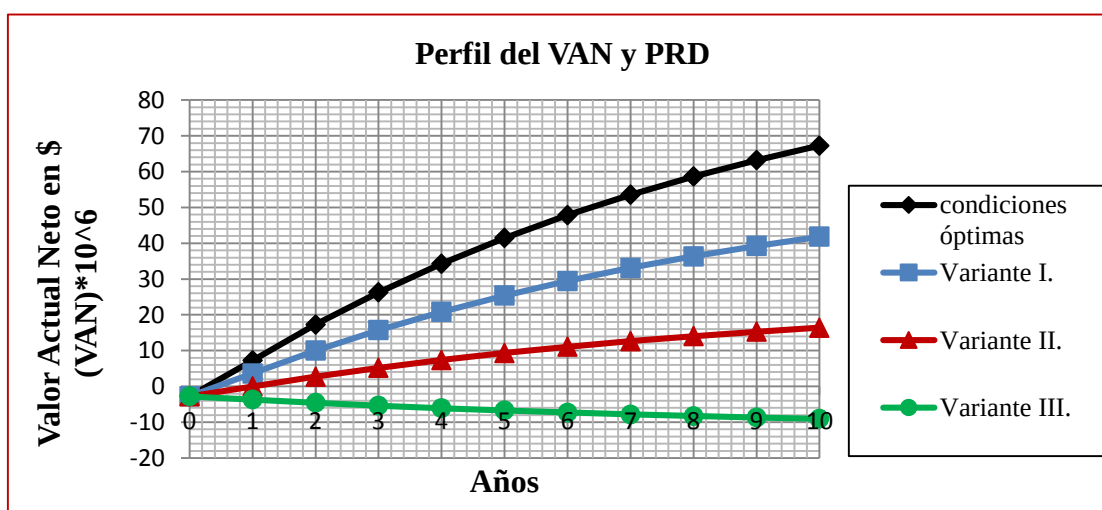


Figura 21: Determinación del Plazo de Recuperación al Descuento (PRD). Fuente: Elaboración Propia.

Ventajas y beneficios de la propuesta realizada.

1. Economía en el uso de agua y sostenibilidad
2. La tecnología de limpieza en seco sustituye en efectivo el lavado de la caña.

3.8 Impacto técnico, económico, ambiental y social de la aplicación de la limpieza de la caña en seco sobre mesa alimentadora en la UEB fábrica de azúcar “14 de Julio”.

Impacto técnico.

El empleo de una mesa alimentadora para la limpieza en seco de la caña de azúcar tiene un impacto técnico significativo puesto que este tipo de tecnología contribuye a la reducción en el consumo de potencia de los equipos tales como bombas, el clarificador, los evaporadores de múltiple efecto, tachos al vacío y las centrífugas. El diseño es compacto, su mantenimiento y operación es más bajo en comparación con otras tecnologías y logra la remoción de las impurezas en un rango de 40 – 70 %.

Impacto económico.

Entre los impactos económicos que ofrece esta propuesta podemos destacar que se pueden obtener ganancias en la cogeneración, término que está siendo estudiado actualmente por el beneficio que este trae en los procesos de producción. De acuerdo con el análisis de sensibilidad realizado, la propuesta puede generar excedentes considerables a los inversionistas si se trabaja en condiciones óptimas y el precio de venta de los productos se mantiene en el valor más alto actual; sin embargo si se redujeran los precios de venta de los productos y se incrementara el precio de compra de la caña de azúcar en un 10 % aún la inversión genera ganancias, pero si fuese alrededor de un 20 % ya la inversión no resulta ventajosa aplicarla. Contribuye a la reducción de pérdidas de la sacarosa durante el proceso de obtención del azúcar, al mejoramiento de la calidad del jugo clarificado y por ende la calidad del valioso grano de interés comercial.

Impacto ambiental y social.

