

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGIA
CARRERA QUIMICA INDUSTRIAL



**SISTEMATIZACIÓN INDUSTRIAL DEL BALANCE DE
MATERIA EN LA EMPRESA AZUCARERA DE SAN
BUENAVENTURA**

Proyecto de Grado para obtener el Título de Licenciatura

Postulante: Paula Paxi Mamani

Tutor: Miguel Yucra Rojas, Ph.D.

La Paz - Bolivia

2020

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado especialmente a todas las personas que me ayudaron a seguir desarrollando el proyecto y me dijeron que no me dé por vencida para terminarlo y muy especialmente a mi mamá y papá que siempre me dijeron que estudiara y terminara mi carrera, todo lo hice por ella y tengo el fruto de todos los esfuerzos realizados.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por darme confianza y sabiduría para acabar el proyecto

A la facultad de tecnología y a mi querida carrera de Química Industrial. A los docentes que me proporcionaron herramientas necesarias para mi educación. Al Ing. Miguel Yucra (tutor) e Ing. Boris Alcaraz por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso pero he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi proyecto, con éxito y obtener una afable titulación profesional

RESUMEN

El proyecto de grado muestra una experiencia vivencial de una actividad industrial relacionado con el balance de materia a nivel industrial en el proceso de transformación de la caña de azúcar, en la perspectiva de orientar la obtención cantidad de sacarosa o pol en la etapa de extracción, realizando variaciones a la cantidad de agua de imbibición que ingresa a dicha operación. En este sentido el proyecto expresa una investigación experimental de tipo correlacional y descriptivo que ha seguido un análisis metodológico durante el proceso de sistematización industrial del balance de materia en la Empresa Azucarera de San Buenaventura.

ABSTRACT

The degree project shows an experiential experience of an industrial activity related to the balance of matter at the industrial level in the process of transformation of sugarcane, in the perspective of guiding in the greater amount of sucrose or pol in the extraction stage, making variations to the amount of imbibition water that enters this operation. In this sense, the project expresses an experimental research of a correlational and descriptive type that has followed a methodological analysis during the process of industrial systematization of the balance of matter in the Sugar Company of San Buenaventura.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: ORIGEN DEL PROYECTO	3
1.1. La Empresa	3
1.1.1 Antecedentes empresariales	3
1.1.2 Misión	5
1.1.3 Visión	5
1.1.4 Valores	5
1.1.5 Estructura organizacional	6
1.1.6 Características técnicas de la planta industrial de San Buenaventura.....	8
1.1.7 Experiencia de plantación de la caña de azúcar	10
1.1.8 Variedad de caña cultivada en EASBA.....	11
1.1.9 Producción histórica de azúcar en la empresa azucarera San Buenaventura	12
1.1.10 Características del producto final	12
1.1.11 Descripción del proceso industrial	13
1.1.12 Flujograma de proceso industrial para el azúcar	14
1.1.13 Determinación actual del balance de materia en la etapa de extracción	19
1.1.14 Secuencia procedimental.....	21
1.1.15 Obtención de datos en el proceso industrial de la etapa de extracción	26
1.1.16 Cálculos conceptuales de balance de materia realizado por EASBA.....	27
1.2 Proceso industrial del azúcar.....	30
1.2.1 Lavado y extracción	31
1.2.2 Clarificación.....	31
1.2.3 Evaporación, cristalización y centrifugación.....	32
1.2.4 Tamizado.....	32
1.2.5 Planteamiento del problema	33

1.3	Rendimiento	34
1.3.1	Descripción de la situación problemática.....	36
1.3.2	Formulación del problema.....	37
1.4	Variables consideradas	37
1.5	Objetivos	37
1.5.1	Objetivo general.....	37
1.5.2	Objetivos específicos.....	37
1.6	Justificación	38
1.6.1	Metodológica.....	38
1.6.2	Práctica.....	38
1.6.3	Tecnológica.....	38
1.6.4	Académica.....	38
1.7	Delimitación del estudio	39
1.7.1	Temática.....	39
1.7.2	Temporal.....	39
1.7.3	Espacial.....	39
<i>CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL Y DESARROLLO TEÓRICO</i>		41
2.1.	Marco Conceptual	41
2.1.1	Sistematización.....	41
2.1.2	Pol.....	41
2.1.3	Brix.....	41
2.1.4	Caña de azúcar.....	41
2.1.5	Fotosíntesis en la caña de azúcar.....	43
2.1.6	Bagazo.....	44
2.1.7	Extracción.....	44
2.1.8	Propiedades constituyentes químicos de la sacarosa en relación al proceso industrial.....	44

2.1.9	Anatomía del tallo de caña	45
2.1.10	Variedad de caña	47
2.1.11	Composición de la fibra.....	48
2.1.12	Evaluación de calidad de la caña	49
2.1.13	Balance de materia	53
2.1.14	Ecuación general de balance de materia	54
2.2	Desarrollo teórico	56
2.2.1	Cálculo de agua de imbibición por método de digestor en frío	56
2.2.2	Determinación de agua de imbibición a utilizar en la industria de caña	57
2.2.3	Intensificación del proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar con el uso de surfactantes aniónicos en el agua de imbibición.....	57
2.2.4	Optimización del porcentaje de extracción de jugo de caña de azúcar a través del análisis de índice de preparación	58
2.2.5	Análisis de investigaciones revisadas y EASBA	58
2.2.6	Sin reacción química	59
2.2.7	Con reacción química	59
2.2.8	Número de magnitudes desconocidas	59
2.2.9	Número de ecuaciones de balance de materia	59
2.2.10	Sustancia de unión.....	60
2.2.11	Mecánica para la resolución de problemas	60
2.2.12	Tipos de balance de materia	60
2.2.13	Balance de materia en la industria azucarera	61
2.2.14	Base fundamental del cálculo en la obtención de azúcar	62
2.2.15	Variables que influyen al rendimiento en la extracción	68
	CAPITULO 3: METODOLOGÍA DESARROLLADA	71
3.1.	Tipología del proyecto.....	71
3.2.	Tipo de investigación	72

3.3.	Métodos de investigación	72
3.4.	Alcance de la investigación.....	72
3.5.	Diseño de la investigación	72
3.6.	Técnicas e instrumentos de investigación	73
3.6.1.	Información primaria.....	73
3.6.2.	Información secundaria.....	75
<i>CAPITULO 4: PROPUESTA DE BALANCE DE MATERIA Y RESULTADOS</i>		77
4.1.	Desarrollo de variables para la planta industrial	79
4.2.	Balance de materia a nivel industrial	92
4.3.	Rendimiento con y sin propuesta	98
4.4.	Estimación de aumento de rendimiento de pol en una zafra	100
<i>CAPITULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO</i>		106
5.1.	Flujo de fondos con y sin proyecto.....	106
5.1.1.	Sin proyecto	106
5.1.2.	Con proyecto.....	107
<i>CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>		110
6.1.	Conclusiones.....	110
6.2.	Recomendaciones.....	111
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		114
<i>ANEXOS</i>		117

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Características técnicas de la planta industrial	8
TABLA N° 2: Resultado de pruebas de recepción definitiva 2017	9
TABLA N° 3: Caña plantada en EASBA y comunidades 2011 – 2018 en hectáreas.....	10
TABLA N° 4: Producción de Zafra anuales en toneladas.....	10
TABLA N° 5: Variedades de caña cultivadas en Bolivia	11
TABLA N° 6: Producción de azúcar histórico 2016 -2018	12
TABLA N° 7: Características del producto final	13
TABLA N° 8: Datos conocidos a través de medición en EASBA.....	20
TABLA N° 9: Pérdida de sacarosa en el proceso industrial del azúcar	35
TABLA N° 10: Análisis típicos de la fibra de caña (en g/100 g materia seca).....	49
TABLA N° 11: Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la caña de azúcar.....	51
TABLA N° 12: Análisis de investigaciones revisadas y EASBA.....	58
TABLA N° 13: Casos para resolución	64
TABLA N° 14: Efecto de cambios en la tasa de imbibición sobre la extracción de un difusor	69
TABLA N° 15: Instrumentos de medición.....	73
TABLA N° 16: Planilla de registro de pesos iniciales de caña y agua	80
TABLA N° 17: Planilla de registro de masas del jugo mezclado y masa de bagazo mojado	81
TABLA N° 18: Planilla de registro de % de pol en caña, % pol en jugo mezclado y % Brix en jugo mezclado.....	82
TABLA N° 19: Planilla de registro de masas de bagazo mojado y seco	83

TABLA N° 20: Planilla de cálculo de porcentaje de humedad.....	84
TABLA N° 21: Planilla de cálculo de porcentaje de fibra en bagazo mojado.....	85
TABLA N° 22: Planilla de cálculo de porcentaje de fibra en caña.....	88
TABLA N° 23: Planilla de cálculo de porcentaje de agua de imbibición.....	89
TABLA N° 24: Cálculo de porcentaje de masa de bagazo mojado	90
TABLA N° 25: Resumen de promedios de datos obtenidos.....	91
TABLA N° 26: Cuadro comparativo de resultados de balance de materia EASBA y propuesta	99
TABLA N° 27: Porcentaje de extracción de pol EASBA.....	101
TABLA N° 28: Porcentaje de extracción de pol resultado de la propuesta	102
TABLA N° 29: Cuadro comparativo de porcentajes de extracción EASBA y propuesta	103
TABLA N° 30: Flujo de fondos sin proyecto	106
TABLA N° 31: Flujo de fondos con proyecto	107
TABLA N° 32: Relación beneficio costo de la propuesta	108

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: Organigrama de la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA	7
GRÁFICO N° 2: Flujograma de proceso industrial del azúcar	14
GRÁFICO N° 3: Análisis de causas y efectos	33
GRÁFICO N° 4: Diagrama ishikawa para la problemática	34
GRÁFICO N° 5: Pérdida de sacarosa por etapas	36
GRÁFICO N° 6: Anatomía del tallo de la caña	45
GRÁFICO N° 7: Corte transversal del tallo de caña.....	46
GRÁFICO N° 8: Esquema de entradas y salidas de extracción	63
GRÁFICO N° 9: Flujo del proceso de investigación	71
GRÁFICO N° 10: Esquema de la propuesta	78

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Etapas de proceso para producir azúcar en bruto a partir de la caña de azúcar	30
FIGURA N° 2: Formación de Sacarosa a partir de Glucosa y Fructosa	43
FIGURA N° 3: Características de calidad de la caña de azúcar.....	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Extracción de pol.....	22
Ecuación 2: Balance de materia general	22
Ecuación 3: Masa de bagazo mojado a partir del balance general.....	23
Ecuación 4: Masa de jugo mezclado a partir de su densidad.....	23
Ecuación 5: Porcentaje de fibra.....	23
Ecuación 6: Masa de fibra.....	24
Ecuación 7: Masa de pol en caña	24
Ecuación 8: Porcentaje de bagazo en caña.....	24
Ecuación 9: Masa de fibra en bagazo.....	25
Ecuación 10: Masa de pol en bagazo	25
Ecuación 11: Masa de pol en jugo mezclado	25
Ecuación 12: Porcentaje de agua de imbibición	26
Ecuación 13: Extracción de pol.....	26
Ecuación 14: Ecuación de extracción de pol.....	52
Ecuación 15: Masa constante	53
Ecuación 16: Diferencial de masas igual a cero.....	53
Ecuación 17: Ecuación general del balance de materia	54
Ecuación 18: Acumulación	55
Ecuación 19: Ecuación de balance general con acumulación.....	55
Ecuación 20: Porcentaje de humedad por diferencia de pesos	56
Ecuación 21: Cálculo de porcentaje de fibra.....	56
Ecuación 22: Balance por componentes de fibra en caña y bagazo.....	56

Ecuación 23: Porcentaje de fibra en caña	57
Ecuación 24: Fórmula fundamental del Molino.....	61
Ecuación 25: Fórmula fundamental del Molino para la extracción de caña	63
Ecuación 26: Peso de bagazo a partir de fórmula fundamental	65
Ecuación 27: Peso	65
Ecuación 28: Peso del jugo	65
Ecuación 29: Balance por componentes para fibra en caña y bagazo.....	65
Ecuación 30: Peso de bagazo a partir de balance por componentes para fibra en caña y bagazo.	65
Ecuación 31: Peso de agua de imbibición a partir de fórmula fundamental	65
Ecuación 32: Peso de pol en bagazo	66
Ecuación 33: Peso de pol en caña a partir de la diferencia de pesos de pol.....	66
Ecuación 34: Peso de pol en jugo	66
Ecuación 35: Peso de pol recobrado	67
Ecuación 36: Peso de pol hecho.....	67
Ecuación 37: Peso de pol en caña	67
Ecuación 38: Peso de pol en jugo	67
Ecuación 39: Peso del jugo	67
Ecuación 40: Peso del agua a partir de fórmula fundamental	67
Ecuación 41: Porcentaje de extracción de pol.....	68
Ecuación 42: Balance general para la extracción.....	86
Ecuación 43: Balance por componentes para la pol.....	86
Ecuación 44: Balance por componentes para la fibra	87
Ecuación 45: Fracción másica de fibra en caña	87
Ecuación 46: Porcentaje de fibra en caña	87

Ecuación 47: Masa de imbibición a partir del porcentaje de agua de imbibición.....	93
Ecuación 48: Masa de bagazo a partir del porcentaje de masa de bagazo	93
Ecuación 49: Balance por componentes de pol en caña, jugo mezclado y bagazo.....	95
Ecuación 50: Masa de pol jugo mezclado a partir de fracción másica de pol en jugo mezclado	95
Ecuación 51: Masa de jugo mezclado a partir de balance de materia general	96
Ecuación 52: Balance por componentes para pol en caña, jugo mezclado y bagazo mojado	97
Ecuación 53: Masa de pol en caña a partir de fracción másica de pol en caña.....	97

INDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Niveles de confianza y error muestral	117
ANEXO N° 2: Inflación histórica en Bolivia.....	118
ANEXO N° 3: Incremento de consumo de agua.....	119
ANEXO N° 4: Nomenclatura.....	120
ANEXO N° 5: Glosario.....	123

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera se constituye en uno de los procesos de manufactura más complejos y dinámicos, donde los flujos de calor interactúan con flujos de materiales, con la finalidad de recuperar y transformar en cristal, la máxima cantidad posible de sacarosa contenida en la caña de azúcar.

La calidad de materia prima que se utiliza es variable debido a su composición, variedad, suelo en el cual se cultiva, prácticas de manejo que incluyen las dosis y épocas de aplicación de los fertilizantes, grado de madurez haciendo que estos factores determinen la calidad de la materia prima; el valor de la caña de azúcar, entonces para la fábrica depende de la calidad de azúcar que se pueda recobrar de ella adicional al costo asociado a su procesamiento, por lo tanto, es importante contar con medios adecuados para evaluar esta materia prima, de manera que el área industrial pueda ajustar la planta y equipos que permitan optimizar la obtención del azúcar de manera eficiente a un mínimo costo y para ello es importante un adecuado planteamiento de balance de materia a nivel industrial.

El contenido de sacarosa que se encuentra en la caña para el proceso industrial sigue una secuencia, iniciando en la extracción del jugo, el cual se realiza mediante el método de lixiviación en una máquina difusora; posteriormente pasa por molinos que al ejercer fuerzas mediante masas metálicas exprimen la caña, y extraen de esa manera mayor jugo; posteriormente pasa a la etapa de clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación, secado y envasado. En cada una de las etapas señaladas puede existir pérdida de sacarosa por distintas razones, por lo tanto, la sacarosa obtenida al final del proceso como producto final (azúcar), representa un mayor porcentaje respecto al que ingresó al inicio del proceso de producción.

Por lo tanto, el proyecto de grado expresa el proceso de sistematización del balance de materia en la etapa de extracción con el enfoque académico industrial como un mecanismo metodológico para expresar una posible solución que permita recomendar el ejercicio de cálculo en la extracción de azúcar en la empresa azucarera localizada en la Provincia de San Buenaventura del departamento de La Paz, Bolivia.

CAPITULO I

ORIGEN DEL PROYECTO

CAPITULO 1: ORIGEN DEL PROYECTO

1.1. La Empresa

La Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA) creada el 15 de septiembre de 2010, mediante Decreto Supremo N° 637, con el principal objetivo de producir y comercializar caña de azúcar y derivados, entre ellos alcohol, energía eléctrica, bagazo hidrolizado y compost.

El proceso de Licitación Pública Internacional para la contratación “Llave en Mano” de la Planta Azucarera de inicia el 27 de mayo de 2011, posteriormente se firma dicho contrato con la empresa CAMCE UNION el 5 de marzo de 2012; posteriormente el 25 de junio de ese mismo año se lleva a cabo la Consulta Pública y se aprueba el Estudio de Impacto Ambiental, seguidamente el 6 de septiembre del mismo año la Empresa Azucarera San Buenaventura da la orden de proceder a la empresa CAMCE UNION.

El año 2015 se realizan pruebas de producción, presentándose el 29 de octubre de 2015 la primera prueba de producción y se presenta el Primer Quintal de Azúcar San Buenaventura. El siguiente año se inicia la prueba de recepción provisional de la Planta Industrial de Azúcar y Derivados aprobándose el 8 de noviembre de 2016. El 14 de diciembre de 2017 se inicia la prueba de recepción definitiva de la Planta Industrial de Azúcar y Derivados de San Buenaventura aprobándose el 14 de diciembre de 2017. Finalmente, el 10 de agosto de 2018 se inicia la Primera Zafra Oficial de la Empresa Azucarera San Buenaventura (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2018).

1.1.1 Antecedentes empresariales

La Corporación Regional de Desarrollo de La Paz (CORDEPAZ), fue creada en el año 1971 con tres estrategias de producción:

1. La creación de un polo de desarrollo regional en torno a una industria azucarera ubicada en el municipio de San Buenaventura.
2. La construcción de una represa hidroeléctrica.

3. La exploración y explotación de recursos hidrocarburíferos.

El año 2006 se declara Prioridad Nacional la construcción del Complejo Agroindustrial de San Buenaventura mediante Ley N° 3546, teniendo como base la implementación del Ingenio Azucarero, para la producción de Azúcar y Alcohol etílico.

Posteriormente el año 2010 se crea La Empresa Azucarera San Buenaventura (EASBA) mediante Decreto Supremo N° 637 como una Empresa Pública Nacional Estratégica, cuyo objetivo es “la producción de caña de azúcar, así como la producción y comercialización de azúcar y derivados, para incentivar la producción nacional con valor agregado en procura de la soberanía y seguridad alimentaria”.

Los estudios realizados para la instalación de un Ingenio Azucarero en el Norte de La Paz, Municipio de San Buenaventura son los siguientes:

- Estudio de Factibilidad Complejo Agroindustrial de la caña de azúcar de San Buenaventura (1985), elaborado por CORDEPAZ.
- Estudio de Pre Factibilidad para el Proyecto de Caña de Azúcar (2007), elaborado por El Ceibo Ltda.
- Estudio de Factibilidad Económica y Financiera (2009), elaborado por Conservación Internacional Bolivia.
- Estudio de Factibilidad de un Ingenio Azucarero con Refinería y Destilería (2010), elaborado por Enlace Consultores en Desarrollo SRL.
- Estudio de Ingeniería Básica Preliminar para la Implementación de una Planta Industrial de Azúcar y alcohol (2010). Elaborado por el MDR y T.
- Estudio de Reestructuración y Complementación de la Ingeniería Básica Preliminar del Complejo Agroindustrial Azucarero San Buenaventura (2011), elaborado por EASBA.

- Estudio de Evaluación Financiera y Económica del Ingenio Azucarero de San Buenaventura (2011), elaborado por EASBA.

La Ingeniería Básica Preliminar tiene la visión del respeto a la madre tierra, introduciendo tecnologías nuevas para lograr la mayor eficiencia del proceso industrial con el menor impacto ambiental posible.

El proyecto en todas sus fases está financiado por tres créditos del Banco Central de Bolivia, que cubre la inversión y el gasto de funcionamiento, para la producción de azúcar y derivados para la contribución a la seguridad y soberanía alimentaria de la región, convirtiéndose en un aporte fundamental y estratégico para el proceso de industrialización del país (Memoria Anual Empresa Azucarera San Buenaventura, 2017).

1.1.2 Misión

La misión de la Empresa Azucarera San Buenaventura enfocada a producir, industrializar y comercializar caña de azúcar, azúcar y derivados, contribuyendo a la soberanía productiva, respetando la Madre Tierra (EASBA, 2019).

1.1.3 Visión

La visión de la Empresa Azucarera San Buenaventura es ser una empresa consolidada y de excelencia que contribuye al desarrollo productivo nacional (EASBA, 2019).

1.1.4 Valores

- Trabajo en equipo

El trabajo en equipo es un valor debido a que los resultados hacen que el complejo agroindustrial de la Empresa Azucarera San Buenaventura sea implantado y operado exitosamente.

- Compromiso

Para la empresa es importante tener compromiso diario en la ejecución y cumplimiento de las operaciones programadas.

- Capacidad profesional y Responsabilidad

La capacidad profesional es importante para el adecuado desempeño de las funciones cotidianas en la empresa. Así mismo considera que la responsabilidad con la producción, distribución y calidad de los productos es considerada como uno de los valores de importancia.