Con la instalación de la mesa alimentadora en un área cercana al central, se logra la reducción de los impactos ambientales que se generan con el exceso de materias extrañas que se introducen durante el corte mecanizado de la caña de azúcar. Reduce significativamente la quema de la caña y con ello la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Con la implementación de esta tecnología, ya no es necesario un alto consumo

de agua en las mesas receptoras, y por lo tanto se reduce el consumo de este valioso recurso. Se logra además, la conservación de los suelos y el aprovechamiento de las hojas y pajas como biomasa. Este tipo de tecnología genera impacto social puesto que se crean nuevos puestos de trabajo para la operación de los equipos que la componen y a su vez la población podría disfrutar de una azúcar con mayor calidad.

Conclusiones del capítulo.

1. El análisis económico de la propuesta demostró que la inversión genera beneficios a los inversionistas pues el VAN > 0 de valor 70 875 832,91 CUP.
2. La propuesta es rentable puesto que la inversión se puede recuperar en el primer año de su puesta en marcha.
3. La propuesta de inversión puede soportar aumentos de costos y baja en los precios del producto en un 5 y 10 %, pero en un 15 %, traería como consecuencia la no ejecución del proyecto inversionista puesto que VAN < 0 .
4. La aplicación de la propuesta tecnológica tiene significativos impactos técnico, económico, ambiental y social.

Conclusiones

CONCLUSIONES GENERALES

1. De la bibliografía se precisó que las materias extrañas que más afectan en la eficiencia del proceso industrial son la paja, hojas, cogollo y tierra.
2. El análisis estadístico arrojó que existe influencia significativa entre el contenido de materias extrañas y las variables de eficiencia estudiadas tales como: azúcar hecha, recobrado y rendimiento industrial.
3. La propuesta como solución a la reducción del contenido de materias extrañas es un sistema de limpieza en seco de la caña sobre mesa alimentadora.
4. La pre-facitibilidad económica en condiciones óptimas arrojó un VAN de 70 875 832,91CUP al 12 % y 10 años por lo que la inversión es favorable y se recupera dentro del primer año de puesta en marcha.
5. Se demostró que la inversión desde el punto de vista financiero es rentable hasta un 10 % de variación del aumento de costos y disminución de los precios de venta.
6. La propuesta tecnológica muestra impactos significativos técnico, económico, ambiental y social.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Hasta tanto no se realice la inversión mantener un mayor control de los análisis de despalillo dado a la incidencia significativa del contenido de materias extrañas sobre las variables de eficiencia del proceso de obtención de azúcar.
2. Desarrollar un taller de alcance técnico - económico y ambiental sobre las materias extrañas, para elevar la cultura agroindustrial de los participantes al mismo.
3. En inversiones futuras instalar en la UEB fábrica de azúcar “14 de Julio” un sistema de picado de la materia vegetal separada para luego poder mezclarla con el bagazo y quemarla en las calderas sin inconvenientes.
4. Que la empresa azucarera de Cienfuegos realice el estudio de factibilidad económica tomando como base esta investigación para aplicar la propuesta.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- A. L. Fors, R. A. (1997). Los distintos componentes de la materia extraña: como afectan el trabajo de los ingenios. *Sugar Journal*, 25-31.
- Águila, E. E. B. D. (2015). *Efectos financieros y ambientales del cambio de sistema de limpieza industrial de la caña de azúcar, de húmedo a seco (2004-2008)*. Universidad Rafael Landívar, Escuintla.
- Alfaro, D. R. (2003). Determinación de los Contenidos de Materia Extraña en las Entregas Comerciales de Caña de Azúcar (*Saccharum spp*) en Hacienda Juan Viñas S.A., Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Dirección de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA).
- Arias, G. R. S. (2016). *Gerencia del proceso inversionista para introducir un proyecto de una mejor fábrica de azúcar en Antonio Sánchez*. (Tesis de Maestría). Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Cuba
- Ávalos, C. V. (2014). Ficha pública del proyecto. Programa de estímulo a la innovación. Veracruz, México.
- Barreto, L. (1991). Efecto de varios porcentajes y tipos de “trash” en el rendimiento de azúcar. *International Sugar Journal*, 191-194.
- Batule, E. (2001). Manual de química azucarera agrícola e industrial. In S. Azucarera, pp. 1-63. El Salvador.
- Beyra, R. C. (2016). Evaluation of sugar losses in final honey Sugar Mill “Manuel Fajardo”. *Ingeniería Agrícola*, 6, 34-45.
- Brito, F. (2013). Caña de azúcar y sostenibilidad: Enfoques y experiencias cubanas. Recuperado de www.laneta.apc.org/desal/spip.
- Bullock, J., Davis, T., Gentile, D., & Trautes, P. (2016). Economic Indicators. *Chemical Engineering*.
- Castillo, R. (2015). Factores que afectan la calidad de la caña de azúcar. Ecuador: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador - CINCAE.
- CentraRSE. (2012). Ecoeficiencia en Guatemala.
- Cerón, J. C. (2014). *Impacto del sector azucarero en el empleo en el Valle del Cauca. Un análisis a partir de informes de RSE basados en el modelo GRI*. Universidad de Cali, Colombia.