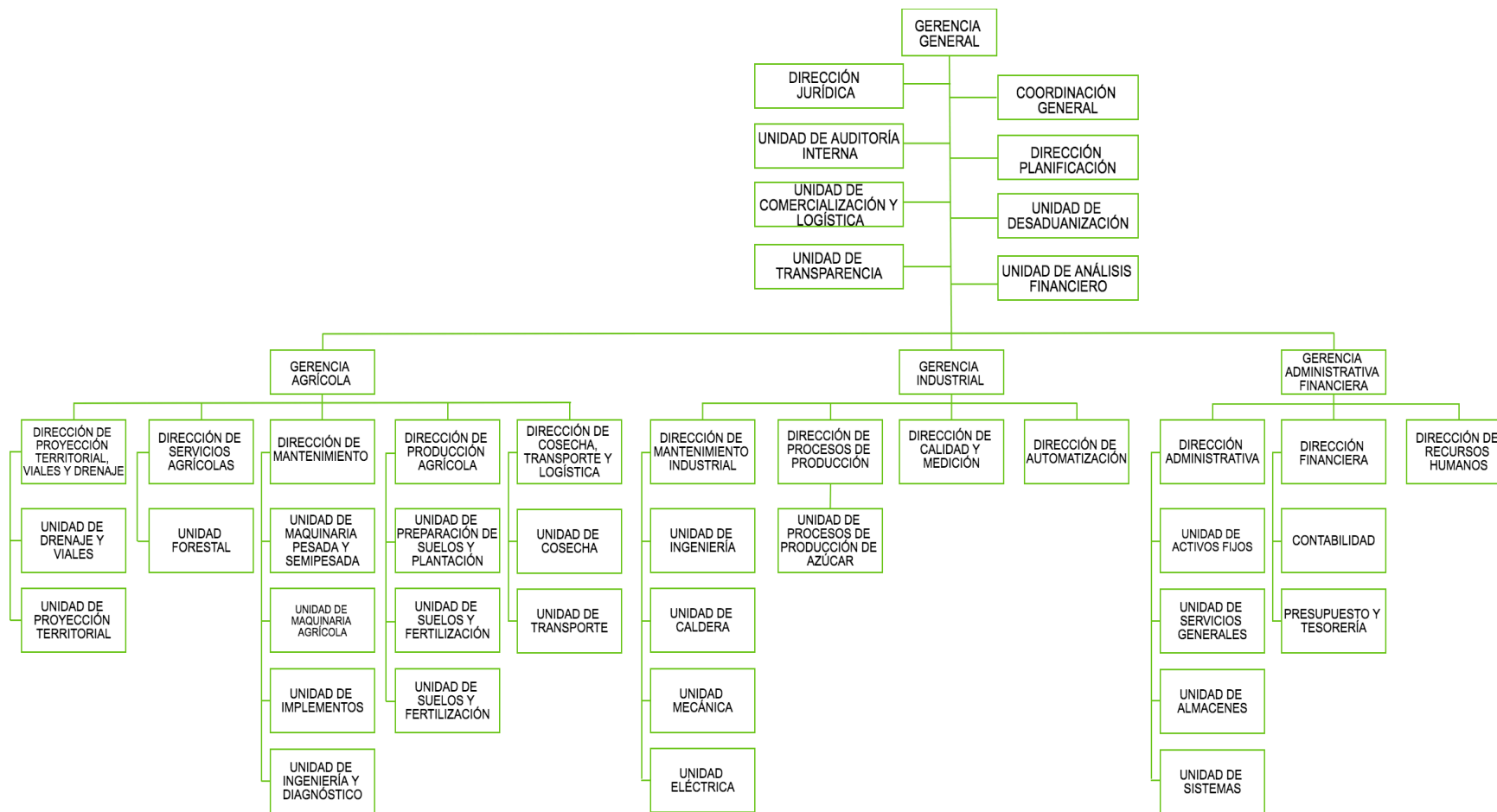
➤ Honestidad y transparencia

Para la empresa es importante desarrollar las actividades con Honestidad y transparencia para con los mismos servidores públicos de la empresa, así como para otras entidades y personas externas a nuestra empresa.

1.1.5 Estructura organizacional

La estructura organizacional de la Empresa Azucarera San Buenaventura comprende a la Gerencia General, posteriormente tres Gerencias la primera de ellas Gerencia Agrícola, la segunda la Gerencia Industrial, y la tercera la Gerencia Financiera, las cuales se muestran en el siguiente organigrama de la empresa:

GRÁFICO N° 1: Organigrama de la Empresa Azucarera San Buenaventura EASBA



Fuente: Empresa Azucarera San Buenaventura, 2019

En el gráfico N° 1 se puede apreciar el organigrama actualizado hasta el año 2019, de la Empresa Azucarera San Buenaventura, donde a la cabeza de la empresa se encuentra la Gerencia General, posteriormente la Dirección Jurídica y de Planificación, Coordinación General y las unidades de Auditoría Interna, Comercialización , logística, de Transparencia, Desaduanización y la unidad de Análisis Financiero. Posteriormente se encuentran las Gerencias Agrícola, Industrial y Administrativa Financiera.

1.1.6 Características técnicas de la planta industrial de San Buenaventura

A continuación, se detalla la capacidad de producción, la producción de azúcar anualmente, la producción de alcohol potable en litros diarios, la producción de bagazo hidrolizado, la producción de energía, las tecnologías nuevas, y los empleos generados por la empresa tanto los directos como los indirectos, dicha información proporcionada por el Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, (2018).

TABLA N° 1: Características técnicas de la planta industrial

Capacidad productiva industrial	7.000 toneladas de caña al día
Producción de azúcar	57.500 toneladas al año
Producción de Alcohol Potable	100 mil litros por día
Producción de Bagazo Hidrolizado	1.650 toneladas al año (15 Ton/Día), Alimento animal y compost para fertilizante orgánico.
Producción de energía	30 Mega watts (2 Turbogeneradores de 15 MW c/u).
Tecnologías Nuevas	Sistema de Ozonización Sistema de Difusión
Empleos a ser generados	500 empleos directos y 5.000 empleos indirectos

Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2018

Con base a la tabla N° 1 se puede concluir que la capacidad industrial de la planta es de 7.000 Toneladas de caña diarias, puede producir 57.500 toneladas de azúcar anualmente,

100 mil litros diarios de alcohol potable, 1650 toneladas de Bagazo Hidrolizado. Así mismo la capacidad de la planta en producción energética es de 30 Mega-watts tomando en cuenta 2 turbogeneradores de 15 MW cada uno, además tiene un Sistema de Ozonización y Sistema de Difusión, no obstante, puede generar 500 empleos directos y 5.000 empleos indirectos.

Así mismo a continuación se muestra el resultado de las pruebas recepción definitiva 2017 que fueron aprobadas:

TABLA N° 2: Resultado de pruebas de recepción definitiva 2017

DESCRIPCIÓN	PRODUCCIÓN	OBSERVACIONES
Caña procesada (t)	93.478,86	Pol 11,21%, Fibra 18,15%, Materia Extraña 15,19%
Azúcar Producida (t)	7.498,36	Azúcar Blanca: Color 263 IU Sacarosa: 99,6%, SO ₂ 4.6 ppm. Max. Prod. 569.3 (t/día) Rend. Prom. 8%
Alcohol Producido (l)	1.018.767	96,3 °GL > 95,5 °GL Acidez 12,4 mg/l < 18 mg/l Max. Prod. 108,084 (l/día) > 100,000 (l/día)
Bagazo Hidrolizado (t)	101,66	Acidez 0,71 g/100g, Humedad 62,53%, Fibra cruda 13,57g/100g Max. Rend. 39.5 (t/día) > 15 (t/día)
Vinaza Concentrada (m³)	2.682,03	Rend. Prom. 66.31 °Bx > 65 °Bx
Compost (t)	819,97	Mezcla de Ceniza, Cachaza, Vinaza, Lodo orgánico
Energía (MW*h)	5.342,84	Energía Total Generada por la Planta Industrial
Energía (MW*h)	751.87	Energía Inyectada al SIN
Energía (MW*h)	4.590,97	Energía Total consumida por la Planta Industrial

Fuente: EASBA, 2018

En la tabla N° 2 se puede apreciar el resultado de las pruebas de recepción definitiva publicada el año 2017, que se mantiene hasta la actualidad, donde la capacidad industrial de caña procesada es 93.478,86 (t), con un 11,21% de pol, 18,15% de fibra, y 15,19% de materia extraña. Por otro lado, el azúcar producido es igual a 7498,36 (t).

1.1.7 Experiencia de plantación de la caña de azúcar

La plantación de caña es bastante importante para el aseguramiento de materia prima para la producción de azúcar, por lo que adicional a la plantación de la empresa también cuenta con plantaciones en diferentes comunidades, a continuación, se muestra un cuadro histórico de las hectáreas sembradas en comunidades y en EASBA:

TABLA N° 3: Caña plantada en EASBA y comunidades 2011 – 2018 en hectáreas

LUGAR	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Comunidades	0	0	35	102,65	18,36	23,96	514,59	572
EASBA	107,76	109,4	95,7	187,31	624,83	141,96	680,01	335
TOTAL (ha)	107,76	109,4	130,7	289,96	643,19	165,92	1194,6	907

Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2018

En la tabla N° 3 se muestra el historial de las hectáreas sembradas en las comunidades y en EASBA, así mismo muestra que el primer y segundo año 2011 y 2012 se sembró únicamente en la empresa, sin embargo, se requirió a partir del año 2013 sembrar en diferentes comunidades:

En el cuadro anterior se puede notar que en el año 2018 EASBA cubre un 37% de plantación y las comunidades un total del 63%.

El rendimiento de la zafra en los últimos tres años fue el siguiente:

TABLA N° 4: Producción de Zafra anuales en toneladas

LUGAR	2016	2017	2018
Comunidades	72747,36	86.231,64	45.855,30
EASBA	6.113,64	7.246,85	149.113,78
TOTAL (t)	78.861,00	93.478,49	194.969,08

Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2018

En la tabla N° 4, se puede apreciar el rendimiento de caña según la plantación, entre ellas se puede apreciar que la gestión 2016, existe un predominio de plantación en comunidades hasta la gestión 2017, posteriormente en la gestión 2018, el escenario se invierte, teniendo mayores plantaciones en EASBA y en menor proporción en las comunidades.

1.1.8 Variedad de caña cultivada en EASBA

La caña *Saccharum officinarum* cultivada en EASBA pertenece a la familia de las gramíneas, es una planta C4, la cual tiene una alta eficiencia fotosintética, que aproximadamente está por encima del promedio de otras plantas en un 150 - 200%, en función de las condiciones locales, la planta puede formar entre 4 y 12 tallos, los cuales pueden crecer hasta 3 a 5 metros de altura, cuyo contenido de azúcar (sacarosa) oscila entre un 11 y 16 %.

Así mismo según el reporte de EASBA Empresa Azucarera San Buenaventura (2014), la perspectiva de variedades adicionales fue: RBB 77 -26, NA 56 – 26, UCG 90-20, UCG 96 – 10, UCG 96 – 10, NA 89 – 1090, NA 85 – 1602, y NA PLAYERA, para tener variedad de caña de azúcar.

De igual forma las variedades cultivadas en Bolivia son:

TABLA N° 5: Variedades de caña cultivadas en Bolivia

Departamento	Variedades
Santa Cruz	NA-5626, CO-421, CB-3822, B-37161, RBB-7726, CIMCA-77316, S. PABLO, RB-72453 y otros.
Tarija (Bermejo)	CP 48-103, TUC 7420, CP 65-361, NA 85-1602 y SP 70-1143
La Paz (EASBA)	C4, RBB 77 -26, NA 56 – 26, UCG 90-20, UCG 96 – 10, UCG 96 – 10, NA 89 – 1090, NA 85 – 1602, y NA PLAYERA

Fuente: Ministerio de Desarrollo y Tierras 2015

La tabla N° 5 muestra las variedades de caña cultivadas en el país, cuyos departamentos están entre Santa Cruz, Tarija, específicamente en Bermejo, y La Paz en la Empresa Azucarera San Buenaventura.

1.1.9 Producción histórica de azúcar en la empresa azucarera San Buenaventura

Por consiguiente, a continuación, se muestra los resultados de la producción desde 2016 a 2018.

TABLA N° 6: Producción de azúcar histórico 2016 -2018

	Zafra para la recepción provisional 2016	Zafra para la recepción definitiva 2017	Zafra valores estimados 2018
Azúcar producida (qq)	109.464	163.008	331.739
Alcohol producido (l)	1.335.868	1.018.767	2.800.440
Bagazo Hidrolizado (t)	0	200	400

Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2018

La tabla N° 6, muestra la producción de azúcar histórica entre las gestiones 2016, al 2018, donde se puede apreciar que el crecimiento de azúcar producida entre el año 2016 y 2017 es de 53.544 (qq), y entre 2017 y 2018 es 168731 (qq), por lo que existe un crecimiento considerable en la última gestión.

1.1.10 Características del producto final

La Empresa Azucarera San Buenaventura produce desde el año 2018 azúcar blanca y morena, ambas siguen el mismo flujo productivo y son separadas por el color mediante espectrofotometría, y los requisitos del producto son los siguientes:

TABLA N° 7: Características del producto final

Requisito	Unidad	NB/NA 009:2008		Método de ensayo ICUMSA ¹
		Mínimo	Máximo	
Polarización a 20 °C	°Z	99,4	-	GS2/3-1
Humedad	%	-	0,06	GS 2/1/3-15
Cenizas por conductividad	%	-	0,10	GS 2/3-17
Azúcares reductores	%	-	0,10	GS1/3/7-3
Color(*)	UI	-	150	GS1 – 7
Dióxido de azufre	mg/kg	-	20	GS1/3/7 - 3
Arsénico, As	mg/kg	-	1	GS2/3 - 23
Cobre, Cu	mg/kg	-	2	GS 2/3 - 29
Plomo, Pb	mg/kg	-	0,5	GS2/3-23
(*) Valor diferente a la norma pero que es requisito del producto deseado a obtener en la Planta Industrial a diseñarse.				

Fuente: Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural, 2018

En la tabla N° 7, se muestran las características del producto final producida en la Empresa Azucarera San Buenaventura, donde se aprecian rangos según el método de ensayo ICUMSA, de la polarización, humedad, cenizas por conductividad, azúcares reductores, color, dióxido de azufre, Arsénico As, Cobre Cu, y Plomo Pb.

1.1.11 Descripción del proceso industrial

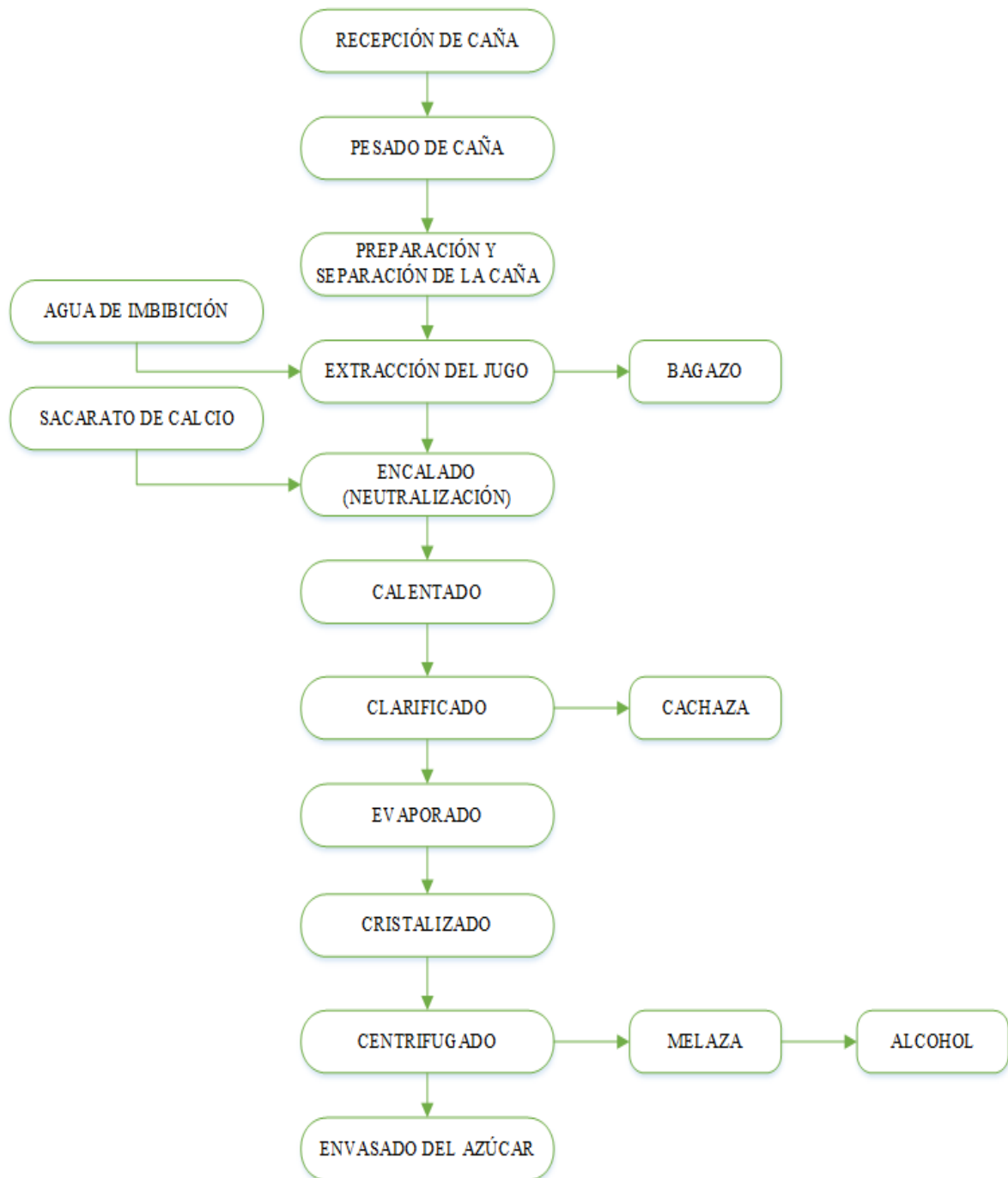
El proceso productivo inicia con la recepción de la caña de azúcar y finaliza con la obtención de sus derivados, que en el contexto de la Empresa Azucarera San Buenaventura es principalmente el azúcar.

¹ ICUMSA son las siglas en inglés International Commission for Uniform Methods for Sugar Analysis que traducido al español significa Comisión Internacional de Métodos Uniformes para el Análisis del Azúcar.

1.1.12 Flujograma de proceso industrial para el azúcar

A continuación, se desarrolla el flujograma del proceso industrial del azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura:

GRÁFICO N° 2: Flujograma de proceso industrial del azúcar



Fuente: Empresa Azucarera San Buenaventura, 2019

En el gráfico N° 2 se puede apreciar el flujograma de proceso industrial de azúcar en la Empresa Azucarera San Buenaventura, donde se inicia desde la recepción de caña, pesado de la caña, posteriormente la preparación de la caña y su respectiva separación, para proceder a la extracción del jugo con la adición de agua de imbibición donde el resultado es el jugo y el residuo el bagazo. Posteriormente el jugo pasa al encalado (neutralización) donde se agrega sacarato de calcio, seguidamente pasa al calentamiento, la clarificación, evaporación y cristalización, para centrifugarse obteniendo los cristales de azúcar para finalmente ser envasado.

Cada operación se detalla a continuación:

➤ **Extracción**

○ **Recepción de la caña de azúcar**

Los tallos de caña de azúcar o también conocidos como chatas² se reciben en el almacén de caña cruda ubicada al exterior de la planta industrial, en el cual se realiza un control de rotación por lotes, es decir que la caña que primero fue recibida, será la que primero pase al proceso industrial, con el fin de evitar que la caña envejezca de modo que se pueda evitar la pérdida de sacarosa en la misma.

○ **Pesado de la caña de azúcar**

La caña es transportada por camiones de 20 toneladas de capacidad, para realizar el pesado de la caña de azúcar, se procede inicialmente a la descarga de la caña, del cual se toma muestras de 20 kilogramos de cada lote, para la toma de datos relevantes en laboratorio para la producción de azúcar en la planta:

- Cantidad de azúcar por tallo de caña.
- Calidad del tallo de caña.
- Proveedor del lote de tallos de caña.

² Chata es también conocido como unidad de tallo de caña de azúcar.

- Parcela a la que pertenece el tallo de caña.

Posteriormente se procede a realizar el pesado de todo el lote de tallos de caña de azúcar en la balanza industrial, para posteriormente ser registrado y descargado en la mesa de distribución, la misma que tiene la función de eliminar materias extrañas mediante un tamiz que separa la caña.

- **Preparación y separación de la caña**

El lote de caña ingresa a la niveladora, picadora y desfibradora que corta y desmenuza la caña, del cual se separan los residuos extraños en el cargamento de caña.

- **Extracción del jugo**

Posteriormente pasa al sistema de difusión en el cual se adiciona agua de imbibición para diluir el jugo retenido de modo que facilite la extracción del jugo (método de lixiviación), dicho jugo es conocido también como guarapo.

En esta operación resulta como residuo el bagazo húmedo, el cual es transportado a los molinos para ser deshidratado y secado, para la recuperación del jugo contenido en el bagazo para su retorno al proceso. Posteriormente el bagazo obtenido será transportado a los calderos que servirá de combustible para la producción de energía eléctrica.

- **Clarificación y Evaporación**

- **Encalado (Neutralización)**

Al jugo se le añade sacarosa de calcio $C_6H_8CaO_8 * 4H_2O$ para la eliminación de las impurezas, la cal adicionada como lechada, neutraliza la acidez natural del jugo y forma sales insolubles de fosfato de calcio $Ca_3(PO_4)_2$, resultado de ello se obtiene un jugo alcalizado con un pH en un rango de 7,2 y 7,4.

- **Calentamiento**

El jugo alcalizado es sometido a calor hasta una temperatura de 105 °C para eliminar las impurezas que puedan existir, ya que a dicha temperatura se

coagulan las albúminas, algunas grasas, ceras y gomas contenidas en el jugo alcalizado, al igual que permite la liberación de gases incondensables.

○ **Clarificación**

Seguidamente el jugo pasa a los clarificadores que son tanques decantadores, en el cual se precipitan las impurezas por la acción del fosfato de calcio $Ca_3(PO_4)_2$, la formación de coágulos, y la adición de un polímero sintético a base de poliacrilamidas en una dosis de 10 ppm sobre el peso del jugo para acelerar la decantación de los sólidos en suspensión; resultado del cual se obtiene un jugo clarificado con un pH entre 6,8 y 7,2 y un lodo conocido como cachaza la cual pasa por los filtros al vacío de tambor rotativo para la recuperación del jugo que aún contiene para su retorno al proceso, posteriormente la cachaza filtrada es enviada a los campos de siembra que sirve como abono del mismo.

○ **Evaporación**

El jugo clarificado compuesto por un 85% de agua y un 15% de sólidos pasa a través de tamices estacionarios donde se retira el bagacillo que no sedimentó en los clarificadores; posteriormente ingresa a la estación de evaporadores en el que se adiciona permanentemente la enzima alfa amilasa para eliminar almidones a una dosis de 2 ppm, se adiciona también un anti incrustante en una dosis de 10 ppm, de modo que se pueda reducir la formación de incrustaciones sobre las paredes de los tubos de los evaporadores. Durante esta operación se le extrae dos terceras partes de agua por acción de la evaporación, en el cual se concentra hasta formar melado, es decir la miel o jarabe de la caña, con un contenido aproximado de 65% de sólidos y 35% de agua.

➤ **Cristalización**

○ **Cristalización**

El melado formado es sometido a la aplicación de aire para conseguir la flotación de impurezas que lograron pasar en el proceso de clarificación; seguidamente la meladura es calentada a una temperatura de 85°C hasta

alcanzar un punto de sobresaturación determinado manualmente o por instrumentos, en donde se introducen cristales de tamaño y peso predeterminado, los cuales sirven de núcleo de crecimiento a los cristales en solución en la meladura.

Los cristales introducidos como semilla van creciendo debido a que sobre ellos se va depositando la sacarosa disuelta en la meladura, es decir que no se forman nuevos cristales, sino los existentes son los que crecen, en este punto la mezcla de cristales y meladura queda concentrada formando una masa densa llamada masa cocida, seguidamente con la ayuda de tenso-activos se reduce la viscosidad.

- **Centrifugación**

Seguidamente la masa cocida es llevada a la centrifugadora, que son canastos que giran a alta velocidad centrífuga provistos de una malla interna de modo que por la acción de la fuerza centrífuga que se genera, empuja a la masa cocida a través de la malla, la cual permite el paso de la miel, pero no de los cristales de azúcar, quedando separada el azúcar de la miel.