- Domínguez, S. P., & Cárdenas, G. A. (1981). La cosecha de la caña de azúcar. pp. 275-285. Medellín, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario-ICA.
- Fach, J. C. D. (2015). *Propuesta de planta diversificada para la producción de alimento animal en la Unidad Empresarial de Base: Fábrica de Azúcar "14 de Julio"*. (Tesis de Grado). Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos
- Fors, A. L. (1983). La calidad de la caña de azúcar que entra en la fábrica con relación a la cosecha mecanizada. La materia extraña. . *Sugar Journal*, 11-13.
- Frete, F. (2011). Caña de azúcar: análisis de la cadena de valor en Concepción y Canindeyú. Paraguay: USAID
- García, R. (2002). Statgraphics Plus Version 5.0. pp. 44-47. Madrid, España.
- García, R. d. J. D. (2014). *Eficiencia del corte manual de caña de azúcar*. Universidad Rafael Landívar, Guatemala de la Asunción. Retrieved from <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/04/Donis-Roman.pdf>
- Hernández, H. N., & Beltrán, L. R. (2014). Impacto de la materia extraña en la calidad de los jugos de caña y en los indicadores de eficiencia de un central azucarero. *Centro Azúcar*, 41, 44-54.
- Hernández, M. T. (1987). Microbiología Azucarera. Villa Clara: Universidad Central de Las Villas.
- Hernández, Y. P. (2013). *Estudio del impacto del tiro directo de la caña en el rendimiento y la eficiencia energética*. (Tesis de grado). Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Retrieved from <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2177/Yamila.pdf>
- Herrera, A. (2010). Materia prima más limpia en el ingenio San Miguelito con el uso de contenedores en la cosecha de la caña de azúcar (*saccharum spp.*). *Cultrop*, 31 (4).
- Honing, P. (1987). *Principios de tecnología azucarera* (Vol. I). La Habana.
- Huertas, R. R., & Patiño, S. F. (2005). Estadística industrial. Temas de estadística para Ingenieros. Universidad de Cádiz.
- Hugot, E. (1963). Manual para Ingenieros Azucareros. La Habana: Revolucionaria IPROYAZ. (2014). Presupuesto por unidad de obra.
- Jiménez, J. L. M. (2015). *Propuesta para un sistema recuperador de caña mecanizada en ingenio MAGDALENA S. A.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Retrieved

from

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/3476/1/Jos%C3%A9%20Luis%20M%C3%A1rquez%20Jim%C3%A9nez.pdf>