El azúcar seco resultante pasa a través de imanes para retener cualquier partícula de hierro posiblemente presente, seguidamente pasa a través de tamices donde se clasifica por tamaños para obtener un azúcar de tamaño comercial alrededor de 0,40 mm (400 micras).

Posteriormente el azúcar es clasificado es depositada en tolvas donde reposa cierto tiempo para terminar de reducir la temperatura antes de pasar al envasado.

- **Envasado del azúcar**

Una vez que el azúcar se haya clasificado y haya llegado a una temperatura de 40°C y una humedad máxima de 0,05% pasa por un tercer imán, posteriormente a tolvas de almacenaje donde tiene un tiempo de residencia de 2 hrs, para ser distribuida a las diferentes máquinas empacadoras de 46 kg, 5 kg, y de 1 kg que depositan el azúcar en bolsas de polietileno.

Finalmente son llevados al almacén de producto terminado que cuenta con suficiente ventilación de modo que no se eleve la humedad del azúcar.

El azúcar blanco de alta pureza se empaca y envía al área de comercialización. Los azúcares de baja pureza se utilizan como semillas para el proceso de cristalización en los tachos para ayudar con el procesamiento del melado. Las mieles de baja pureza se llaman mieles finales y se utilizan para la manufactura de alcohol, así como alimento de animales y otros productos.

1.1.13 Determinación actual del balance de materia en la etapa de extracción

Para el balance de materia es de suma importancia la toma de datos iniciales con la ayuda de los instrumentos de medición, de modo que a partir de ello se puedan realizar los cálculos a partir de datos conocidos, para aquellos datos que no se pueden medir, pero que es posible calcularlos, por ello se identifica a continuación los datos que se miden actualmente para el balance de materia a nivel industrial para el proceso de extracción, los cuales con base al fundamento teórico se asimila al caso 2 de Mayorga & Trejos (2002):

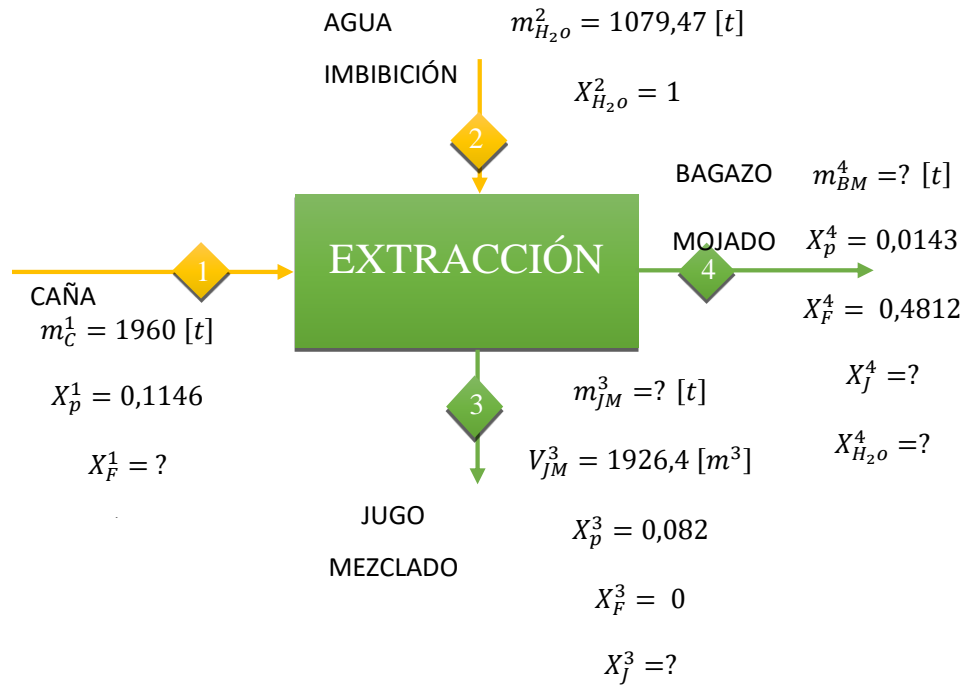
TABLA N° 8: Datos conocidos a través de medición en EASBA

	EASBA	DATOS OBTENIDOS	UNIDAD
Peso de la caña	SI	1960	t de caña
Peso del agua de imbibición	SI	1079,47	t de agua de imbibición
% Pol en caña	SI	11,46	%
% Pol de Bagazo	SI	8,2	%
% Fibra de Bagazo	SI	48,12	%
% Pol de jugo mezclado	SI	8,2	%
Volumen del jugo Mezclado	SI	1926,4	m ³ de jugo mezclado
Peso del Jugo mezclado	NO	-	-
Peso del bagazo	NO	-	-
El Brix y la temperatura del Jugo Mezclado	NO	-	-
% de fibra directa en caña (por análisis)	NO	-	-
% de fibra directa en bagazo	NO	-	-
% Brix de jugo mezclado	NO	-	-

Fuente: Elaboración en base a datos proporcionados por EASBA, 2019

Los datos que se muestran en la tabla N° 8 pertenecen a la producción diaria en promedio de una zafra realizada al año, que dura alrededor de tres meses en promedio.

1.1.14 Secuencia procedimental



Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t].

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t].

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t].

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t].

V_{JM}^3 : Volumen del jugo mezclado [m³].

X_p^1 : Fracción másica de pol en caña.

X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado.

X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado.

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña.

X_F^3 : Fracción másica de fibra en jugo mezclado.

X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado.

X_J^1 : Fracción másica del jugo en caña.

X_J^3 : Fracción másica del jugo en jugo mezclado.

X_J^4 : Fracción másica del jugo en bagazo mojado.

$X_{H_2O}^2$: Fracción másica de agua.

$X_{H_2O}^3$: Fracción másica de agua en jugo mezclado.

$X_{H_2O}^4$: Fracción másica de agua en bagazo mojado.

SUPUESTOS GENERALES CONSIDERADOS POR LA EMPRESA AZUCARERA SAN BUENAVENTURA:

La fibra en el jugo mezclado es despreciable, por lo que la fracción másica de la fibra en jugo mezclado es igual a 0.

La basura o trash es despreciable y no se toma en cuenta en el balance.

El balance másico que realiza la Empresa Azucarera San Buenaventura es el siguiente:

Extracción de pol

$$\%Extracción\ de\ pol = 100 * \frac{m_p^3}{m_p^1} \quad (1)$$

Donde:

m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t]

m_p^1 : Masa de pol en caña [t]

Partiendo de la ecuación fundamental se tiene lo siguiente:

Balance de materia general

$$m_C^1 + m_{H_2O}^2 = m_{JM}^3 + m_{BM}^4 \quad (2)$$

Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t]

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

A partir de dicha ecuación se despeja la masa del bagazo mojado:

Masa de bagazo mojado a partir del balance general

$$m_{BM}^4 = m_C^1 + m_{H_2O}^2 - m_{JM}^3 \quad (3)$$

Donde:

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

Para obtener el dato de la masa del jugo mezclado se utiliza la ecuación de la densidad, tomando en cuenta una constante de densidad igual a $\rho_{JM} = 1,001 \left[\frac{t}{m^3} \right]$:

Masa de jugo mezclado a partir de su densidad

$$m_{JM}^3 = \rho_{JM} * V_{JM}^3 \quad (4)$$

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

ρ_{JM} : Densidad del jugo mezclado $\left[\frac{t}{m^3} \right]$

V_{JM}^3 : Volumen del jugo mezclado $[m^3]$

A continuación, se procede con los cálculos de fibra y pol en caña:

Para el porcentaje de fibra en caña:

Porcentaje de fibra

$$X_F^1 = \frac{m_{BM}^4 * X_F^4}{m_C^1} \quad (5)$$

Donde:

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña

m_{BM}^4 : Masa de bagazo mojado [t]

X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado.

m_C^1 : Masa de caña [t]

Para la masa de fibra en caña:

Masa de fibra

$$m_F^1 = m_C^1 * X_F^1 \quad (6)$$

Donde:

m_F^1 : Masa de fibra en caña [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña

Para la masa de pol en caña:

Masa de pol en caña

$$m_p^1 = m_C^1 * X_p^4 \quad (7)$$

Donde:

m_p^1 : Masa de pol en caña [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado

Seguidamente se procede con los cálculos de fibra y pol en el bagazo:

Para el porcentaje de bagazo en caña:

Porcentaje de bagazo en caña

$$\% \text{ bagazo en caña} = \frac{m_{BM}^4}{m_C^1} * 100 \quad (8)$$

Donde:

m_{BM}^4 : Masa de bagazo mojado [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

Para el cálculo de masa de fibra en bagazo:

Masa de fibra en bagazo

$$m_F^4 = m_{BM}^4 * X_F^4 \quad (9)$$

Donde:

m_F^4 : Masa de fibra en bagazo [t]

m_{BM}^4 : Masa de bagazo mojado [t]

X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado

Para el cálculo de masa de pol en bagazo:

Masa de pol en bagazo

$$m_p^4 = m_{BM}^4 * X_p^4 \quad (10)$$

Donde:

m_p^4 : Masa de pol en bagazo [t]

m_{BM}^4 : Masa de bagazo mojado. [t]

X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado.

Seguidamente el cálculo de la masa de pol en el jugo mezclado:

Masa de pol en jugo mezclado

$$m_p^3 = m_{JM}^3 * X_p^3 \quad (11)$$

Donde:

m_p^3 : Masa de pol en el jugo mezclado [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado

Posteriormente el cálculo del % de agua de imbibición se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación:

Porcentaje de agua de imbibición

$$X_{H_2O}^2 = \frac{m_{H_2O}^2}{m_C^1} * 100 \quad (12)$$

Donde:

$X_{H_2O}^2$: Fracción másica de agua

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

Finalmente, para la obtención del porcentaje de extracción de pol se realiza de acuerdo a lo siguiente:

Extracción de pol

$$E = 100 * \frac{m_p^3}{m_p^1} \quad (13)$$

Donde:

m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t].

m_p^1 : Masa de pol en caña [t].

1.1.15 Obtención de datos en el proceso industrial de la etapa de extracción

Los datos que obtiene el laboratorio son los siguientes:

- Masa de la caña que ingresa m_C^1 mediante una balanza industrial.
- Porcentaje de pol en caña X_p^1 que se obtiene mediante el sacarímetro que mide la pol.
- Masa del agua de imbibición $m_{H_2O}^2$ es el dato obtenido mediante el flujo metro de extracción.
- El porcentaje de pol en bagazo X_p^4 se obtiene mediante el sacarímetro.
- El porcentaje de fibra en bagazo X_F^4 se obtiene mediante datos de humedad y brix del mismo.

- El porcentaje de pol en jugo mezclado de igual forma se obtiene mediante el sacarímetro.
- El volumen de Jugo Mezclado se obtiene mediante el flujometro de extracción en m³.

1.1.16 Cálculos conceptuales de balance de materia realizado por EASBA

A partir de dicha ecuación (3) se despeja la masa del bagazo mojado:

$$m_{BM}^4 = m_C^1 + m_{H_2O}^2 - m_{JM}^3$$

Donde:

m_{BM}^4 : Masa de bagazo mojado.

m_C^1 : Masa de caña [t].

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

Para obtener el dato de la masa del jugo mezclado se utiliza la ecuación (4) de la densidad, tomando en cuenta una constante de densidad igual a $\rho_{JM} = 1,001 \left[\frac{t}{m^3} \right]$:

$$m_{JM}^3 = \rho_{JM} * V_{JM}^3 = 1928,33 [t]$$

Donde:

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

ρ_{JM} : Densidad del jugo mezclado $\left[\frac{t}{m^3} \right]$

V_{JM}^3 : Volumen del jugo mezclado [m³]

Reemplazando en la ecuación anterior:

$$m_{BM}^4 = 1111,14 [t]$$

Donde:

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

A continuación, se procede con los cálculos de fibra y pol en caña, ecuación (5):

Para el porcentaje de fibra en caña:

$$X_F^1 = \frac{m_{BM}^4 * X_F^4}{m_C^1} = 0,2728$$

Para la masa de fibra en caña, ecuación (6):

$$m_F^1 = m_C^1 * X_F^1 = 534,69[t]$$

Donde:

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado

m_F^1 : Masa de fibra en caña [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña

Para la masa de pol en caña ecuación (7):

$$m_p^1 = m_C^1 * X_p^4 = 224,61 [t]$$

Donde:

m_p^1 : Masa de pol en caña [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado

Seguidamente se procede con los cálculos de fibra y pol en el bagazo:

Para el porcentaje de bagazo en caña, ecuación (8):

$$\% \text{ bagazo en caña} = \frac{m_{BM}^4}{m_C^1} * 100 = 56,69\%$$

Donde:

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

Para el cálculo de masa de fibra en bagazo, ecuación (9):

$$m_F^4 = m_{BM}^4 * X_F^4 = 534,68 [t]$$

Donde:

m_F^4 : Masa de fibra en bagazo [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado

Para el cálculo de masa de pol en bagazo, ecuación (10):

$$m_p^4 = m_{BM}^4 * X_p^4 = 15,89 [t]$$

Donde:

m_p^4 : Masa de pol en bagazo [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado

Seguidamente el cálculo de la masa de pol en el jugo mezclado, ecuación (11):

$$m_p^3 = m_{JM}^3 * X_p^3 = 158,12 [t]$$

Donde:

m_p^3 : Masa de pol en el jugo mezclado [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado

Posteriormente el cálculo del % de agua de imbibición se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación (12):

$$X_{H_2O}^2 = \frac{m_{H_2O}^2}{m_C^1} * 100 = 55,08\%$$

Donde:

$X_{H_2O}^2$: Fracción másica de agua

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

Finalmente, para la obtención del porcentaje de extracción de pol se realiza de acuerdo a lo siguiente ecuación (13):

$$E = 100 * \frac{m_p^3}{m_p^1} = 70,39\%$$

Donde:

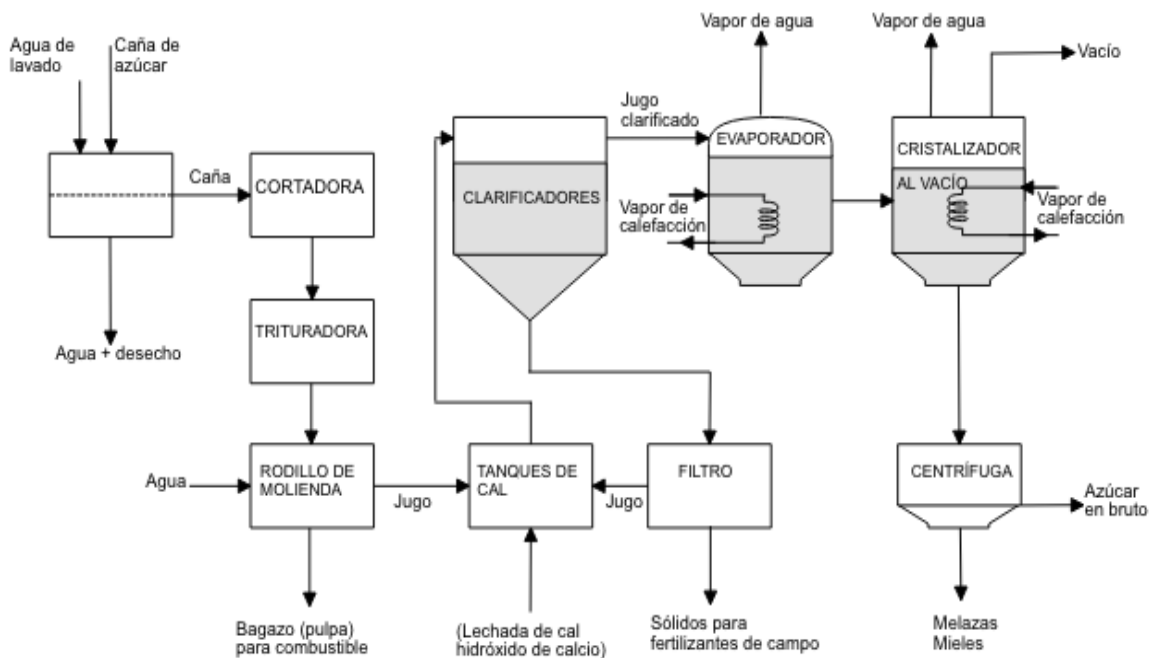
m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t]

m_p^1 : Masa de pol en caña [t]

1.2 Proceso industrial del azúcar

El azúcar se produce normalmente en dos bloques principales de operaciones de proceso, y las etapas básicas se muestran a continuación(King, 2003):

FIGURA N° 1: Etapas de proceso para producir azúcar en bruto a partir de la caña de azúcar



Fuente: King, 2003

En la figura N° 1 se muestra el proceso industrial de la fabricación de azúcar a partir de la caña de azúcar, el cual inicia con una introducción de caña de azúcar y agua de imbibición que pasa inicialmente por la cortadora, trituradora y posteriormente a los rodillos de molienda; de éste último el resultado es jugo y bagazo (pulpa de caña), seguidamente el jugo pasa a los tanques de cal para la clarificación, donde el jugo clarificado pasa a un evaporador, seguidamente al cristizador, y finalmente al centrifugado de donde las partículas de azúcar ya se van formando.

1.2.1 Lavado y extracción

Esta etapa se la conoce también como extracción, en el cual la caña de azúcar se lava con bastante agua para la liberación de desechos del campo, además que se corta en trozos cortos, los cuales pasan por rodillos a elevada presión que extraen el jugo cargado de azúcar de las células vegetales. Se añade algo de agua al final de la molienda para extraer las últimas porciones de azúcar disponibles. Esta etapa tiene como resultado el jugo y la pulpa de la caña que se conoce como bagazo el cual se utiliza normalmente como combustible (King, 2003).

Así mismo es importante resaltar que en la operación de la extracción el principal problema es la baja cantidad de jugo que se obtiene, ello debido a la tensión superficial de la caña, ya que para obtener la mayor cantidad de jugo y pol en el mismo es imprescindible acudir al artificio de la imbibición, de modo que el agua pueda arrastrar consigo mayor cantidad de jugo.

1.2.2 Clarificación

Al jugo se añade lechada de cal $Ca(OH)_2$ para posteriormente ser calentado. Seguidamente el jugo pasa a recipientes en los cuales reposa para su sedimentación de modo que se extrae la materia coloidal coagulada y las sales cálcicas insolubles. El residuo extraído del fondo del clarificador es filtrado para recuperar el jugo adicional.

Para el caso de la clarificación se identifica como problemas en la operación, el arrastre de jugo juntamente con la materia coloidal coagulada.

1.2.3 Evaporación, cristalización y centrifugación

El jugo clarificado se envía a evaporadores previamente calentados, para que el agua se evapore en la mayor cantidad posible, obteniendo de esta forma una solución oscura que contiene 65% en peso de sacarosa, dicha solución es hervida en recipientes a vacío; posteriormente por acción de la ebullición se elimina agua de modo que sobrepase el límite de solubilidad de la sacarosa, y el resultado es la formación de cristales de azúcar. Los cristales se separan del líquido mediante la centrifugación. El producto líquido es conocido como melaza y normalmente se utiliza como alimento para el ganado. El azúcar sólido obtenido contiene aproximadamente un 97% de sacarosa.

En algunas ocasiones se añade un coadyuvante de filtración para que sea más efectivo; es una separación basada en el tamaño. Entre tanto la sedimentación separa en función de la densidad.

En la centrifugación, la fuerza centrífuga consecuenta de la rotación permite la separación de las fases.

Sin embargo, se puede decir que los problemas en las operaciones mencionadas son los desperdicios que se generan por el arrastre de vapor del agua, y el material residual que queda en la maquinaria que lo procesa.

1.2.4 Tamizado

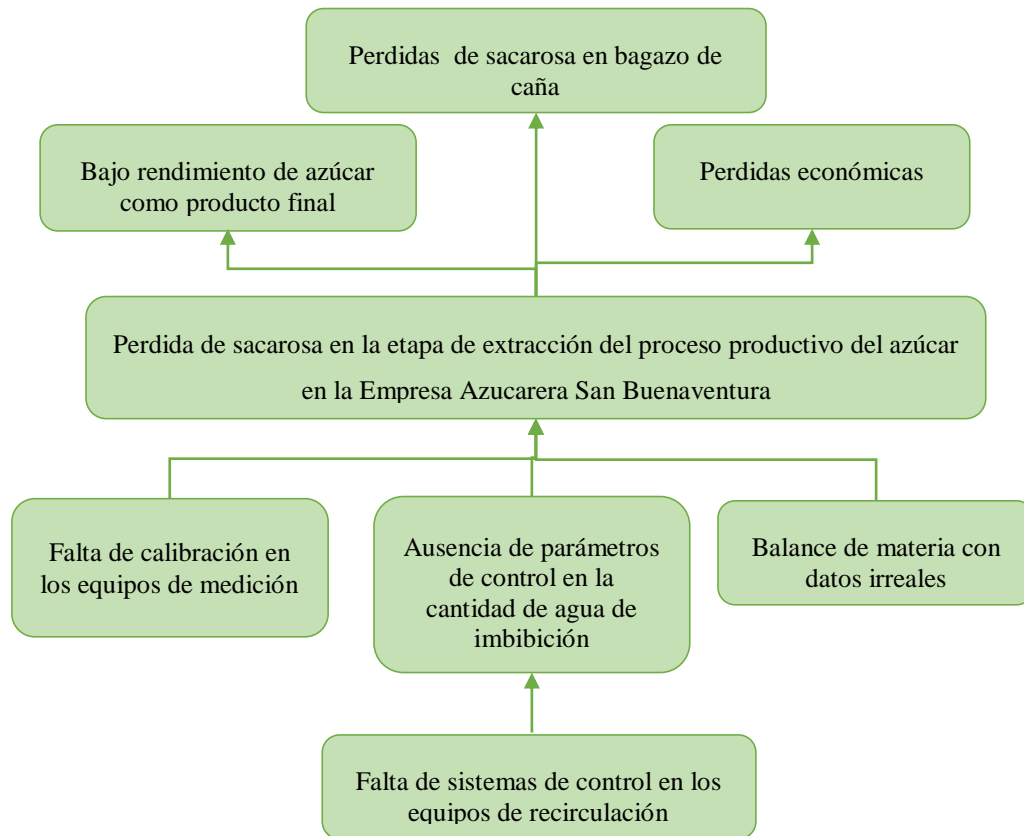
Es la etapa de clasificación por el tamaño del cristal, por lo que las partículas se agitan sobre un tamiz, en ese sentido las más pequeñas pasan a través de él separándose de las más grandes.

En esta etapa se tienen pérdidas por la agitación como tal, ya que las partículas cerca del perímetro de la maquinaria salen de la misma, generando desperdicios.

1.2.5 Árbol de causa y efecto

Para el planteamiento de la problemática, se emplea el árbol de causa y efecto.

GRÁFICO N° 3: Análisis de causas y efectos



Fuente: Elaboración propia con base a información proporcionada por la Empresa Azucarera San Buenaventura

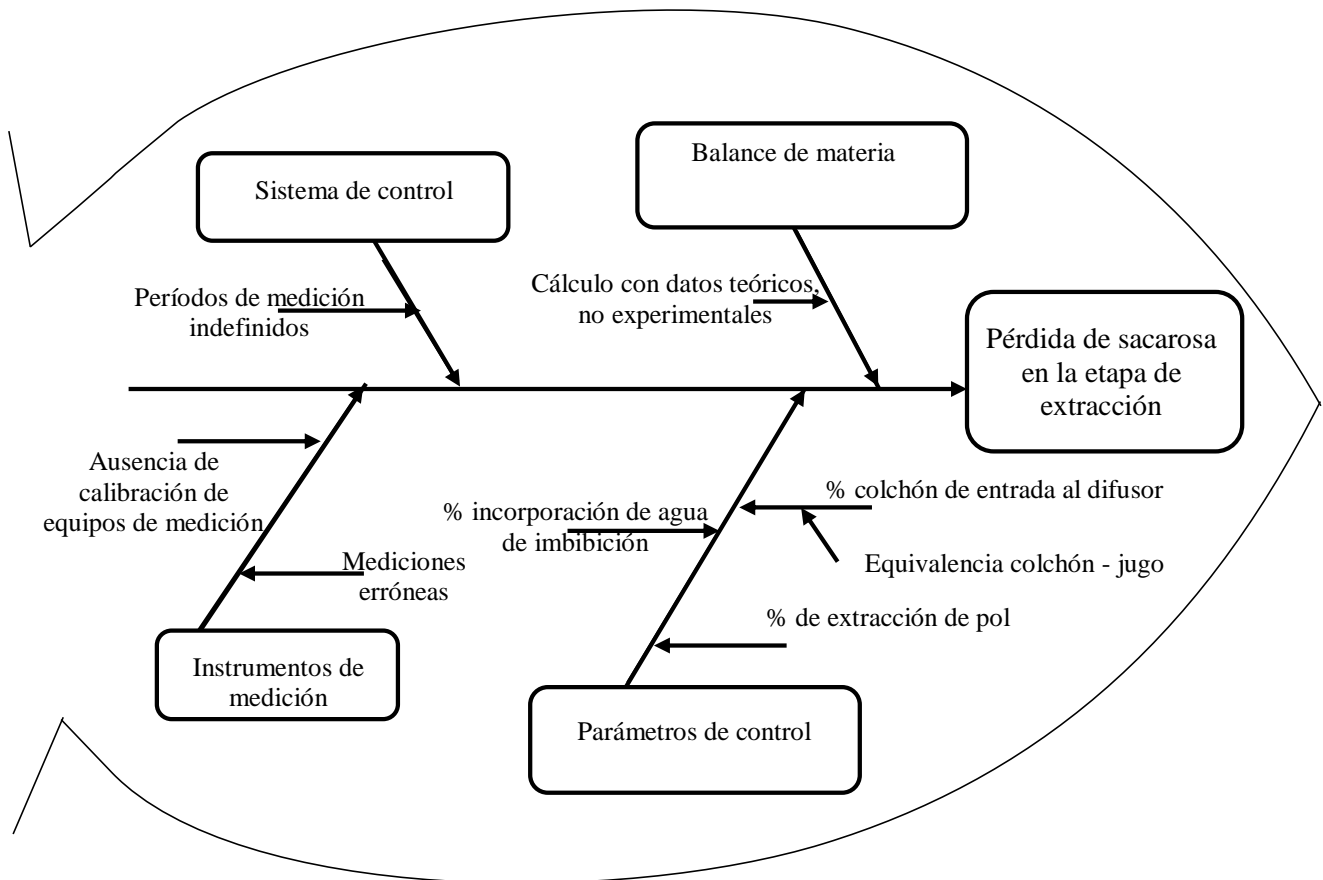
En el gráfico N° 3, se puede apreciar en el árbol de causa y efectos que generan las pérdidas de pol en la operación de extracción debido a la ausencia de parámetros de control, calibración de equipos y falta de sistemas de control en las bombas de recirculación del jugo estos puntos hacen que no se tengan una realidad del proceso industrial del azúcar ya que es importante promover el contacto liquido - solido ya que afecta a la transferencia de masa y baje el rendimiento de azúcar como producto final, perdidas de sacarosa en bagazo y en lo global en pérdidas económicas.

1.2.5 Planteamiento del problema

El flujo industrial de la Empresa Azucarera San Buenaventura se subdivide en tres grandes etapas, la primera es de extracción, la segunda de clarificación- evaporación y la última de cristalización, de las cuales la etapa de extracción es la que más pérdida de sacarosa

presenta debido a la ausencia de parámetros de control ajustados a la realidad de la planta de producción que no permiten los ajustes pertinentes a las desviaciones que se presentan durante la producción.

GRÁFICO N° 4: Diagrama ishikawa para la problemática



Fuente: Elaboración propia

Con base al gráfico N° 4 se identifica el problema principal como la pérdida de sacarosa en la etapa de extracción.

1.3 Rendimiento

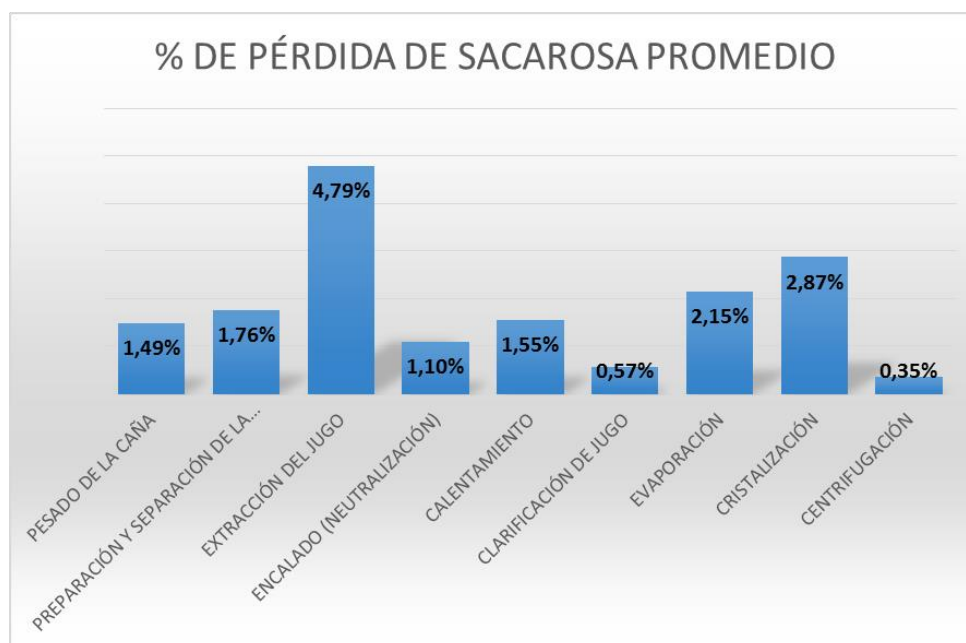
El rendimiento por cada etapa se muestra a continuación:

TABLA N° 9: Pérdida de sacarosa en el proceso industrial del azúcar

ETAPAS	PROCESO	% DE PÉRDIDA DE SACAROSA 2016	% DE PÉRDIDA DE SACAROSA 2017	% DE PÉRDIDA DE SACAROSA 2018	% DE PÉRDIDA DE SACAROSA PROMEDIO
EXTRACCIÓN	PESADO DE LA CAÑA	2,37%	1,10%	1,01%	1,49%
	PREPARACIÓN Y SEPARACIÓN DE LA CAÑA	1,93%	1,70%	1,66%	1,76%
	EXTRACCIÓN DEL JUGO	5,60%	4,40%	4,36%	4,79%
CLARIFICACIÓN Y EVAPORACIÓN	ENCALADO (NEUTRALIZACIÓN)	1,01%	1,26%	1,02%	1,10%
	CALENTAMIENTO	1,56%	1,66%	1,43%	1,55%
	CLARIFICACIÓN DE JUGO	0,52%	0,42%	0,76%	0,57%
	EVAPORACIÓN	2,47%	1,89%	2,09%	2,15%
CRISTALIZACIÓN	CRISTALIZACIÓN	2,66%	2,99%	2,95%	2,87%
	CENTRIFUGACIÓN	0,23%	0,33%	0,49%	0,35%

Fuente: Elaboración con datos de la Empresa Azucarera San Buenaventura

En la tabla N° 9 se muestran los porcentajes de pérdida de sacarosa durante las tres etapas del proceso industrial de la fabricación de azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura, durante las gestiones 2016, 2017, 2018; donde se puede notar que en las tres gestiones se tiene una mayor pérdida en la primera etapa: la de extracción, específicamente en la extracción del jugo.

GRÁFICO N° 5: Pérdida de sacarosa por etapas

Fuente: Elaboración en base a datos proporcionados por Empresa Azucarera San Buenaventura

Con base a los datos proporcionados por la empresa, se puede evidenciar que el mayor porcentaje de pérdidas durante el proceso de producción del azúcar, es la etapa de extracción, por lo tanto, la pérdida de sacarosa detectada en dicha etapa es la que se identifica como el problema que debe ser solucionado.

1.3.1 Descripción de la situación problemática

Las variables de consideración para que exista un adecuado rendimiento durante la extracción es el porcentaje de incorporación de agua de imbibición, debido a que la difusión involucra gradientes de concentración como motor para la transferencia de masa; ya que un mayor uso de cantidad de agua resulta normalmente en mayores diferencias de concentración, por lo tanto se convierte en un efecto desfavorable para la extracción; el porcentaje de colchón de entrada al difusor es importante para promover el contacto entre líquido y sólido, ya que ello afecta a la velocidad con el que el líquido pasa entre las partículas de caña ya que afectan a la tasa de transferencia de masa, el porcentaje resultante de bagazo, es importante para determinar la eficiencia de la extracción en el proceso industrial. Así mismo se manifiesta que dichas variables de consideración no son exactas debido a los resultados del balance de materia que se obtienen actualmente.

1.3.2 Formulación del problema

¿De qué manera se podrá mejorar el rendimiento de extracción de pol en la etapa de extracción durante el proceso industrial del azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura?

1.4 Variables consideradas

Con base a la formulación del problema, se puede decir que las variables que afectan al rendimiento de extracción de pol, son las siguientes:

- Peso de la caña
- Fracción másica de pol en caña
- Peso de agua de imbibición que ingresa.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Optimizar el rendimiento de sacarosa aparente (pol³) en la etapa de extracción durante el proceso industrial de obtención de azúcar mediante la sistematización industrial del balance de materia en la Empresa Azucarera San Buenaventura.

1.5.2 Objetivos específicos

- Describir el diagrama del proceso de producción de azúcar.
- Identificar las variables que influyen en el rendimiento de la extracción para el balance de materia.
- Determinar la secuencia metodológica para el cálculo del balance de materia en la etapa de extracción.
- Comparar resultados del balance de materia actual con el propuesto según desarrollo teórico.
- Realizar un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto.

³ Pol es el contenido de sacarosa aparente expresado como porcentaje de masa

1.6 Justificación

1.6.1 Metodológica

El adecuado cálculo de un balance de materia industrial debe basarse en métodos científicos que permita plantear variables de referencia para el control, por lo tanto, es importante para tener una sistematización adecuada para dicho cálculo que pueda ser ejecutado en la Empresa Azucarera San Buenaventura.

1.6.2 Práctica

En la industria azucarera, los modelos de balance de sacarosa son indispensables para el diseño, control, optimización, evaluación de eficiencia y rendimiento de las operaciones en las que intervienen una cantidad de variables que deben controlarse, analizarse, interpretar y manipularse para extraer la mayor cantidad de sacarosa de las cañas de azúcar. El presente trabajo pretende identificar dichas variables para mejorarlas a través del balance de materia a nivel industrial para poder llevar a cabo de manera óptima el proceso productivo en el área de extracción minimizando la pérdida y maximizando la eficiencia.

1.6.3 Tecnológica

Es importante un adecuado cálculo en el balance de materia, y para que ello sea fidedigno, los datos de campo obtenidos deben ser correctos, es así que los instrumentos de medición deben estar adecuadamente calibrados, el presente trabajo por consiguiente responde a la necesidad de que estos procedimientos estén con mayor claridad.

1.6.4 Académica

La química industrial desempeña un papel vital en la sociedad, debido al notorio incremento de la producción, y a las soluciones que puede ofrecer frente a los conflictos que presentan algunos procesos industriales por la generación de desperdicios, por lo tanto, el presente trabajo responde a la necesidad de disminuir dichos desperdicios en la etapa de extracción del proceso industrial de azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura.

1.7 Delimitación del estudio

1.7.1 Temática

El presente trabajo busca la realización de los cálculos del balance de materia con base teórica para la operación de extracción, de modo que pueda ajustarse a la practicidad de la planta industrial de la Empresa Azucarera San Buenaventura.

1.7.2 Temporal

El análisis se efectuará tomando como base de datos históricos de gestiones comprendidas entre los años 2016 – 2018. Se toma en cuenta dichos años debido a que gestiones anteriores no se practicaba el balance de materia industrial.

1.7.3 Espacial

El presente trabajo se llevará a cabo en la Empresa Azucarera San Buenaventura, en su primera etapa del proceso industrial, que en consecuencia es la etapa de extracción.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO Y
CONCEPTUAL

CAPITULO 2: MARCO CONCEPTUAL Y DESARROLLO TEÓRICO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1 Sistematización

La sistematización permite la construcción y explicación de saberes que se producen en una experiencia determinada, mediante el “análisis y valoración de acciones”, cuyas características es la actividad reflexiva respecto a un proceso concreto, posteriormente una reflexión para organizar un determinado conjunto de elementos ya sean datos, conocimientos, etc. que no se encuentran articulados, o están dispersos. Es un proceso en el que el investigador se involucra con la experiencia (Souza, 2014).

2.1.2 Pol

Polarización (o Pol): Contenido de sacarosa aparente expresado como porcentaje de masa, medido a partir de la rotación óptica de luz polarizada al pasar por una solución azucarada. Este procedimiento es exacto únicamente para soluciones de sacarosa puras.

2.1.3 Brix

Teniendo presente que el término Grado Brix representa, en la Industria azucarera, por ciento en peso de sólidos totales solubles, se deduce que el grado Brix de un producto azucarado podrá aumentar o disminuir según se concentre o diluya dicho producto, pero es imprescindible sentar el concepto de que el % de sólidos solubles, (Grado Brix), puede variar, como hemos dicho, pero el peso de sólidos solubles en el producto no varía.

2.1.4 Caña de azúcar

La caña de azúcar también conocida como *Saccharum officinarum* es una planta característica por su alto contenido de sacarosa, tiene tallos gruesos y pesados, bajo contenido de fibra, altura media, sus hojas son anchas y de fácil desprendimiento. Ésta planta es exigente en clima y suelo, taxonómicamente está ubicada de la siguiente manera(Ruiz, 1995):

- DIVISIÓN: *Embryophita siphonogama*
- SUBDIVISIÓN: *Angiospermae*
- CLASE: *Monocotyledoneae*
- ORDEN: *Glumiflorae*
- FAMILIA: *Gramineae*
- TRIBU: *Andropogonae*
- GÉNERO: *Saccharum*

En el tallo de la caña se acumula un jugo rico en sacarosa, “compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis” (Silva, 2015). El interior del tallo está compuesto por dos partes, una sólida llamada fibra, y la líquida que es el jugo el cual contiene agua y sacarosa:

La composición elemental es el siguiente:

- Fibra (componente insoluble en agua) 12 – 15%
- Jugo (agua más componentes solubles) 85 – 88%

El jugo está compuesto por

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

Según Silva (2015), las sustancias no azúcar son los componentes que no son sacarosa, entre ellos otros azúcares como la fructosa y glucosa, que son azúcares reductores, materias orgánicas como las proteínas, aminoácidos, ácidos orgánicos y sales orgánicas entre ellos de calcio, magnesio, potasio, etc. De todos ellos el jugo es el único que se puede cristalizar, el porcentaje de dichos componentes es el siguiente:

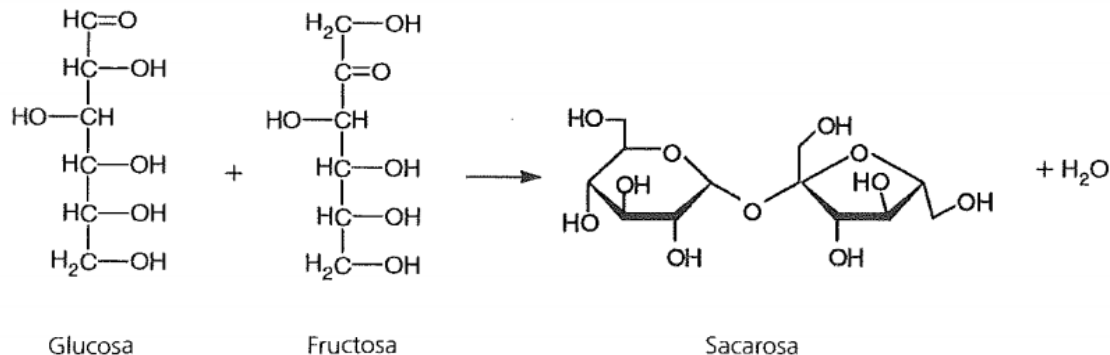
- Glucosa 0,2 – 0,6%
- Fructosa 0,2 – 0,6%

- Sales 0,3 – 0,8%
- Ácidos orgánicos 0,1 – 0,8%
- Otros 0,3 – 0,8%

2.1.5 Fotosíntesis en la caña de azúcar

“El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz solar, razón por la cual su cultivo se realiza en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado” (Silva, 2015). Las hojas de la caña tienen clorofila, las cuales absorben la energía de la luz solar, que sirve como combustible en la reacción entre el dióxido de carbono, el agua y minerales que las raíces sacan de la tierra, para la formación de la sacarosa que se almacena en el tallo mismos que se considera la reserva alimenticia de la planta; dicho compuesto se forma a través de un proceso complejo que en esencia consiste en la combinación de dos azúcares monosacáridos: la fructosa y glucosa de la siguiente forma:

FIGURA N° 2: Formación de Sacarosa a partir de Glucosa y Fructosa



Fuente: Rein, 2012

La reacción también puede ser en sentido opuesto denominado inversión, en el cual la sacarosa se hidroliza junto a una molécula de agua, resultando en la formación de los dos azúcares monosacáridos componentes, éstos están en solución con agua conjuntamente con otros componentes solubles, a esto se denomina el jugo. El tallo de la caña por su lado contiene “aproximadamente 13 g de fibra vegetal como fase sólida/100 g caña, que dan al tallo su rigidez estructural” (Rein, 2012).

2.1.6 Bagazo

Residuo fibroso de la caña resultante de la molienda en prensado de caña de azúcar, constituido de fibra más caldo residual.

2.1.7 Extracción

La extracción es el porcentaje de pol en caña que era mecánicamente extraída en jugo, en molinos, difusores, en presa hidráulica u otro medio mecánico

2.1.8 Propiedades constituyentes químicos de la sacarosa en relación al proceso industrial

La sacarosa cuya fórmula es $C_{12}H_{22}O_{11}$, se denomina como un disacárido por su formación de dos unidades de monosacáridos, los cuales son azúcares de seis carbonos o hexosas, ambas son producto del proceso de la fotosíntesis además que comparten la misma fórmula $C_6H_{12}O_6$, se llaman monosacáridos “debido a que no pueden ser hidrolizados hasta moléculas más pequeñas de carbohidratos mediante la acción de ácidos o enzimas” (Rein, 2012).

La sacarosa tiene un peso molecular de 342,3. “Los cristales de sacarosa son prismas mono cíclicos que tiene una densidad de 1.588, su punto de fusión es de 188 °C y se descompone al fundirse, el índice de refracción es de 1.374” (Silva, 2015).

En el estado puro, la sacarosa es fina, incolora, libre de olores, y físicamente es un polvo cristalino con un sabor dulce, que no se degrada. “La misma finamente dividida es higroscópica (cambiada o alterada por la absorción de humedad) y puede absorber hasta un 1% de humedad, es soluble en agua, ligeramente soluble en metanol e insoluble en éter o cloroformo” (Silva, 2015).

2.1.8.1 Glucosa

La glucosa cuya fórmula empírica $C_6H_{12}O_6$ también es conocida como azúcar de maíz, azúcar de uva y azúcar de la sangre. El contenido de glucosa es mayor respecto a la sacarosa (Silva, 2015).

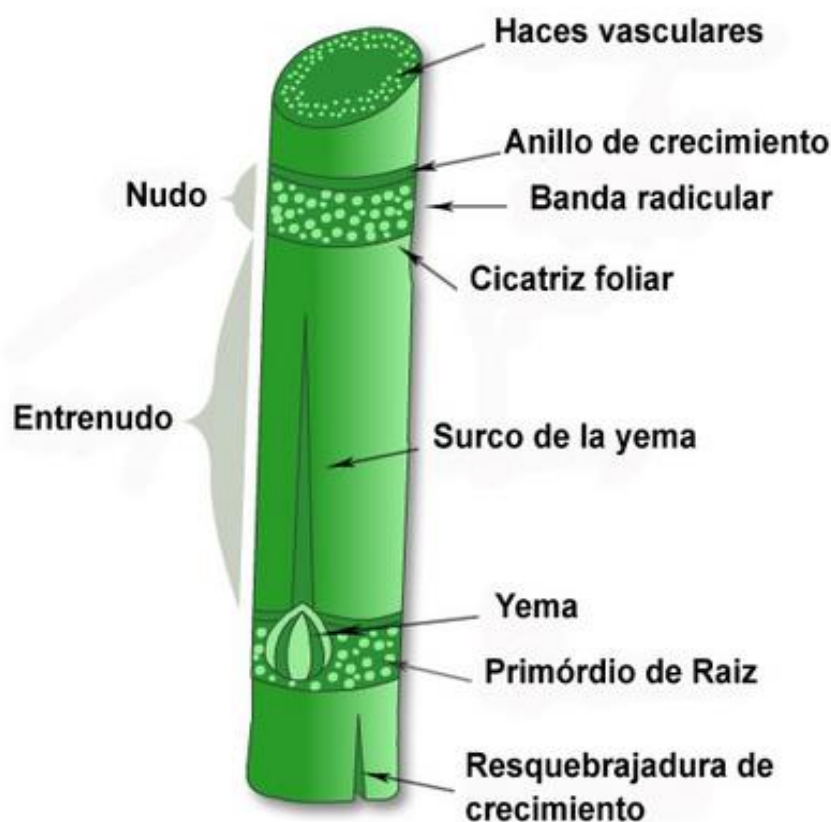
2.1.8.2 Fructosa

La fructosa es conocida como azúcar de frutas, es más dulce que la glucosa y la sacarosa, es la que se encuentra en menor abundancia en la caña, al igual que la glucosa se encuentra en la parte de crecimiento de la caña y en menor proporción en el tallo y raíces; tiene la misma fórmula empírica que la glucosa $C_6H_{12}O_6$ (Silva, 2015).