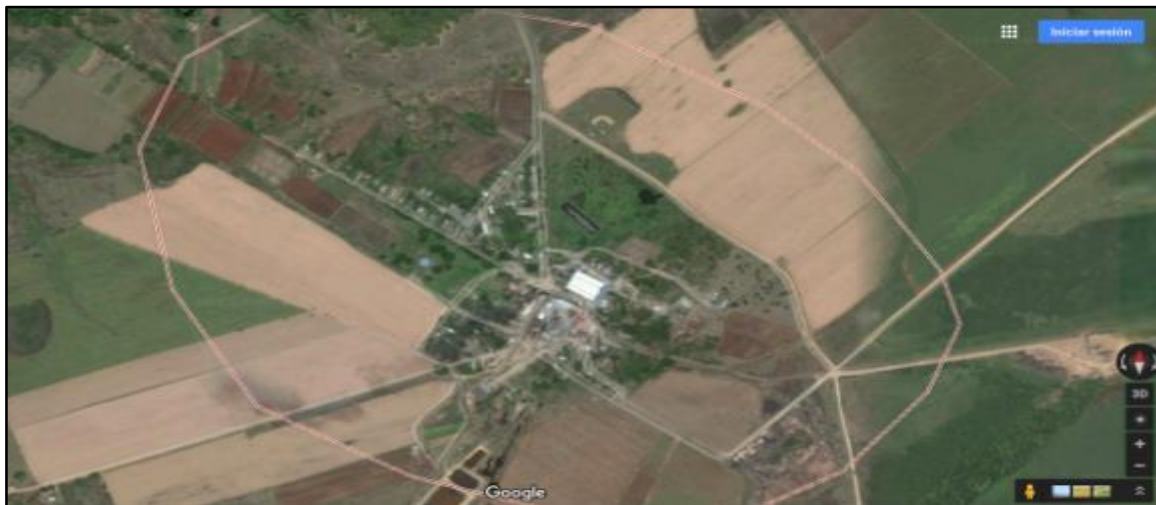
- Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la caña de azúcar. Cali, Valle del Cauca-Colombia.
- Lodos, J. (2013). ¿Cuál es la bioeléctrica que la industria azucarera y Cuba necesitan?
- López, A. V. (2005). *Desarrollo del Archivo Tecnológico de la Planta Piloto “José Martí*. (Tesis de Grado). Universidad Central Marta Abreu De Las Villas, Cuba
- Mantilla, D. E. G. (2010). Los Sistemas de Corte Mecanizado de Caña de Azúcar. Equipos de Cosecha. *Tecnicaña*, 21-24.
- Manual de Información Técnica. (1990): Ministerio del Azúcar.
- Martínez, J. A. (2014). *Obtención de jarabe de sacarosa a partir de guarapo y jugo claro de caña*. Universidad Veracruzana, México. Retrieved from <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/37841/2/alfaromartinezjessica.pdf>
- Mesa, Y. M. (2013). Influencia de la preparación de caña de azúcar a moler en la producción de azúcar en el Complejo Agroindustrial Azucarero Manuel Fajardo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 16-19.
- Ministerio de la Industria Azucarera. (1996). *Manual de Operaciones de Fabricación de Azúcar Crudo*. La Habana: MINAZ
- Palacio, E. (1986). Factores que inciden en la fabricación del azúcar. Cali, Colombia.
- Pérez, C. M. M. (2012). Influencia de la calidad de la materia prima en el proceso tecnológico, calidad del producto final, y el rendimiento industrial en una fábrica de azúcar. *Centro Azúcar*, 39, 28-34.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*
- Porras, J. B., & Alfaro, E. O. (2006). Efecto de la cosecha mecanizada en los rendimientos industriales de la caña de azúcar (*saccharum ssp*) en el Ingenio Quebada Azul, San Carlos, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rachid, C. T. C. C., & Balieirob, F. d. C. (2016). Sugarcane trash levels in soil affects the fungi but not bacteria in a short-term field experiment. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(2), 322-326.