2.1.9 Anatomía del tallo de caña

A continuación, se muestra la anatomía del tallo de caña:

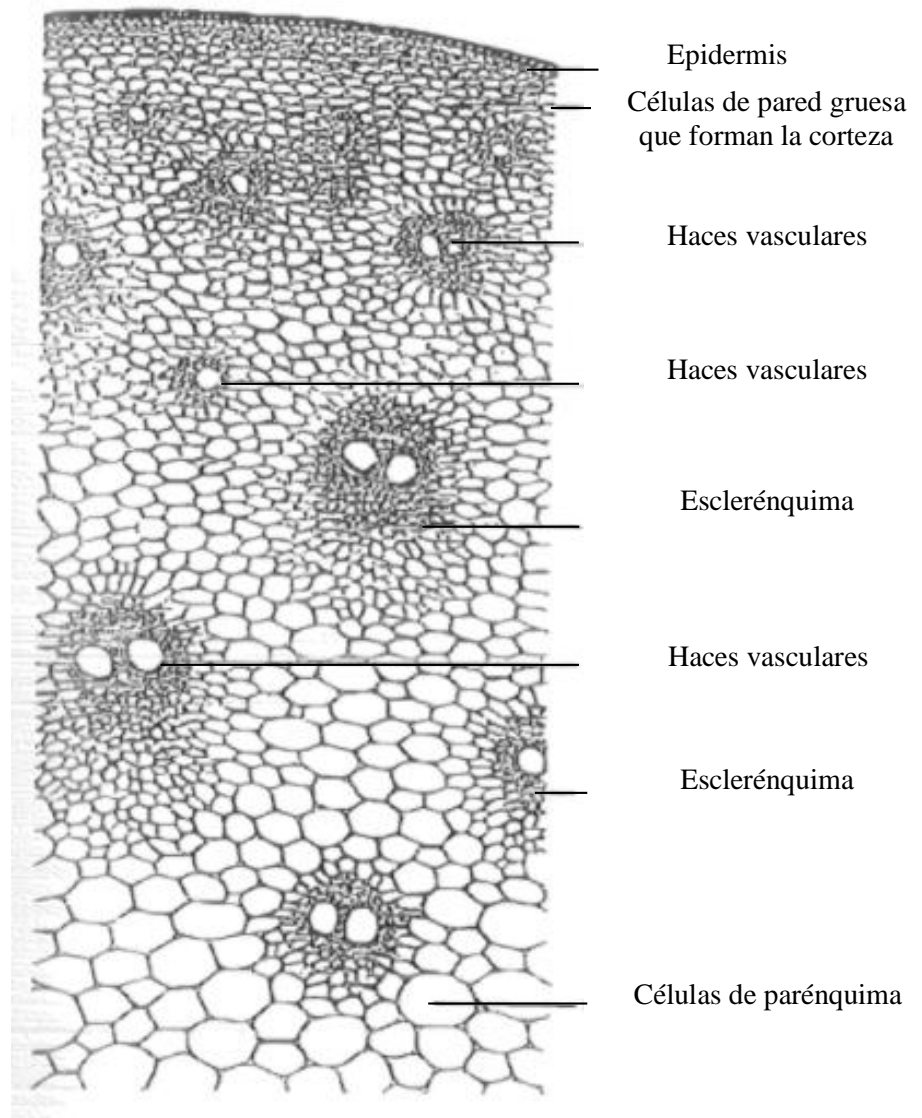
GRÁFICO N° 6: Anatomía del tallo de la caña



Fuente: Rein, 2012

En el gráfico N° 6 se muestra un tallo con nudos, la sección en medio de ellos se los conoce como entrenudos. En los nudos se encuentran las hojas ligadas al tallo. “Idealmente para el proceso se desea contar con tallos de caña libres de hojas y cogollos” (Rein, 2012), el cogollo es el ápice del tallo y tiene un bajo contenido de sacarosa, resultando ser de poco valor para el molino en el proceso de obtención del azúcar.

GRÁFICO N° 7: Corte transversal del tallo de caña



Fuente: Rein, 2012

En el gráfico N° 7 se puede apreciar el tallo en un corte transversal, donde se visualiza la epidermis, parénquima, esclerenquima, y múltiples de hacer fibrovasculares, los cuales se detallarán a continuación.

2.1.9.1 Epidermis

El gráfico muestra un corte transversal del tallo en el entrenudo, en el cual se puede observar la epidermis, múltiples haces vasculares de diferentes tamaños en una matriz de células de parénquima.

2.1.9.2 Parénquima

En la parénquima se almacena la mayor parte de azúcar, dichas células se encuentran separadas por pequeños espacios intercelulares, los cuales están rellenos de aire, cuyo tamaño incrementa hacia el centro del tallo (Rein, 2012).

2.1.9.3 Esclerénquima

Son células alargadas de menor tamaño, se encuentran alrededor de los haces fibrovasculares, éstas células “contienen algo de azúcar, pero la mayoría de ellas son lignificadas y contribuyen a dar dureza a la corteza” (Rein, 2012). La dureza a su vez depende del contenido de fibra.

2.1.9.4 Haces fibrovasculares

Se encuentran espaciados en la parte central del tallo, y su tamaño incrementa conforme se encuentran en la parte central. En los nudos los haces se desvían hacia las hojas y yemas.

2.1.10 Variedad de caña

Existe una variedad de cañas conocidas por sus nombres comunes, sin embargo tienen nombres establecidos internacionalmente con una clave que está compuesta por letras y números. Las letras indican el lugar de origen de la variedad, y el número indica el año cuando fue producida, y el número cruza de la variedad. Así mismo es recomendable seleccionar la variedad que posea un alto contenido potencial de libras de azúcar por tonelada de caña, lo recomendable es 320 a 350 libras por tonelada de caña o más, además que deben ocupar más del 35% del área total de caña sembrada, de modo que la obtención del azúcar sea el máximo posible (Villegas, 2004).

2.1.10.1 Variedad C4

Se dice que la caña es una planta C4, debido a la tasa alta de fotosíntesis que le caracteriza, aproximadamente 150 - 200% por encima del promedio de otras plantas, puede darse aún en condiciones de escasez de agua y temperatura elevada, en ese sentido dicha planta consume menos agua para su fotosíntesis, a mayores tasas (Gliessman, 2002). Tiene un ciclo de cultivo alrededor de 12 a 24 meses, el cual puede variar en función del clima.

2.1.10.2 Variedad RBB 77 - 26

La variedad de caña RBB 77 – 26 tiene un menor rendimiento, en promedio el rendimiento en zafra es de 93,11 toneladas de caña por hectárea, y un 4,55 toneladas de azúcar por hectárea (Gonzales, Campero, & Mercado, 2016).

2.1.10.3 Variedad NA 56 - 26

La variedad de caña NA 56 - 26 tiene un rendimiento promedio el rendimiento en zafra es de 75,47 toneladas de caña por hectárea, y un 4,02 toneladas de azúcar por hectárea (Gonzales, Campero, & Mercado, 2016).

2.1.10.4 Variedad UCG 90 – 20

La variedad de caña UCG 90 - 20 tiene un rendimiento promedio el rendimiento en zafra es de 83,52 toneladas de caña por hectárea, y un 4,20 toneladas de azúcar por hectárea (Gonzales, Campero, & Mercado, 2016).

2.1.10.5 Variedad NA 85 – 1602

La caña NA 85 – 1602 es característica por tener tallos gruesos, y una madurez medianamente prematura, presenta dificultades con la adaptación a la cosecha mecánica, tiene un rendimiento aproximado de 87,58 toneladas de caña por hectárea (Espíndola & Paytas, 2006), y 108,42 kilogramos por tonelada de caña (Vindas, Alfaro, & Duran, 2015)

2.1.11 Composición de la fibra

La fibra de caña es una “mezcla compleja de celulosa, hemicelulosa y lignina, que provienen de las paredes celulares, los haces vasculares y la corteza del tallo” (Rein, 2012). La cantidad de fibra depende de la longitud y diámetro del tallo.

La celulosa es un polímero de alto peso molecular, compuesto mayormente por gran parte de unidades de glucosa.

La hemicelulosa está formada por gran parte de unidades de xilosa y pequeñas partes de arabinosa, los cuales son azúcares pentosas es decir de cinco carbonos.

La lignina está formada por gran parte de compuestos fenólicos aromáticos, y proporciona la dureza a la fibra de caña.

Las cantidades de los tres componentes puede variar en función de la variedad de la caña, sin embargo, existen ciertos rangos ya encontrados:

TABLA N° 10: Análisis típicos de la fibra de caña (en g/100 g materia seca)

	Clarke (1998)	Purchase (1995)
	Rango	Promedio
Celulosa	40 - 58	40
Hemicelulosa	24 - 32	33
Lignina	13 - 22	22
Cenizas/Otros	1 - 4	5

Fuente: Rein, 2012

La tabla N° 10 muestra la composición de un tallo de fibra de caña según dos autores Clarke (1998) y Purchase (1995), donde existe en mayor proporción la Celulosa, seguidamente la Hemicelulosa, la Lignina, finalmente Cenizas y otros.

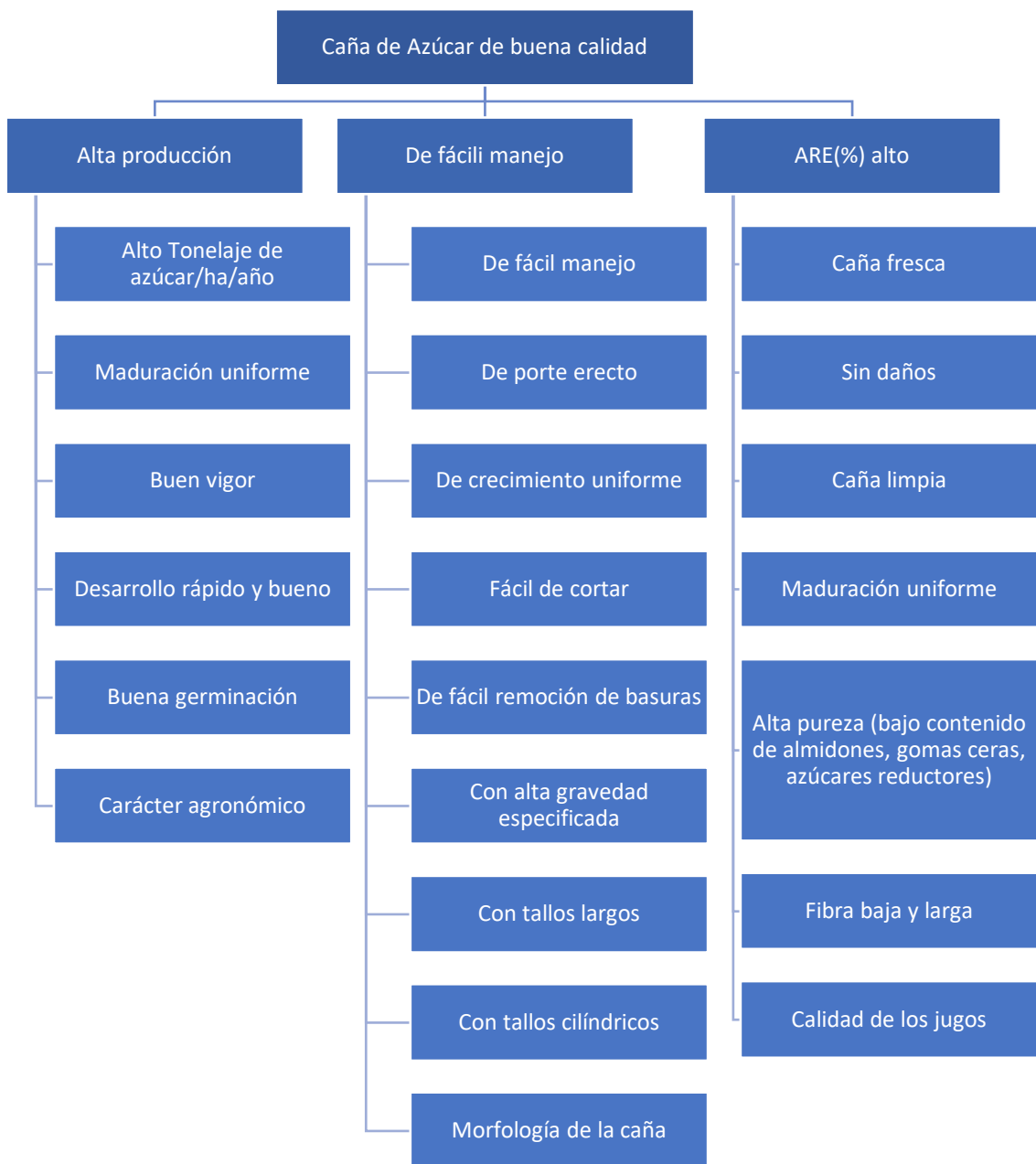
La fibra contiene cierta cantidad de agua llamada agua de cristalización, que no forma parte del jugo de caña, normalmente es denominada como “agua libre de Brix”, y se estima que su cantidad es igual a un 25% de la fibra. Por lo tanto cuando “el jugo de una muestra de caña ha sido exprimido, el cálculo de la composición de la caña debe tomar en cuenta el agua libre de Brix” (Rein, 2012).

2.1.12 Evaluación de calidad de la caña

2.1.12.1 Parámetros de calidad de la caña de azúcar

Los parámetros que deben ser evaluados son en términos de pol, fibra y RDS o Brix. Además que se requiere medir el contenido y naturaleza de las impurezas en caña, en algunos casos la cantidad de hojas y cogollos, al igual que la cantidad de materia extraña.

FIGURA N° 3: Características de calidad de la caña de azúcar



Fuente: Larrahondo, 1995

La calidad de la caña de azúcar es importante para su alta producción, el cual implica una serie de características que deben tomarse en cuenta, entre ellos el de carácter agronómico, la morfología de la caña, la calidad de los jugos.

TABLA N° 11: Promedio de la composición química de los tallos y de los jugos de la caña de azúcar

Constituyente Químico	%
En los tallos:	
Agua	73 – 76
Solidos	24 – 27
- Solidos solubles (brix)	10 – 16
- Fibra (seca)	11 – 16
En el jugo	
Azucares	
- Sacarosa	75 - 92
- Glucosa	70 - 88
- Fructosa	2 - 4
Sales	
- Inorgánicos	3.0 - 3.4
- Orgánicos	1.5 - 4.5
Ácidos orgánicos	1 - 3
Aminoácidos	1.5 – 5,5
Otros no azucares	
- Proteína	0.5 – 0.6
- Almidones	0.01 0.050
- Gomas	0.3 - 0.6
- Ceras, grasas, etc.	0.15 - 0.50
- Compuestos fenólicos	0.10 - 0.80

Fuente: Larrahondo, 1995

En la tabla N° 11 para el caso de los tallos, el porcentaje se refiere a la planta de caña, y en el jugo a sólidos solubles.

En los tallos de la caña el agua representa un 73% a 76%, los sólidos solubles entre 10% 16%, la fibra entre 11% - 16%.

En el jugo existen azúcares, sales, ácidos orgánicos, aminoácidos y otros no azúcares, en los porcentajes indicados en la tabla anterior.

2.1.12.2 Efecto en azúcar recuperable

Es importante el contenido de fibra en la extracción ya que el mismo incrementa la cantidad de bagazo es mayor, por lo tanto, la pérdida de sacarosa en bagazo aumenta proporcionalmente. Así mismo se desarrolla la siguiente ecuación de extracción de pol. (Rein, 2012):

Ecuación de extracción de pol

$$E = 100 * \frac{m_p^3}{m_p^1} \quad (14)$$

Fuente: Rein, 2012

Donde:

E: Rendimiento de extracción de pol

m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t]

m_p^1 : Masa de pol en caña [t]

Cuando el jugo ya fue extraído de la caña, la recuperación del azúcar del jugo está en función de la pureza del jugo, es decir de su contenido de impurezas o no-sacarosas. Es así que la “cantidad de no – sacarosas determina directamente la cantidad de miel final producida y la sacarosa perdida en miel es normalmente proporcional a la cantidad de miel” (Rein, 2012).

El contenido porcentual de solidos solubles en agua se los denomina comúnmente Brix. “La relación porcentual entre la sacarosa en el jugo y el brix, se conoce como la pureza del jugo” (Larrahondo, 1995).

El contenido aparente de sacarosa, expresado en porcentaje en peso, se determina mediante “pol” que es un método polarimétrico, y los sólidos diferentes de la sacarosa que

incluyen azúcares reductores como la glucosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas se denominan usualmente “no-pol” o no – sacarosas, los cuales porcentualmente resultan de la diferencia entre el brix y el pol” (Larraondo, 1995).

2.1.13 Balance de materia

El balance de materia se basa en la ley de conservación de la materia que indica que la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma (Flores, 1995), “establece que en un proceso (físico o químico) la masa total permanece constante” (Olivares, 2000), y se puede expresar de la siguiente forma:

Para la resolución de un balance de materia se parte del principio de que la masa es constante:

Masa constante

$$m = \text{cte} \quad (15)$$

Donde:

O bien

Diferencial de masas igual a cero

$$\Delta m = 0 \quad (16)$$

Dónde: m = masa total [t]

Cuando se da el caso de la desaparición de una sustancia (procesos químicos) es posible que exista formación o generación de otras sustancias cuya masa equivale a las sustancias desaparecidas, dicha ley fue establecida por Lavoisier (Olivares, 2000).

El balance de materia de un proceso industrial es “una contabilidad exacta de todos los materiales que entran, salen, se acumulan o se agotan en el curso de un intervalo de tiempo de operación dado”(Hougen, Watson, & Ragatz, 2006), con ello se permite tener el dato de las pérdidas en el proceso, la eficiencia de la operación.

Es importante considerar que si fuese posible las medidas directas del peso y composición de cada corriente que entra, o sale de un proceso en el intervalo de tiempo dado y la variación dentro del sistema en dicho intervalo, no sería necesario ningún cálculo, sin

embargo ello pocas veces es factible, de ahí se hace indispensable el cálculo de incógnitas (Hougen, Watson, & Ragatz, 2006). En ese sentido el principio general de los cálculos para el balance de materia es establecer un sistema de ecuaciones de igual número al de sus incógnitas de modo que se pueda resolver y hallar las incógnitas.

En la industria de procesos, los balances de materia auxilian en la evaluación económica de procesos propuestos o existentes, en el control de procesos y en la optimización de los mismos. Por ejemplo, en la extracción del aceite de soja a partir de los granos de soja, se podría calcular la cantidad de solvente requerido por tonelada de soja o el tiempo necesario para llenar el filtro prensa y valerse de esta información en el diseño del equipo o en la evaluación económica del proceso. Se pueden emplear varios tipos de materias primas o procesos para obtener un mismo producto final pero sólo algunos procedimientos pueden ser técnicamente posibles o rentables.

También pueden usarse en las decisiones de operación de los gerentes de las plantas a diario. Si en un proceso hay uno o más puntos en los que resulte imposible o antieconómico reunir datos, entonces si se encuentran disponibles otros datos que sean suficientes, haciendo un balance de materia es posible obtener la información que sea necesaria acerca de las cantidades y composiciones en la posición inaccesible. En la mayor parte de las plantas, se reúnen bastantes datos sobre las cantidades y composiciones de las materias primas, productos intermedios, desperdicios, productos y subproductos y que son usados por los departamentos de producción y de contabilidad, pudiendo integrarse en una imagen reveladora de las operaciones de la empresa.

2.1.14 Ecuación general de balance de materia

La ecuación general del balance de materia es el siguiente (Olivares, 2000), el cual quiere decir que la materia no se crea ni se destruye, solo se transforma, por lo tanto la masa que ingresa al sistema es igual a la masa que sale del mismo:

Ecuación general del balance de materia

$$E_n + P + I_i = S + R + I_f \quad (17)$$

Donde:

E_n = Entradas

P = Lo que se produce (se genera)

I_i = Inventario inicial (lo que hay al inicio, dentro del sistema)

S = Lo que sale

R = Lo que se consume (reacciona)

I_f = Inventario final (lo que queda al final, dentro del sistema)

Según Olivares (2000, p 3.3) “a la diferencia entre el inventario final y el inicial, se le llama acumulación (A_c) (...) y puede ser positiva o negativa (déficit) o tener un valor igual a cero cuando los inventarios son iguales”:

Acumulación

$$A_c = I_f - I_i \quad (18)$$

Donde:

A_c = Acumulación

I_f = Inventario final (lo que queda al final, dentro del sistema)

I_i = Inventario inicial (lo que hay al inicio, dentro del sistema)

Reemplazando en la ecuación 17 queda:

Ecuación de balance general con acumulación

$$En + P = S + R + A_c \quad (19)$$

Donde:

En = Entradas

P = Lo que se produce (se genera)

S = Lo que sale

R = Lo que se consume (reacciona)

A_c = Acumulación

Según Hougen, Watson, & Ragatz (2006) existen normas que permiten dirigir el transcurso de los cálculos.

2.2 Desarrollo teórico

2.2.1 Cálculo de agua de imbibición por método de digestor en frío

Para el cálculo de agua de imbibición por el método de digestor en frío es importante primero un adecuado cálculo del porcentaje de fibra de caña y para ello existe el método del Digestor en frío, el cual indica que para obtener el porcentaje de fibra en caña se debe obtener inicialmente el porcentaje de fibra en bagazo, y para ello es importante realizar la obtención de datos a nivel laboratorio de muestras del lote recepcionado en planta, en el cual:

Porcentaje de humedad por diferencia de pesos

$$\% \psi = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_r} * 100 \quad (20)$$

Donde:

ψ : Humedad

m_1 : Masa del recipiente + masa del bagazo húmedo [t]

m_2 : Masa del recipiente + masa del bagazo seco [t]

m_r : Masa del recipiente [t]

Una vez que se obtiene el porcentaje de humedad el cálculo del porcentaje de fibra en bagazo es el siguiente:

Cálculo de porcentaje de fibra

$$\% \text{ fibra en bagazo} = 100\% - \% \psi - \% \text{Brix} \quad (21)$$

Donde:

$\% \psi$: Humedad [%]

$\% \text{Brix}$: Porcentajes de Brix [%]

Seguidamente para obtener el porcentaje de fibra en caña, se parte del balance por elementos tomando el flujo de la fibra, es decir:

Balance por componentes de fibra en caña y bagazo

$$\text{Masa de caña} * \% \text{ fibra en caña} = \text{Masa de bagazo mojado} * \% \text{ fibra en bagaz} \quad (22)$$

Finalmente despejando la variable de interés queda:

Porcentaje de fibra en caña

$$\% \text{ fibra en caña} = \frac{\text{Masa de bagazo mojado} * \% \text{ fibra en bagazo}}{\text{Masa de caña}} \quad (23)$$

2.2.2 Determinación de agua de imbibición a utilizar en la industria de caña

El estudio realizado por los investigadores Gonzáles, Castellanos & Francisco (2010), determina un procedimiento para la determinación de la cantidad óptima de agua de imbibición, donde indica que la cantidad de agua de imbibición es determinada por la composición de la caña, donde un incremento en la cantidad de agua de imbibición contrae consigo un incremento en la extracción del azúcar.

Aun cuando el bagazo sea sometido a presiones altas y repetitivas, al llegar a su punto máximo el jugo no cede y se contiene en la caña. Así mismo para obtener una mayor cantidad posible de azúcar, debe recurrirse a un artificio; el cual consiste en el reemplazo del jugo por agua, a lo que se llama “imbibición”.

La imbibición puede ser simple o compuesta; el primero de ellos es cuando se agrega agua al bagazo después de cada molino, en el cual existe gran cantidad de consumo de agua. La imbibición compuesta es cuando se aplica agua antes del último molino, retornando al jugo obtenido en esta etapa al penúltimo molino; el jugo del penúltimo al anterior, y así sucesivamente.

2.2.3 Intensificación del proceso de extracción de la sacarosa de la caña de azúcar con el uso de surfactantes aniónicos en el agua de imbibición

La investigación realizada por Gil (2000), en su tesis doctoral afirma mediante un proceso experimental que la adición de un surfactante aniónico con propiedades humectantes pueden intensificar la extracción de pol en el proceso industrial de la obtención de azúcar, para el cual realiza una serie de procedimientos experimentales a nivel laboratorio y posteriormente a nivel industrial para concluir que con la adición de los surfactantes aniónicos disminuyen los porcentajes de pol y humedad en el bagazo obtenido de la extracción, ello en función de la concentración de los surfactantes en el agua de imbibición, ya que disminuye la tensión superficial del agua.

2.2.4 Optimización del porcentaje de extracción de jugo de caña de azúcar a través del análisis de índice de preparación

El estudio realizado por el investigador Orellana (2015), menciona que es posible optimizar el porcentaje de extracción de jugo en caña de azúcar, mediante el análisis de índice de preparación de caña de azúcar, para optimizar el porcentaje de extracción de pol en jugo obtenido, de modo que se puedan romper las celdas que portan el azúcar, reduciendo la polarización del bagazo.

2.2.5 Análisis de investigaciones revisadas y EASBA

Con base a las investigaciones de otros autores, y la manera en que realiza el balance de materia industrial para la etapa de extracción del proceso industrial del azúcar, es importante realizar las comparaciones, como se muestra a continuación:

TABLA N° 12: Análisis de investigaciones revisadas y EASBA

AUTOR	CARACTERÍSTICAS DE BALANCE DE MATERIA	DIFERENCIAS ENCONTRADAS CON EASBA
Gonzáles, Castellanos & Francisco (2010)	Determina la cantidad de agua de imbibición de forma experimental, para aumentar el porcentaje de extracción de pol en jugo.	La diferencia encontrada, es que para determinar la cantidad de agua de imbibición es realizada de forma experimental según los autores y de forma industrial en EASBA.
Gil (2000)	Realiza mediante un procedimiento experimental a nivel laboratorio e industrial posteriormente la adición de surfactantes aniónicos disueltos en el agua para incrementar el porcentaje de pol en jugo.	La diferencia encontrada en relación a EASBA es que el autor realiza los cálculos inicialmente a nivel laboratorio y posteriormente de forma industrial.
Orellana (2015)	Realiza un análisis de índice de preparación de caña de azúcar para incrementar el porcentaje de pol en jugo.	La diferencia encontrada entre el autor y EASBA es que el autor sólo realiza un análisis.
EASBA (2019)	Realiza los cálculos de balance de materia con base a procedimientos establecidos en la gestión 2017, el cual es realizado de forma industrial directamente.	-

Fuente: Elaboración propia

Con base a la tabla No 12 es posible notar que las principales diferencias es que en EASBA se realizan los cálculos directamente a nivel industrial, y en las investigaciones se realiza inicialmente a nivel laboratorio para posteriormente ser proyectadas a nivel industrial.

2.2.6 Sin reacción química

No se establece balance de materia para elementos químicos presentes. En un proceso que no tiene reacción química, el balance de materia se debe basar en los compuestos químicos o en los componentes de composición fija aun cuando no sean compuestos químicos puros. Se debe emplear preferiblemente unidades de peso, tales como gramo o libras.

2.2.7 Con reacción química

Se debe desarrollar balance de materia basado en los elementos químicos, sobre radicales compuestos o sustancias que no se alteren, descompongan o formen en el proceso. Es conveniente utilizar las unidades mol-gramo, mol-libra, átomo-gramo, o átomo-libra.

2.2.8 Número de magnitudes desconocidas

El número de magnitudes desconocidas que se calcula no puede exceder al número de balances de materia independientes que se puedan plantear, ya que sería indeterminado.

2.2.9 Número de ecuaciones de balance de materia

Si el número de ecuaciones de balance de materia independientes es mayor al número de masas desconocidas que se calcularán debe aplicarse criterios para determinar que ecuaciones se elegirán para la resolución del problema. Es importante admitir el mayor número de ecuaciones independientes.

Entre los métodos de balance de materia existentes, se pueden mencionar a los siguientes:

- Balance de masa global o general, es el que se realiza de forma global a todo el sistema, en el que se considera que la masa que ingresa es igual a la masa que sale.
- Balance parcial o por componentes: Es el que se realiza a los sub sistemas, teniendo en consideración la corriente de cada componente.
- Balance molar: Es el balance en el sistema donde no existen cambios químicos.
- Balance atómico: Se realiza cuando en el sistema existen cambios químicos.
- Balance volumétrico: Se realiza cuando no existen cambios de estado.

El método empleado en la presente investigación es el método del balance general y por componentes.

2.2.10 Sustancia de unión

La sustancia de unión es la sustancia que aparece en una corriente que entra y otra que sale, sirve como referencia para los cálculos.

2.2.11 Mecánica para la resolución de problemas

Según Flores (1995) la mecánica para la resolución de problemas es el siguiente:

- Representar un diagrama de flujo o bloques y rotular con todos los valores de las variables conocidas.
- Elegir como base de cálculo una cantidad o flujo de una de las corrientes del proceso.
- Rotular las variables desconocidas en el diagrama, los flujos de masa y molares de los componentes de las corrientes.
- Convertir volúmenes o flujos volumétricos conocidos a cantidades másicas o molares, empleando densidades tubulares o leyes de los gases.
- Si el problema mezcla unidades de masa y molares en una corriente, convertir todas las unidades a un mismo sistema.
- Formular ecuaciones de balance de materia.
- Resolver las ecuaciones formuladas.

Se entiende como base de cálculo la referencia escogida para el cálculo de los balances en el proceso.

2.2.12 Tipos de balance de materia

Existen dos tipos de balance de materia que se pueden aplicar a un sistema:

2.2.12.1 Balance diferencial

El balance diferencial “indica lo que ocurre en un sistema en un momento determinado” (Quinteros, 2010), se aplica a sistemas continuos, es decir que las variables del proceso

dependen del tiempo. Si el sistema fuera estacionario el balance diferencial dará en cualquier tiempo el mismo resultado.

2.2.12.2 Balance integral

El balance integral “indica lo que le ocurre a un sistema durante dos instantes determinados”(Quinteros, 2010), se aplica a procesos tipo batch o por lotes, es decir que tienen condiciones específicas al inicio y al final.

2.2.13 Balance de materia en la industria azucarera

En la fabricación del azúcar es importante la recuperación de toda la sacarosa presente en la caña como producto azucarado, el cual debe ser el máximo posible. “Un balance de sacarosa en las corrientes de entrada y salida usualmente conduce a una discrepancia; la diferencia se denomina pérdida indeterminada” (Rein, 2012).

Por lo que a inicios del siglo XX Guilford L. Spencer propuso el primer sistema de contabilidad para la industria azucarera, estableciendo la Fórmula Fundamental del Molino (FFM) (Pérez, 2009):

Fórmula fundamental del Molino

$$CAÑA + AGUA = JUGO + BAGAZO \quad (24)$$

Si se realiza el moliendo en seco, sin imbibición aproximadamente 30 minutos, se obtiene un factor calculado a partir del “primer jugo virgen” extraído y el “jugo sin diluir” es decir el bagazo que resulta, el cual fue denominado erróneamente como “jugo normal”. En esa fecha hizo solamente la primera mención del “Jugo Absoluto” (Caña – fibra) como el ideal para basar la contabilidad. De ese sistema primitivo de contabilidad queda ese Factor de Molida en Seco que mantiene vigente su utilidad en casos de irregularidades en la medición del Agua de Imbibición por medio de equipos y en algunas unidades aún vigente para el cálculo en la FFM” (Pérez, 2009)

Posteriormente la International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT) establece un sistema basado en el Jugo Absoluto; debido a la complejidad de la cuantificación de la sacarosa presente en productos, se acordó “universalizar las bases de la contabilidad a partir de la medición de la Sacarosa por Polarimetría y utilizar el término Pol” (Pérez, 2009).La diferencia fundamental entre el control de la ISSCT y los métodos antiguos está

en la definición del jugo absoluto como “caña – Fibra”, y el cálculo de los valores para el control de los molinos sobre la base del jugo absoluto en lugar del “jugo no-diluido” a partir del °Brix del primer jugo extraído por medio de un “factor de molienda en seco”.

2.2.13.1 Polarimetría

“La polarimetría consiste en medir la rotación óptica producida sobre un haz de luz polarizada al pasar por una sustancia ópticamente activa” (Martínez, 2006), es decir para comprobar la pureza y determinar la concentración de elementos, como la glucosa, fructosa, sacarosa en la industria azucarera.

Según Rein (2012), cuando existe mayor pol en el azúcar implica que la cantidad de impurezas en la refinería es menor, por lo que la producción de azúcar refinado resultará mayor.

Así mismo Fernández (2011), indica que por razones prácticas se pueden admitir que la pol sea igual a la sacarosa, posibilitando el mismo tratamiento para estos parámetros, acepto por la miel final. En África de Sur, las centrales de azúcar emplean cromatografía desde 1988 para realizar el balance de materia de sacarosa.

Los cálculos se aplican en las empresas que producen solamente azúcar y miel final como producto principal.

Se ha demostrado que las diferencias entre pol y sacarosa son insignificativas en la entrada de materia prima de alta pureza. Debido al estudio realizado por África del Sur en zafra 2007/2008 en 14 plantas de azúcar, mostraron la regresión lineal significativa entre pol y sacarosa siendo solamente de 0.46% de pol en caña en relación de la sacarosa, para el cálculo de balance de materia de sacarosa o el uso de pol no implica un error significativo en los resultados finales (Davis & Achary 2008)

2.2.14 Base fundamental del cálculo en la obtención de azúcar

Según (Mayorga & Trejos, 2002) es importante conocer los datos iniciales para realizar los cálculos pertinentes, mismos que son los pesos de los productos que intervienen en la extracción, los cuales son:

- Productos que entran al molino: Caña y agua de imbibición

- Productos que salen del molino: Jugo Mezclado y Bagazo

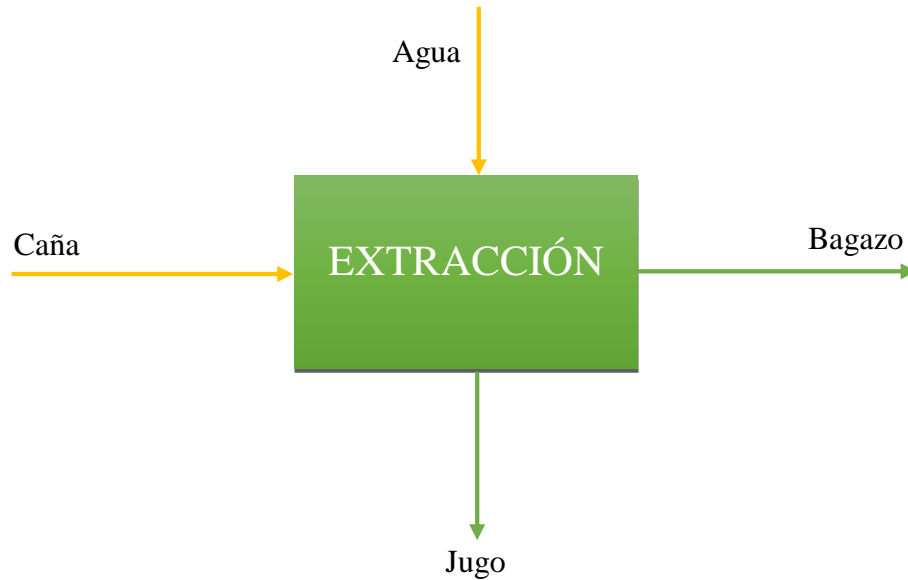
Con base en el balance de materia, los pesos de los productos que ingresan a la extracción es igual a la suma de los productos que se obtienen de la extracción:

Fórmula fundamental del Molino para la extracción de caña

$$\text{Peso de caña} + \text{Peso de agua de imbibición} = \text{Peso de Jugo Mezclado} + \text{Peso de Bagazo} \quad (25)$$

A dicha ecuación se la conoce como la ecuación fundamental de los molinos.

GRÁFICO N° 8: Esquema de entradas y salidas de extracción



Fuente: Mayorga & Trejos, 2002

Así mismo existen diferentes casos para la resolución de la ecuación fundamental de los molinos en caso de que se tenga conocidos ciertos datos:

TABLA N° 13: Casos para resolución

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
Peso de la caña	SI	SI	SI	SI	SI
Peso del agua de imbibición	SI	SI	NO	NO	NO
Peso del Jugo mezclado	SI		SI		NO
Peso del bagazo	NO	NO	NO	NO	
Volumen del jugo Mezclado		SI		SI	NO
El Brix y la temperatura del Jugo Mezclado		SI		SI	
% de fibra directa en caña (por análisis)			SI	SI	SI
% de fibra directa en bagazo			SI	SI	SI
% Brix de jugo mezclado					SI
% Pol de jugo mezclado					SI

Fuente: Mayorga & Trejos, 2002

En la tabla N° 13 se puede observar casillas sombreadas, las mismas indican que para el balance de materia no son necesarios dichos datos.

Las formas de resolución que plantea Mayorga & Trejos (2002) es el siguiente:

Resolución caso 1

Para el primer caso el dato que se desconoce es el peso del bagazo, el cual se puede partir por la ecuación fundamental, es decir:

$$\text{Peso de caña} + \text{Peso de agua de imbibición} = \text{Peso de Jugo Mezclado} + \text{Peso de Bagazo}$$

Despejando el peso del Bagazo:

Peso de bagazo a partir de fórmula fundamental

$$\text{Peso de Bagazo} = \text{Peso de caña} + \text{Peso de agua de imbibición} - \text{Peso de Jugo Mezclado} \quad (26)$$

Resolución caso 2

Para el segundo caso el dato que se desconoce es el peso del bagazo, sin embargo se tienen otros datos relativamente diferentes al caso 1, el cual es que no se conoce el peso del jugo mezclado, pero sí se conoce su volumen, por lo que puede calcularse el peso del jugo mezclado partir de la siguiente relación:

Peso

$$\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{Densidad} \quad (27)$$

En dicha ecuación, el dato faltante termina siendo la densidad, dicho dato puede obtenerse de tablas de densidad a 20°C que le corresponde en función de su grado Brix, y el grado brix se obtiene de la lectura obtenida en la experimentación:

Peso del jugo

$$\text{Peso del jugo} = \text{Volumen del jugo} * \text{Peso específico según } ^\circ\text{Brix} \quad (28)$$

Resolución caso 3

Los datos desconocidos para el caso 3 es el peso de agua de imbibición y el peso del bagazo, sin embargo, en vista de que él % de fibra directa en la caña y en el bagazo son datos conocidos es posible aplicar el siguiente principio:

Balance por componentes para fibra en caña y bagazo

$$\text{Peso de caña} * \% \text{Fibra en caña} = \text{Peso de bagazo} * \% \text{Fibra en bagazo} \quad (29)$$

Peso de bagazo a partir de balance por componentes para fibra en caña y bagazo.

$$\text{Peso de Bagazo} = \frac{[(\text{Peso de Caña}) * (\% \text{Fibra en caña})]}{\% \text{Fibra en bagazo}} \quad (30)$$

A partir del cálculo de los datos desconocidos es posible obtener el peso del agua de imbibición de acuerdo a lo siguiente:

Peso de agua de imbibición a partir de fórmula fundamental

$$\text{Peso de agua de imbibición} = \text{Peso del jugo mezclado} + \text{Peso del bagazo} - \text{Peso de caña} \quad (31)$$

Resolución caso 4

Es los datos que no se disponen son el peso de agua de imbibición y el peso de bagazo, sin embargo, se puede notar que el caso 4 es una combinación de los casos 2 y 3; por lo que se debe encontrar el peso mediante la densidad correspondiente del jugo mezclado para el brix observado a la temperatura experimental.

Posteriormente se encuentra el peso del bagazo y se reemplazan los datos en la ecuación fundamental.

Resolución caso 5

Los datos desconocidos para este caso son tres, el peso del bagazo, el peso del jugo mezclado y el peso del agua.

El peso del bagazo se puede obtener de la siguiente fórmula (ídem al caso 3):

$$\text{Peso de Bagazo} = \frac{[(\text{Peso de Caña}) * (\% \text{ Fibra en caña})]}{\% \text{ Fibra en bagazo}}$$

Una vez que se tiene el peso del Bagazo y con el dato del % pol en bagazo se puede calcular el peso de pol en bagazo de acuerdo a:

Peso de pol en bagazo

$$\text{Peso de pol en Bagazo} = \frac{\text{Peso de bagazo} * \% \text{ Pol en Bagazo}}{100} \quad (32)$$

Ya obtenido el peso de pol en bagazo, es posible calcular el peso de pol en el jugo mezclado:

Peso de pol en caña a partir de la diferencia de pesos de pol

$$\text{Peso de pol en caña} = \text{Peso de pol jugo} + \text{Peso de pol en bagazo} \quad (33)$$

Despejando el peso de pol jugo se tiene que:

Peso de pol en jugo

$$\text{Peso de pol jugo} = \text{Peso de pol en caña} - \text{Peso de pol en bagazo} \quad (34)$$

Con la ecuación anterior se tiene la incógnita del peso de pol en caña, por lo que debe ser calculado previamente el azúcar recobrado, el cual está definido de acuerdo con la siguiente ecuación:

Peso de pol recobrado

$$\text{Peso de pol recobrado} = \text{Peso de pol hecho} + \text{Peso de pol en proceso} \quad (35)$$

A su vez el Peso de pol hecho se calcula:

Peso de pol hecho

$$\text{Peso de pol hecho} = \frac{\text{Peso de azúcar físico} * \% \text{ pol promedio}}{100} \quad (36)$$

Así mismo el Peso de pol en proceso se obtiene a partir del balance de materiales diario sobre la base del inventario.

El peso de pol de caña se calcula por la sumatoria de los pesos de pol por todos los conceptos posibles en el proceso de acuerdo a lo siguiente:

Peso de pol en caña

$$\begin{aligned} \text{Peso de pol en caña} = & \text{Peso de pol miel final} + \text{Peso de pol en bagazo} + \\ & \text{Peso de pol en cachaza} + \text{Peso de pol recobrado} + \text{Peso de pol Indeterminado} \end{aligned} \quad (37)$$

NOTA: El peso de pos indeterminado se asume un 1% respecto al peso de pol caña según Mayorga & Trejos (2002).

Posteriormente el cálculo para el peso de pol en jugo es de acuerdo a lo siguiente:

Peso de pol en jugo

$$\text{Peso de pol en jugo} = \frac{\text{Peso del Jugo} * \% \text{ Pol Jugo}}{100} \quad (38)$$

Despejando el peso del Jugo:

Peso del jugo

$$\text{Peso del Jugo} = (\text{Peso de pol en jugo} * \% \text{ Pol en jugo}) * 100 \quad (39)$$

Finalmente, el peso de agua se obtiene despejando la ecuación fundamental:

Peso del agua a partir de fórmula fundamental

$$\text{Peso de agua} = \text{Peso de jugo} + \text{Peso de bagazo} - \text{Peso de caña} \quad (40)$$

El cálculo de la extracción de sacarosa en la extracción es igual al “porcentaje de sacarosa que se remueve por la molienda, en el jugo diluido, con respecto a la sacarosa presente en la caña inicial” (Rein, 2012) expresada como porcentaje de acuerdo a lo siguiente:

Porcentaje de extracción de pol

$$E = 100 * \frac{\text{masa de pol en jugo mezclado}}{\text{masa de pol en caña}} \quad (41)$$

2.2.15 Variables que influyen al rendimiento en la extracción

Las variables que influyen en el rendimiento de la extracción de pol es el porcentaje de pol que se encuentra en el jugo, al igual del porcentaje de pol en caña, si bien el dato de ambos es posible encontrarlos con instrumentos de medición, es importante que la cantidad de pol en el jugo sea el mayor posible, sin embargo el jugo absoluto se encuentra absorbido por la fibra de la caña debido a la atracción capilar; cuando ésta es sometida a compresiones sucesivas, “el jugo será extraído gradualmente hasta que nuevas compresiones son ineficaces para extraer más jugo y aun cuando el bagazo fuera sometido a presiones considerables, no cederá jamás todo el jugo que contiene y siempre conservará una fracción importante del jugo absoluto”(Mayorga & Trejos, 2002). En ese sentido para extraer la mayor cantidad de sacarosa o pol se recurre a un artificio llamado imbibición (Pérez, Álvarez, & Fernández, 2010).

Otras variables importantes son el tamaño del difusor y la tasa de procesamiento de caña también tiene un efecto importante sobre la extracción por el mayor tiempo que la caña permanece dentro del difusor.

Por otro lado, las variables que de igual manera influyen al rendimiento es la temperatura, y la presión en la extracción, sin embargo, en las plantas industriales se tiene un control automático de las mismas, por lo tanto en el contexto de la presente investigación se consideran como un escenario *ceteris paribus*, es decir que tanto como la temperatura y presión no afectan al balance de materia presentado, permaneciendo constante.

2.2.15.1 Imbibición

La imbibición consiste en la “aplicación continua de agua sobre el colchón de bagazo durante la molienda” (Mayorga & Trejos, 2002), cuyo fin es el de diluir el jugo retenido y facilitar la extracción. Así mismo Rein (2012) afirma que “el uso de una mayor cantidad de agua resultará en general en mayores diferencias de concentración, con un efecto favorable sobre la extracción”, para ello es importante tener los mejores valores de

imbibición, los cuales deben ser determinados mediante ensayos para cada molino en particular.