- Ramos, E. L., & Ravelo, S. (2014). La caña de azúcar como fuente de lactosacarosa., 48, 60-62.
- Rein, P. (2007). *Cane sugar engineering*. Berlín: Verlag Dr. Albert Barents KG.
- Rein, P. W. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin: Verlag Dr. Albert Barents KG.
- Rosales, U. D. T. (1999). La Agroindustria Azucarera en Cuba. Transformaciones y Perspectivas. *The Economist*.
- Sejías, M. (2001). Generalidades del azúcar crudo.
- Silva, H. F. D. (2013). Evaluación de la acidez en el jugo de diferentes partes del tallo de caña de azúcar, ciclo 2010/2011.ICIDCA. Sobre derivados de la caña de azúcar, pp. 194-200.
- Suárez, S. D. (2010). Estudio ampliado del comportamiento de los azúcares reductores. Su influencia en la pureza de la miel final. Propuesta de un indicador para un método de control. *Avanzada Científica*, 6.
- Tonatto, J., & Romero, E. R. (2005). Importancia de la calidad de la materia prima en la productividad de la agroindustria azucarera (Vol. 67, pp. 1-13): Gacetilla Agroindustrial de la EEAOC.
- Torres, G., & Prieto, J. P. (2010). Desarrollo de un sistema de alimentación y picado de residuos agrícolas visto desde su metodología de diseño. *Vector* 5, 103 - 114.
- Vélez, C. (2010). Limpieza de caña en seco y aprovechamiento de la materia vegetal como combustible en Brasil. *Revista Técnicaña*, 12-19.
- Zafar, S. (2015). Sugarcane Trash as Biomass Resource. Morocco, Estados Unidos: BioEnergy Consult