En ese sentido la cantidad de agua de imbibición generalmente tiene relación con la cantidad de fibra que se procesa, debido a que la fibra es la que forma el colchón de caña y porque es quien remueve con ella jugo en el bagazo final, sin embargo “no existe una tasa mínima o máxima de imbibición para difusión. Debido a que tasas de imbibición elevadas permiten utilizar difusores pequeños alcanzando una extracción elevada (...) La tasa de imbibición óptima para cualquier planta de extracción por lo tanto depende de factores particulares de cada fábrica” (Rein, 2012).

TABLA N° 14: Efecto de cambios en la tasa de imbibición sobre la extracción de un difusor

Imbibición % fibra	250	300	350
Caso 1: Elevada extracción	97,6	98,0	98,3
Caso 2: Baja extracción	94,3	95,0	95,4

Fuente: Rein, 2012

La tabla N° 14 muestra el efecto de la imbibición sobre la extracción elaborada con base en resultado de simulaciones utilizando un modelo matemático y corroborado por resultados operativos en plantas industriales, por lo tanto, deja en evidencia que el efecto de un mayor nivel de imbibición resulta en una mayor extracción (Rein, 2012).

CAPITULO III
METODOLOGÍA
DESARROLLADA

CAPITULO 3: METODOLOGÍA DESARROLLADA

En el presente capítulo se muestra la metodología desarrollada para la investigación como se muestra en el siguiente gráfico:

GRÁFICO N° 9: Flujo del proceso de investigación



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se puede apreciar un flujo en relación al proceso de investigación que se sigue en el presente documento, iniciando por la tipología del proyecto, tipo de investigación, métodos de investigación, alcance de la investigación y diseño de la investigación.

3.1. Tipología del proyecto

La tipología del presente proyecto es científico experimental, debido a que apunta a mejorar el procedimiento del balance de materia a nivel industrial mediante el análisis de variables para mejorar el rendimiento de sacarosa resultante de la etapa de extracción del proceso industrial de azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura.

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación aplicado en el presente proyecto es la investigación cuantitativa, debido a que según Sampieri, Collado & Baptista (2014) “La investigación cuantitativa debe ser lo más objetiva posible (...) pretende confirmar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos”

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación empleado en el presente trabajo es el método deductivo, que parte de un análisis, debido a que mediante este método se emiten “hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquéllas”(Sánchez, 2004)

3.4. Alcance de la investigación

En el marco del objetivo planteado en el presente proyecto, el alcance del proceso de investigación que se adopta es la correlacional y la explicativa; la primera para asociar las variables que influyen en el resultado del rendimiento de sacarosa en la etapa de extracción, la segunda para establecer las causas del desperdicio de sacarosa en dicha etapa.

3.5. Diseño de la investigación

El diseño de investigación adoptado es el diseño experimental debido a que se refiere a “elegir o realizar una acción y después observar las consecuencias (...) La esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados” (Sampieri, Collado, & Baptista, 2014).

Por lo tanto, es menester que en primera instancia se identifiquen las variables que influyen en el rendimiento de la etapa de extracción del proceso industrial del azúcar para posteriormente manipular dichas variables estableciendo referentes de control de modo que el resultado sea la disminución de desperdicio de sacarosa aumentando el rendimiento de dicha etapa.






3.6. Técnicas e instrumentos de investigación



3.6.1. Información primaria

La obtención de la información primaria se apoya en instrumentos físicos de medición de variables:

TABLA N° 15: Instrumentos de medición

INSTRUMENTO	IMAGEN	VARIABLE A MEDIR	PRECISIÓN DE LECTURA	DIVISIÓN DE ESCALA
Balanza digital		Peso	0,01g	0,01g
Balanza Industrial		Peso	500 g	0,5 Kg

<p>Brixómetro</p>		<p>Brix</p>	<p>0,2% Brix</p>	<p>0,2% Brix</p>
<p>Termómetro industrial</p>		<p>Temperatura</p>	<p>0,1 °C</p>	<p>0,1 °C</p>
<p>Medidor de pH digital</p>		<p>pH</p>	<p>0.01</p>	<p>0.01</p>
<p>Sacarímetro</p>		<p>pol</p>	<p>0,05°</p>	<p>1°</p>
<p>Espectrofotómetro</p>		<p>nm</p>	<p>0,5</p>	<p>0,5</p>

<p>Digestor de Bagazo</p>		<p>RPM</p>	<p>7000</p>	
<p>Estufa Spencer</p>		<p>°C</p>	<p>+7°C a 120 °C</p>	<p>±2C</p>

Fuente: Elaborado en base a datos proporcionados por la Empresa Azucarera San Buenaventura

Los instrumentos detallados en la tabla N° 15 son aquellos con los que ya cuenta la Empresa Azucarera San Buenaventura, y para su empleo se realizará la correspondiente calibración para obtener medidas apropiadas.

3.6.2. Información secundaria

Para las fuentes de información secundaria se tomará en cuenta libros, artículos científicos, memorias institucionales de gestiones anteriores de la Empresa Azucarera San Buenaventura, notas periodísticas y páginas web, que contribuyan al desarrollo del presente proyecto.

CAPITULO IV
PROPUESTA DE BALANCE
DE MATERIA Y
RESULTADOS

CAPITULO 4: PROPUESTA DE BALANCE DE MATERIA Y RESULTADOS

En el presente capítulo se desarrolla la propuesta que ofrece la solución a las deficiencias encontradas en la etapa de extracción del proceso industrial del azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura, mediante el análisis de variables con un balance de materia en dicha etapa.

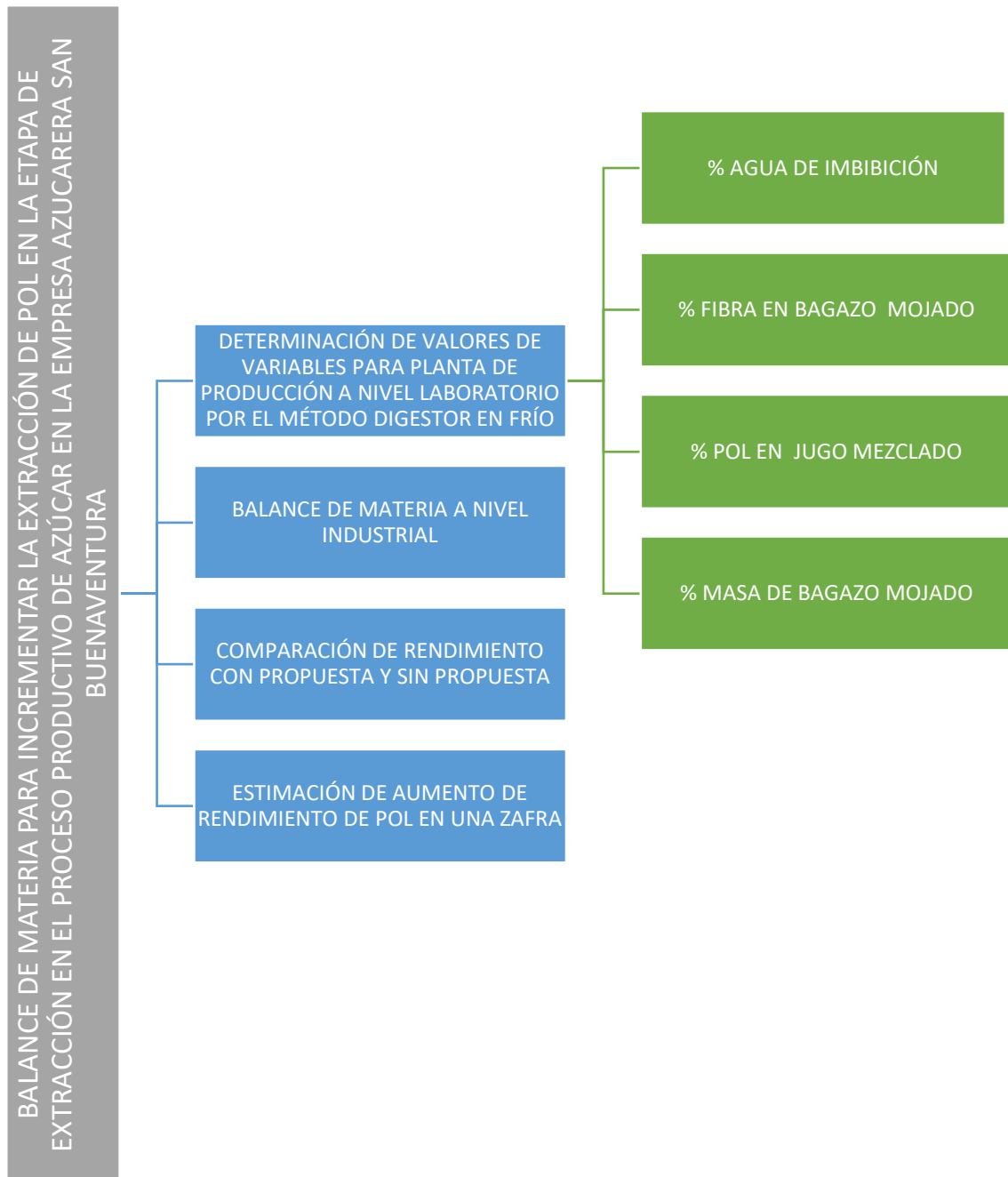
Es importante en la industria la disminución de desperdicios generados en las diferentes operaciones que componen el proceso industrial, por lo tanto, para tener un mejor control de ello es importante conocer las variables con sus respectivos referentes de control de modo que permita una adecuada toma de decisiones y acciones para la corrección del proceso en caso de presentarse alguna desviación.

El objetivo de la propuesta es desarrollar una sistematización de identificación de variables con sus respectivos referentes de control mediante el balance de materia para la etapa de extracción del proceso industrial de la Empresa Azucarera San Buenaventura para la disminución de desperdicio de sacarosa en dicha etapa.

Se busca:

- Determinar valores de variables para planta de producción
- Realizar el balance de materia a nivel industrial
- Realizar una comparación de rendimientos con y sin propuesta.
- Estimar el aumento de rendimiento de pol en una zafra.

GRÁFICO N° 10: Esquema de la propuesta

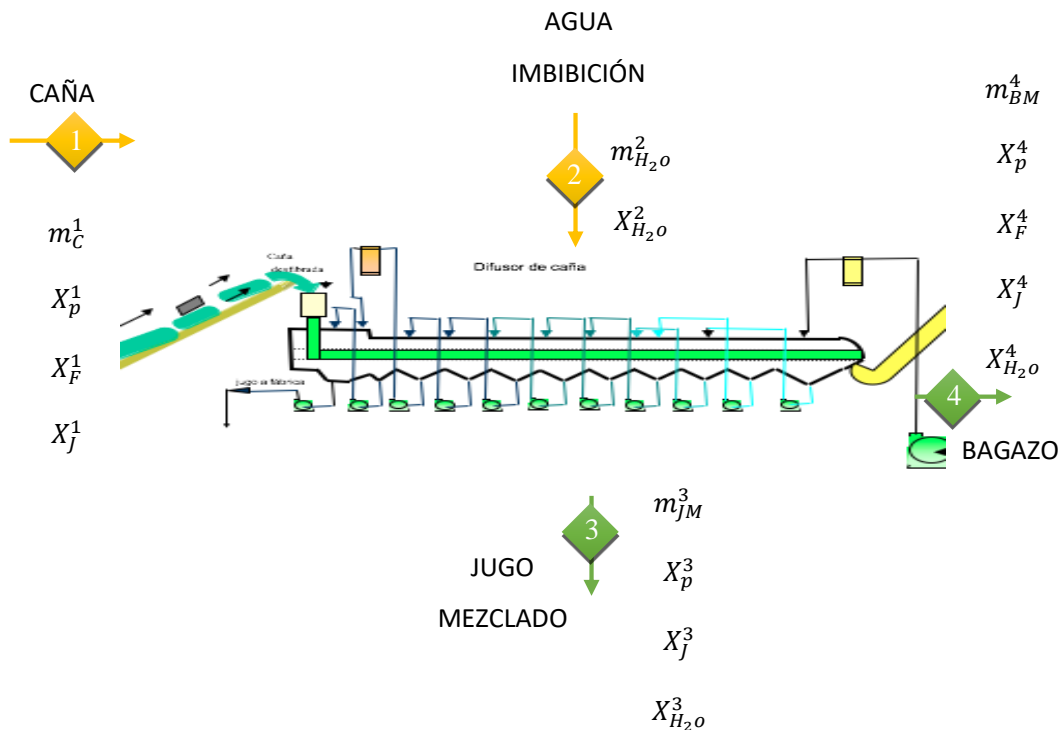


Fuente: Elaboración propia con base teórica

4.1. Desarrollo de variables para la planta industrial

El balance de materia a nivel laboratorio debe ser realizado con diez muestras de caña de cada lote recepcionado, seguidamente se realiza el procedimiento indicado en la teoría para obtener el porcentaje de fibra de bagazo mojado, seguidamente el porcentaje de fibra en caña para la determinación del porcentaje de agua de imbibición:

Diagrama del proceso



Cálculo de porcentaje de fibra de bagazo:

Para el cálculo de porcentaje de fibra de bagazo se ejecutó prácticas en laboratorio tomando diez muestras de caña para ser pesados y obtener la variable indicada por el método del Digestor en frío indicado en la teoría:

A continuación, se muestra el registro de los pesos del bagazo:

TABLA N° 16: Planilla de registro de pesos iniciales de caña y agua


Planilla de registro de pesos de masa de caña y masa de agua para las pruebas en laboratorio		
Cantidad de pruebas	m_c^1 =Masa de caña[g]	$m_{H_2O}^2$ =Masa de agua [g]
1	500	1000
2	500	1000
3	500	1000
4	500	1000
5	500	1000
6	500	1000
7	500	1000
8	500	1000
9	500	1000
10	500	1000

Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007

La tabla N° 16 muestra la planilla de registro de pesos iniciales de caña y agua que se emplearon para 10 pruebas, es posible evidenciar que para todas las pruebas se tomaron 500 gramos de masa de caña, y 1000 gramos de masa de agua, se realiza dicha medición para el registro de las variables de entrada para emplear en la ecuación 42 de balance general para la extracción que se aprecia más adelante.

Seguidamente la masa de caña y masa de agua se mezclan para someterse a la extracción, por lo tanto a continuación, se procedió al registro de la masa del jugo y del bagazo mojado, resultantes posteriores al licuado, los cuales resultaron de acuerdo a lo siguiente:

TABLA N° 17: Planilla de registro de masas del jugo mezclado y masa de bagazo mojado

 Planilla de registro de masa del jugo mezclado y masa del bagazo mojado		
Cantidad de pruebas	m_{JM}^3 =Masa del jugo mezclado[g]	m_{BM}^4 =Masa del Bagazo mojado [g]
1	1020	480
2	930	570
3	840	660
4	915	585
5	960	540
6	990	510
7	1035	465
8	900	600
9	855	645
10	1035	465
PROMEDIOS	948	552


Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007

En la tabla N° 17 se puede apreciar que la planilla de registro de masas del jugo mezclado y masa de bagazo mojado obtenidas posterior a la extracción, dichos datos se emplearán en la ecuación 42 para el balance general para la extracción, ya que los datos registrados son los datos de salida del sistema.

Obtención de % de pol en jugo mezclado

Seguidamente al resultado de la extracción realizada a nivel laboratorio se procedió a registrar el porcentaje de pol en caña y pol en jugo con ayuda del sacarímetro, el porcentaje de Brix ayuda del brixómetro, los datos obtenidos son los siguientes:

TABLA N° 18: Planilla de registro de % de pol en caña, % pol en jugo mezclado y % Brix en jugo mezclado

	Planilla de registro de % de pol en caña - % pol en jugo - %Brix en jugo mezclado		
Cantidad de pruebas	$\%X_p^1 = \% \text{ pol en caña}$	$X_p^3 = \% \text{ pol en jugo mezclado}$	% Brix
1	10,6	10,5	11,7
2	11,7	10,5	11,4
3	11,3	10,6	11,4
4	10,6	10,5	11
5	10	10,5	12
6	11,2	10,6	11,2
7	11,2	10,6	11,3
8	11,3	10,5	11,6
9	11,7	10,6	11,7
10	10,8	10,6	11
PROMEDIOS	11,04	10,55	11,43

Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007


En la tabla N° 18 se aprecia la planilla de registro de % de pol en caña, % de pol en jugo y % Brix obtenida con el brixómetro, donde se puede apreciar que los resultados promedios obtenidos fueron de 11,04 - 10,55 y 11,43 respectivamente.

Dichos datos se obtienen para ser empleados de la siguiente forma: El porcentaje de pol en caña $\%X_p^1$ y el porcentaje de pol en jugo mezclado X_p^3 se emplea para el cálculo en la ecuación 43 para el balance por componentes para la pol. Por otro lado el porcentaje de Brix, se emplea para la tabla 21, donde se realiza el cálculo del porcentaje de fibra en bagazo mojado.

Cálculo de % de humedad por diferencia de pesos

Una vez realizada la extracción se realiza el cálculo de la humedad del bagazo para posteriormente calcular el porcentaje de fibra en bagazo mojado calculado en la tabla 21, por lo tanto de cada prueba se pesaron 100 gramos aproximadamente de bagazo mojado en un crisol, se obtuvo la tara del crisol, y posteriormente una vez que el bagazo ya estuvo seco se procedió al pesado nuevamente:

TABLA N° 19: Planilla de registro de masas de bagazo mojado y seco

 EASBA <small>Empresa Azucarera San Buenaventura</small>		Planilla de registro de masa de bagazo mojado y bagazo seco	
Tara del crisol		$m_r = 34$ [g]	
Cantidad de pruebas	$m_1 =$ Masa de crisol + masa de bagazo mojado	$m_2 =$ Masa de crisol + masa de bagazo seco	
1	134,1	64,40	
2	134	64,43	
3	134	63,93	
4	133,9	63,26	
5	133,9	64,85	
6	134	65,01	
7	134,1	63,80	
8	134	63,53	
9	134	64,61	
10	133,9	63,27	
PROMEDIOS	133,99	64,11	

Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007


En la tabla N° 19 se muestra la planilla de registro de masas de bagazo mojado y seco, para posteriormente poder realizar el cálculo de la humedad por diferencia de masas. El

primer valor fue obtenido con ayuda de una balanza digital, donde la masa de bagazo mojado incluye la masa del crisol, posteriormente una vez el bagazo seca se realiza la medición de igual forma incluyendo la masa del crisol.

En ese sentido los datos obtenidos de las masas pesadas permiten el cálculo del porcentaje de humedad, por lo tanto, dichos datos se emplean en la siguiente tabla:

A continuación, se muestra el cálculo del porcentaje de humedad a partir de las pruebas realizadas empleando la siguiente ecuación:

TABLA N° 20: Planilla de cálculo de porcentaje de humedad

	Planilla de cálculo de porcentaje de humedad	
Ecuación para la obtención de % de humedad	$\% \psi = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_r} * 100$ Donde: ψ : Humedad	
RESULTADOS		
Cantidad de pruebas	% ψ_i =	
1	69,63	
2	69,57	
3	70,07	
4	70,71	
5	69,12	
6	68,99	
7	70,23	
8	70,47	
9	69,39	
10	70,70	
PROMEDIOS	69,89	

Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007

En la tabla N° 20 se aprecia el cálculo de porcentaje de humedad obtenida empleando los valores de la tabla N° 19. Una vez obtenidos los valores del porcentaje de humedad en el bagazo ya se puede realizar el cálculo del porcentaje de fibra en bagazo, de acuerdo a lo mencionado por Aucatoma, Fajardo, Chicaiza & Soliz (2007), donde afirman que el porcentaje de fibra en bagazo puede obtenerse restando del 100%, los porcentajes obtenidos de humedad y brix, como se muestra en la ecuación 21, los cuales se aprecian en las tablas 20, y 18 respectivamente.

Cálculo de % de fibra en bagazo mojado

A continuación, se realiza el cálculo del porcentaje de fibra en bagazo:

TABLA N° 21: Planilla de cálculo de porcentaje de fibra en bagazo mojado

	<p>Planilla de cálculo de porcentaje de fibra en bagazo mojado</p>
<p>Ecuación para la obtención del % de fibra en bagazo mojado</p>	$\% X_F^4 = 100\% - \% \psi - \% Brix$ <p>Donde: ψ: Humedad $\% X_F^4$: Fibra de bagazo</p>
<p>RESULTADOS</p>	
<p>Cantidad de pruebas</p>	<p>$\% X_{Fi}^4 =$</p>
<p>1</p>	<p>18,67</p>
<p>2</p>	<p>19,03</p>
<p>3</p>	<p>18,53</p>
<p>4</p>	<p>18,29</p>
<p>5</p>	<p>18,88</p>
<p>6</p>	<p>19,81</p>
<p>7</p>	<p>18,47</p>
<p>8</p>	<p>17,93</p>
<p>9</p>	<p>18,91</p>
<p>10</p>	<p>18,30</p>
<p>PROMEDIOS</p>	<p>18,682</p>

Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007

En la tabla N° 21 se muestra la planilla de cálculo de porcentaje de fibra en bagazo mojado, mediante diferencia de porcentajes, para las 10 pruebas.

Los datos obtenidos en cada prueba se emplearán en la ecuación 44 de balance por componentes para la fibra.

Cálculo de % de fibra en caña

Seguidamente se procede a realizar la formulación del balance de materia para obtener el dato del porcentaje de fibra en caña:

Partiendo de la ecuación fundamental planteada en la teoría es la siguiente:

$$CAÑA + AGUA = JUGO + BAGAZO$$

A continuación, se presenta la nomenclatura de la ecuación fundamental quedando como se muestra a continuación:

Balance general para la extracción

$$m_C^1 + m_{H_2O}^2 = m_{JM}^3 + m_{BM}^4 \quad (42)$$

Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t]

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

Seguidamente se procede a la formulación de las ecuaciones por componentes es el siguiente:

Balance por componentes para la pol

$$m_C^1 * X_p^1 = m_{JM}^3 * X_p^3 + m_{BM}^4 * X_p^4 \quad (43)$$

Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_p^1 : Fracción másica de pol en caña

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

Balance por componentes para la fibra

$$m_C^1 * X_F^1 = m_{BM}^4 * X_F^4 \quad (44)$$

Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

m_F^4 : Masa de fibra en bagazo [t]

Despejando el porcentaje de la fibra de caña se tiene la siguiente ecuación:

Fracción másica de fibra en caña

$$X_F^1 = \frac{m_{BM}^4 * X_F^4}{m_C^1} \quad (45)$$

Donde:

X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado

m_C^1 : Masa de caña [t]

Expresando la ecuación de la fracción másica de fibra en caña en términos de porcentaje se tiene la siguiente expresión:

Porcentaje de fibra en caña

$$\%X_F^1 = \frac{m_{BM}^4 * \%X_F^4}{m_C^1} \quad (46)$$

Donde:


$\%X_F^1$ Porcentaje de fibra en caña [%]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

$\% X_F^4$: Porcentaje de fibra en bagazo [%]

m_C^1 : Masa de caña [t]

TABLA N° 22: Planilla de cálculo de porcentaje de fibra en caña

		Planilla de cálculo de porcentaje de fibra en caña	
Ecuación para la obtención del % de fibra en caña		$\%X_F^1 = \frac{m_{BM}^4 * \%X_F^4}{m_C^1}$	
		Donde: m_C^1 : Masa de caña = 500 [g]	
RESULTADOS			
Cantidad de pruebas	m_{BM}^4 =Masa del Bagazo mojado [g]	$\% X_F^4$ = Porcentaje de fibra en bagazo	$\%X_F^1$ =Porcentaje de fibra en caña
1	480	18,67	17,93
2	570	19,03	21,69
3	660	18,53	24,46
4	585	18,29	21,40
5	540	18,88	20,39
6	510	19,81	20,21
7	465	18,47	17,18
8	600	17,93	21,52
9	645	18,91	24,39
10	465	18,30	17,02
PROMEDIOS	552	18,682	20,618

Fuente: Elaboración propia con base teórica de Aucatoma et al., 2007


La tabla N° 22 muestra el cálculo de porcentaje de fibra de caña calculado con ayuda de la ecuación de balance de materia por componentes para el caso de la fibra.