Anexos

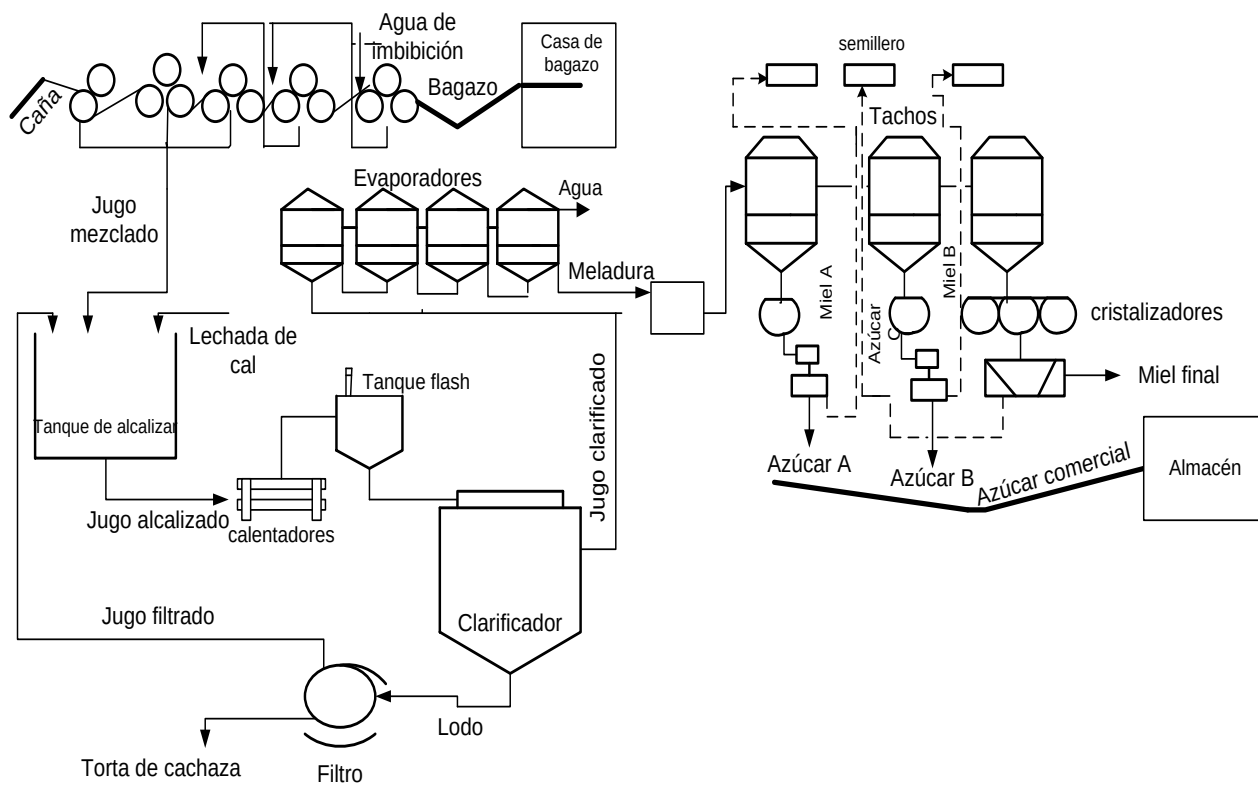
ANEXOS

Anexo 1: Vista satelital de la Fábrica de Azúcar UEB “14 de Julio”.



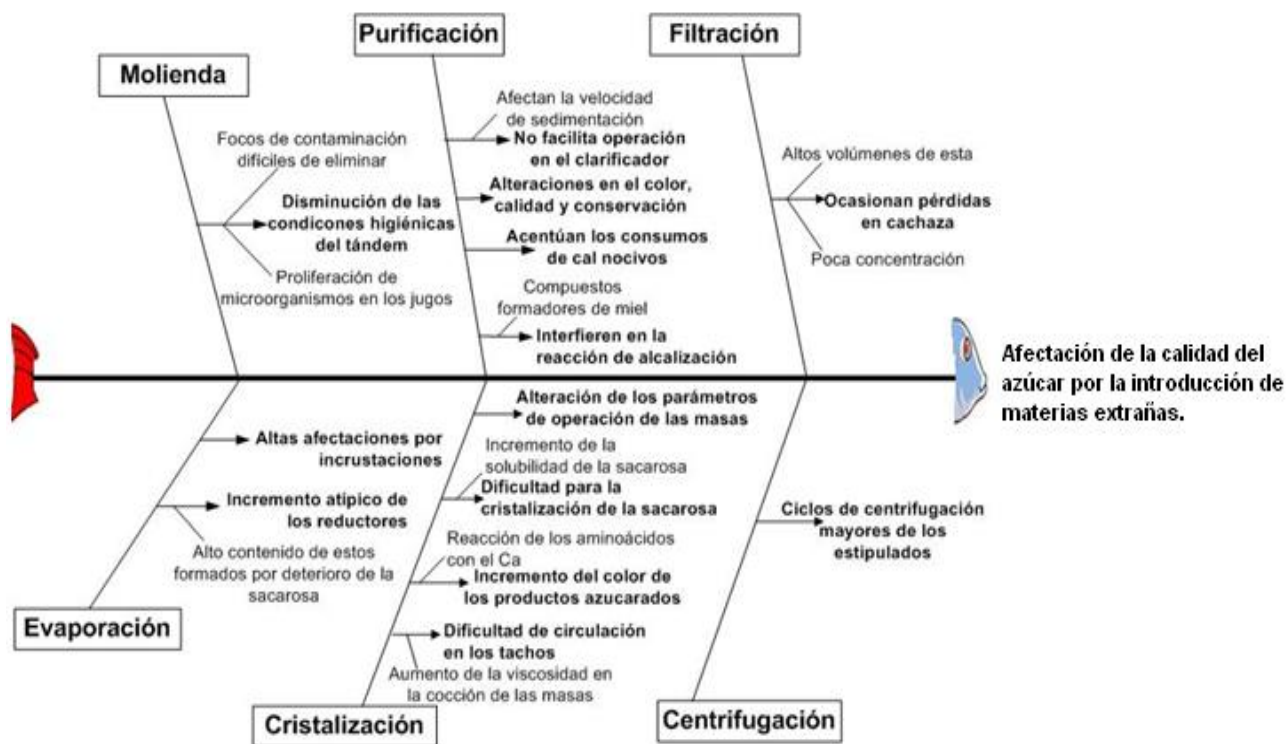
Fuente: www.google.es/maps

Anexo 2: Diagrama de flujo del proceso de obtención de azúcar.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Diagrama de Ishikawa.



Fuente: Elaboración propia.