Los datos obtenidos del porcentaje de fibra en caña permiten realizar el cálculo del porcentaje de agua de imbibición que debe introducirse a nivel industrial desde una prueba de laboratorio, por tanto, dichos datos se emplearán en la siguiente tabla 23.

Cálculo de % de agua de imbibición

Para obtener el % de agua de imbibición se realiza en relación del porcentaje de fibra de caña para cada prueba empleando la constante del difusor empleado en la Empresa Azucarera San Buenaventura:

TABLA N° 23: Planilla de cálculo de porcentaje de agua de imbibición

	Planilla de cálculo de porcentaje de agua de imbibición	
Ecuación para la obtención del % de agua de imbibición	$\%X_{H_2O}^2 = \%X_F^1 * 3$ Dónde: 3es la constante del difusor de la Empresa Azucarera San Buenaventura	
RESULTADOS		
Cantidad de pruebas	$\%X_{H_2O_i}^2 =$	
1	53,78	
2	65,08	
3	73,38	
4	64,19	
5	61,17	
6	60,62	
7	51,53	
8	64,55	
9	73,18	
10	51,06	
PROMEDIOS	61,854	


Fuente: Elaboración propia con base teórica de Rein, 2012 y Jefe de Planta de la Empresa Azucarera San Buenaventura

En la tabla N° 23 se aprecia la planilla de cálculo de porcentaje de agua de imbibición, siendo éste tres veces mayor al porcentaje de la fibra, cuyo promedio es de 61,854%, dicho dato será uno de los primeros datos en tomarse en cuenta para el balance de materia a nivel industrial para mejorar el rendimiento de la obtención de pol, que se empleará en la ecuación 47 de masa de imbibición a partir del porcentaje de agua de imbibición.

Cálculo del % de masa de bagazo mojado

Seguidamente se realiza el cálculo del porcentaje de masa de bagazo mojado:

TABLA N° 24: Cálculo de porcentaje de masa de bagazo mojado

	<p>Planilla de cálculo de porcentaje de masa de bagazo mojado</p>
<p>Ecuación para la obtención del % de masa de bagazo mojado</p>	$\%m_{BMi}^4 = \frac{m_{BM}^4}{m_C^1 + m_{H_2O}^2} * 100$ <p>Donde: m_C^1: Masa de caña = 500 [g]</p>
<p style="text-align: center;">RESULTADOS</p>	
<p style="text-align: center;">Cantidad de pruebas</p>	<p style="text-align: center;">$\%m_{BMi}^4 =$</p>
<p style="text-align: center;">1</p>	<p style="text-align: center;">32</p>
<p style="text-align: center;">2</p>	<p style="text-align: center;">38</p>
<p style="text-align: center;">3</p>	<p style="text-align: center;">44</p>
<p style="text-align: center;">4</p>	<p style="text-align: center;">39</p>
<p style="text-align: center;">5</p>	<p style="text-align: center;">36</p>
<p style="text-align: center;">6</p>	<p style="text-align: center;">34</p>
<p style="text-align: center;">7</p>	<p style="text-align: center;">31</p>
<p style="text-align: center;">8</p>	<p style="text-align: center;">40</p>
<p style="text-align: center;">9</p>	<p style="text-align: center;">43</p>
<p style="text-align: center;">10</p>	<p style="text-align: center;">31</p>
<p style="text-align: center;">PROMEDIOS</p>	<p style="text-align: center;">36,8</p>

Fuente: Elaboración en base a resultados obtenidos en la propuesta

En la tabla N° 24 se aprecia la planilla de cálculo de porcentaje de masa de bagazo mojado, calculado con la ecuación para la obtención del % de masa de bagazo mojado, cuyo promedio es igual a 36,8%. Dichos datos se emplearán para el cálculo de la masa de bagazo mojado que se muestra en la ecuación 48.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los datos obtenidos:

TABLA N° 25: Resumen de promedios de datos obtenidos

DATOS DE ENTRADA			DATOS DE SALIDA		
Masa de caña	m_c^1	500 [g]	Masa de Jugo mezclado	m_{jM}^3	948 [g]
Masa de agua	$m_{H_2O}^2$	1000 [g]	Masa del bagazo mojado	m_{BM}^4	552 [g]
Porcentaje de pol en caña	$\%X_p^1$	11,04%	Porcentaje de pol en jugo mezclado	X_p^3	10,55%
Porcentaje de fibra en caña	$\%X_F^1$	20,618%	Porcentaje fibra en bagazo mojado	$\% X_F^4$	18,682%
Porcentaje de agua de imbibición	$\%X_{H_2O}^2$	61,854%	Porcentaje de masa de bagazo mojado	$\%m_{BM}^4$	36,8%

Fuente: Elaborado en base a resultados obtenidos mediante el procedimiento indicado por Aucatoma et al., 2007

En la tabla N° 25 se aprecia el resumen de los promedios de los datos obtenidos en laboratorio, entre ellos la masa de caña y de agua iniciales, el porcentaje de pol en caña, porcentaje de fibra en caña, el porcentaje de agua de imbibición, la masa de jugo mezclado, masa del bagazo mojado, porcentaje de pol en jugo mezclado, porcentaje de fibra en bagazo mojado, y porcentaje de masa de bagazo mojado.

Con base a los resultados obtenidos se rescatan los siguientes valores para ser proyectados a nivel industrial:

- % de agua de imbibición: $\%X_{H_2O}^2$
- % de fibra en bagazo: $\% X_F^4$
- % de pol en jugo mezclado: $\%X_P^3$
- % masa de bagazo mojado: $\%m_{BM}^4$

4.1.1.1. Balance de materia a nivel industrial

Se realiza a continuación el balance de materia a nivel industrial con base en los datos determinados en el punto anterior para efectuar los cálculos.

4.2. Balance de materia a nivel industrial

A continuación, se toman los datos de planta de producción del diagnóstico:

Datos iniciales de Empresa Azucarera San Buenaventura

Los datos que se tomará en cuenta será la masa de caña inicial que ingresa a la extracción, al igual que su porcentaje de pol en caña en tanto por uno:

$$m_C^1 = 1960 [t]$$

Donde: $X_n^1 = 0.1146$

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_p^1 : Fracción másica de pol en caña

Seguidamente de los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio se toman el porcentaje de agua de imbibición, el porcentaje de fibra en bagazo mojado, porcentaje de pol en jugo mezclado y el porcentaje de masa del bagazo resultante.

$$\%X_{H_2O}^2 = 61,854\%$$

$$\% X_F^4 = 18,682\%$$

$$\%X_P^3 = 10,55\%$$

$$\%m_{BM}^4 = 36,8\%$$

Donde:

$\%X_{H_2O}^2$: Porcentaje de agua de imbibición [%]

$\% X_F^4$: Porcentaje de fibra en bagazo [%]

$\%X_P^3$: Porcentaje de pol en jugo mezclado [%].

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

Cálculo de masa de agua de imbibición

A partir de los dichos datos se calculó la masa de agua de imbibición que debe ingresar:

Masa de imbibición a partir del porcentaje de agua de imbibición

$$m_{H_2O}^2 = m_C^1 * X_{H_2O}^2 \quad (47)$$

$$m_{H_2O}^2 = 1960[t] * 0,61854$$

$m_{H_2O}^2 = 1212,338 [t]$

Donde:

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

$X_{H_2O}^2$: Fracción másica de agua

Cálculo de masa de bagazo mojado

Para el cálculo de la masa de bagazo mojado se toma en cuenta el porcentaje del bagazo mojado resultante en laboratorio, debido a que será básicamente la misma proporción de fibra que resultará en planta de producción, por lo tanto, se obtiene lo siguiente:

Masa de bagazo a partir del porcentaje de masa de bagazo

$$m_{BM}^4 = (m_C^1 + m_{H_2O}^2) * \%m_{BM}^4 \quad (48)$$

$$m_{BM}^4 = (1960,000[t] + 1212,338[t]) * 0,368$$

$m_{BM}^4 = 1167,420 [t]$

Datos:

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

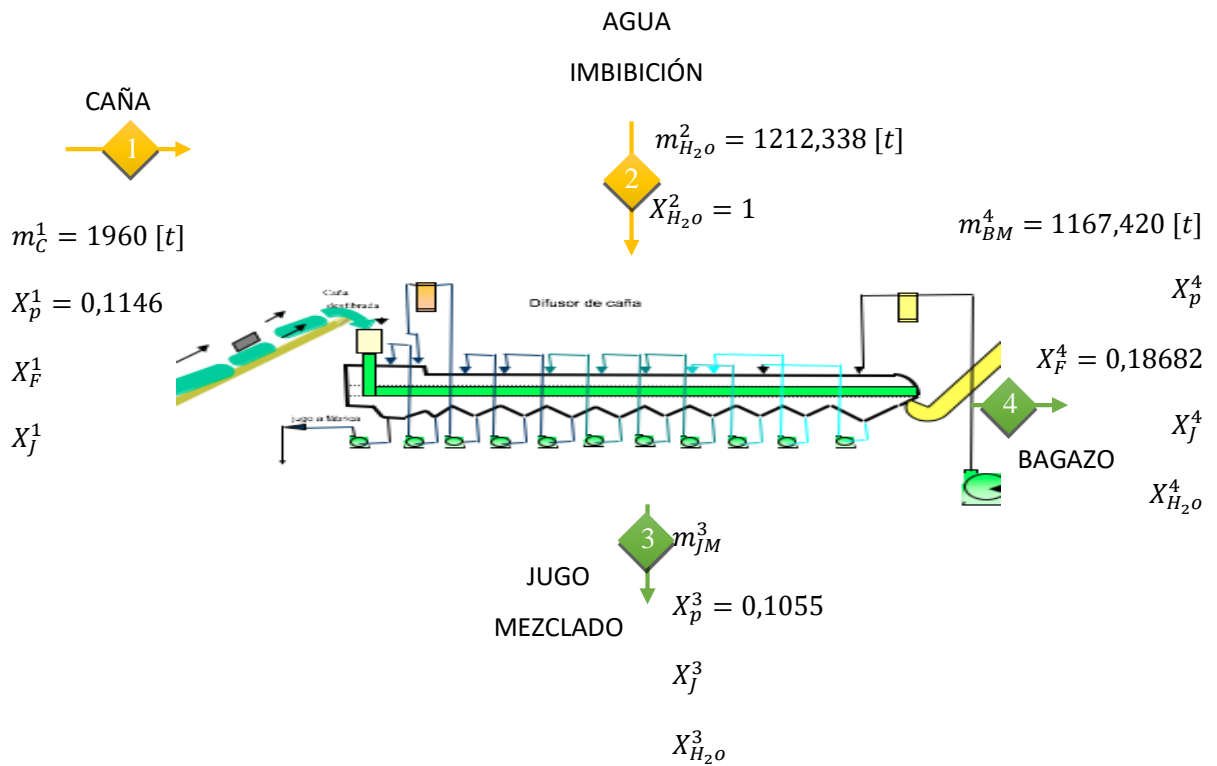
m_C^1 : Masa de caña [t]

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

$\%m_{BM}^4$: Porcentaje masa del bagazo mojado [%]

Los datos de porcentaje de fibra en bagazo y porcentaje de pol en jugo mezclado se toman de los datos obtenidos de laboratorio; es así que el diagrama de proceso es el siguiente:

Diagrama del proceso



Cálculo de rendimiento de la extracción de pol

Para obtener el rendimiento de la extracción de pol se hace uso de la ecuación formulada teóricamente:

$$E = 100 * \frac{m_p^3}{m_p^1}$$

Donde:

m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t].

m_p^1 : Masa de pol en caña [t].

Sin embargo, los datos de la masa de pol en jugo mezclado y masa de pol en caña no son datos conocidos, por lo cual se recurre a las ecuaciones de balance de materia para calcularlos.

Cálculo de masa de pol en jugo mezclado

Para realizar el cálculo de la masa de pol jugo mezclado se recurre al balance de materia por componentes para pol, del cual se obtiene que el producto de la masa de jugo mezclado por la fracción másica de pol en jugo mezclado es igual a la masa de pol en jugo mezclado:

Balance por componentes de pol en caña, jugo mezclado y bagazo

$$m_C^1 * X_p^1 = \underbrace{m_{JM}^3 * X_p^3}_{m_p^3} + m_{BM}^4 * X_p^4 \quad (49)$$

Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t]

X_p^1 : Fracción másica de pol en caña

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado

Entonces se obtiene la siguiente ecuación:

Masa de pol jugo mezclado a partir de fracción másica de pol en jugo mezclado

$$m_p^3 = m_{JM}^3 * X_p^3 \quad (50)$$

Donde:

m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado

En la ecuación formulada se tiene el dato de la fracción másica de pol en jugo mezclado, sin embargo, el dato de la masa de jugo mezclado no es conocido y para ello nuevamente se recurre al balance de materia general:

$$m_C^1 + m_{H_2O}^2 = m_{JM}^3 + m_{BM}^4$$

Donde:

m_C^1 : Masa de caña [t]

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

Del cual se despeja la incógnita, quedando de la siguiente forma:

Masa de jugo mezclado a partir de balance de materia general

$$m_{JM}^3 = m_C^1 + m_{H_2O}^2 - m_{BM}^4 \quad (51)$$

Donde:

m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]

m_C^1 : Masa de caña [t]

$m_{H_2O}^2$: Masa de agua de imbibición [t]

m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]

Reemplazando datos queda:

$$m_{JM}^3 = 1960,000[t] + 1212,338[t] - 1167,420 [t]$$

$$m_{JM}^3 = 2004,918 [t]$$

Reemplazando el dato obtenido en la ecuación de la masa de pol en jugo queda de acuerdo a lo siguiente:

$$m_p^3 = 2004,9180[t] * 0,1055$$

$m_p^3 = 211,519 [t]$

Cálculo de masa de pol en caña

Para realizar el cálculo de la masa de pol en caña se recurre al balance de materia por componentes para pol ídem al cálculo anterior, es decir:

Balance por componentes para pol en caña, jugo mezclado y bagazo mojado

$$m_C^1 * X_p^1 = \underbrace{m_{JM}^3 * X_p^3}_{m_p^1} + m_{BM}^4 * X_p^4 \tag{52}$$

Donde:

- m_p^1 : Masa de pol en caña [t]
- m_C^1 : Masa de caña [t]
- X_p^1 : Fracción másica de pol en caña
- m_{JM}^3 : Masa de jugo mezclado [t]
- X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado
- m_{BM}^4 : Masa del bagazo mojado [t]
- X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado

Entonces se obtiene la siguiente ecuación:

Masa de pol en caña a partir de fracción másica de pol en caña

$$m_p^1 = m_C^1 * X_p^1 \tag{53}$$

Donde:

- m_p^1 : Masa de pol en caña [t]
- m_C^1 : Masa de caña [t]
- X_p^1 : Fracción másica de pol en caña

Reemplazando datos resulta:

$$m_p^1 = 1960 [t] * 0,1146[t]$$

$$m_p^1 = 224,616[t]$$

Después de la obtención de los datos de la masa de pol en jugo mezclado y pol en caña se procede a reemplazar los datos en la ecuación de la extracción:

$$E = 100 * \frac{211,519}{224,616}$$

$$E = 94,169\%$$

El rendimiento de la extracción de pol es igual a un 94,169%.

4.3. Rendimiento con y sin propuesta

Una vez corroborado calculada la extracción con base a datos proporcionados iniciales por la Empresa Azucarera San Buenaventura y los parámetros proporcionados por las pruebas en laboratorio, se tiene la siguiente comparación de valores:

TABLA N° 26: Cuadro comparativo de resultados de balance de materia EASBA y propuesta

		Resultados EASBA	Resultados propuesta
Masa de caña inicial	m_C^1	1960 [t]	1960 [t]
Fracción másica de pol en caña	X_p^1	0,1146	0,1146
Masa de jugo mezclado	m_{jM}^3	1928,33 [t]	2004,918 [t]
Masa de bagazo mojado	m_{BM}^4	1111,14 [t]	1167,420 [t]
Masa de pol en caña	m_p^1	224,616 [t]	224,616 [t]
Masa de pol en jugo mezclado	m_p^3	158,12 [t]	211,519 [t]
Masa de agua de imbibición	$X_{H_2O}^2$	1079,47 [t]	1220,747 [t]
Extracción	E	70,39%	94,169%

Fuente: Elaboración propia con base a datos proporcionados por EASBA

En la tabla N° 26 muestra las diferencias que se obtuvieron con y sin proyecto, para el caso de sin proyecto se identificó como datos EASBA; es posible evidenciar el aumento en el porcentaje de extracción de pol con la metodología propuesta.

El aumento que se puede evidenciar es el siguiente:

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

$$\Delta E = 94,17\% - 70,39\%$$

$$\Delta E = 23,78\%$$

Donde:

E_1 : Porcentaje de extracción actual EASBA

E_2 : Porcentaje de extracción resultado de la propuesta

Con dicho resultado es posible concluir que el incremento en la extracción que se obtiene es en un 23,78%.

4.4. Estimación de aumento de rendimiento de pol en una zafra

Con la comparación del rendimiento con balances empleados por la Empresa Azucarera San Buenaventura y los planteados en el presente proyecto se obtiene la estimación de aumento de rendimiento que podría existir si se empleara la propuesta del presente proyecto, tomando en cuenta datos de masa de caña y porcentaje de pol en caña históricos de EASBA, como se muestra en las tablas 27, 28 y 29.

A continuación, se muestra los datos obtenidos de acuerdo al procedimiento EASBA:

TABLA N° 27: Porcentaje de extracción de pol EASBA

DÍA	Caña (Tn)	Pol caña (%)	Pol caña (Tn)	Fibra en caña (%)	Fibra en caña (Tn)	Imbibición (Tn)	Imbibición % caña	Jugo mezclado (m3)	Jugo Mezclado (Tn)	Pol JM (%)	Pol JM (Tn)	JM % Caña	Bagazo (Tn)	% masa de bagazo	Pol bagazo (%)	Pol bagazo (Tn)	Fibra bagazo (%)	Fibra bagazo (Tn)	Extracción de Pol (%)
1	1.960,46	11,46	224,67	27,28	534,79	1079,47	55,06	1926,64	1928,57	8,20	158,14	98,37	1111,36	56,69	1,43	15,89	48,1	534,79	70,39
2	1.021,70	11,55	118,01	21,53	219,93	540	52,85	1.111,56	1112,67	9,90	110,15	108,90	449,03	43,95	0,77	3,46	49	219,93	93,35
3	2.668,57	11,74	313,29	16,00	426,90	675	25,29	2.475,00	2477,48	8,86	219,50	92,84	866,10	32,46	1,21	10,48	49,3	426,90	70,06
4	2.997,46	11,40	324,03	13,57	406,88	1166,3	38,91	3.321,00	3324,32	8,59	285,56	110,90	839,44	28,01	1,21	10,16	48,5	406,88	88,13
5	3.898,24	11,00	411,26	14,33	558,67	1140	29,24	3.834,00	3837,83	10,38	398,37	98,45	1200,41	30,79	0,83	9,96	46,5	558,67	96,86
6	3.490,57	11,32	395,13	17,20	600,49	1200	34,38	3.440,00	3443,44	10,69	368,10	98,65	1247,13	35,73	0,97	12,10	48,2	600,49	93,16
7	4.219,06	11,46	483,50	15,88	670,11	1476,7	35,00	4.278,90	4283,18	10,10	432,60	101,52	1412,55	33,48	1,27	17,94	47,4	670,11	89,47
8	3.988,63	11,20	446,73	19,05	759,99	1396,0	35,00	3.784,57	3788,35	11,00	416,72	94,98	1596,28	40,02	1,27	20,27	47,6	759,99	93,28
9	4.068,92	10,96	445,95	15,81	643,47	1220,7	30,00	3.959,72	3963,68	10,42	413,02	97,41	1325,92	32,59	1,46	19,36	48,5	643,47	92,61
10	3.962,25	11,50	455,66	15,71	622,57	1356,0	34,22	3.950,83	3954,78	10,50	415,25	99,81	1363,50	34,41	1,49	20,32	45,7	622,57	91,13
11	3.427,55	11,54	395,54	13,81	473,43	1028,3	30,00	3.472,97	3476,44	10,62	369,20	101,43	979,37	28,57	1,30	12,73	48,3	473,43	93,34
12	3.689,39	11,26	415,43	16,06	592,36	1291,3	35,00	3.691,21	3694,90	10,62	392,40	100,15	1285,78	34,85	1,16	14,91	46,1	592,36	94,46
13	4.531,62	11,95	541,53	15,19	688,13	1029	22,71	4.094,59	4098,68	11,52	472,17	90,45	1461,94	32,26	2,06	30,12	47,1	688,13	87,19
14	4.702,97	11,08	521,09	11,80	554,72	1.395,47	29,67	4.811,34	4816,15	10,50	505,70	102,41	1282,29	27,27	1,62	20,77	43,3	554,72	97,05
15	5.611,25	11,61	651,47	15,28	857,50	1328,09	23,67	5.285,34	5290,63	11,12	588,32	94,29	1648,71	29,38	1,52	25,06	52	857,50	90,31
16	200,56	11,00	21,66	13,75	27,57	55	27,42	200,00	200,20	10,44	20,90	99,82	55,36	27,60	1,52	0,84	49,8	27,57	96,49
17	3.388,62	11,27	381,90	11,98	406,10	1040,3	30,70	3.551,10	3554,65	9,72	345,51	104,90	874,27	25,80	1,13	9,84	46,5	406,10	90,47
18	3.410,91	11,87	404,88	14,07	479,85	1319,92	38,70	3.697,86	3701,56	9,89	366,08	108,52	1029,27	30,18	1,07	11,01	46,6	479,85	90,42
19	4.826,95	11,72	565,72	14,01	676,32	2087,57	43,25	5.517,40	5522,92	9,27	511,97	114,42	1391,60	28,83	1,81	25,19	48,60	676,32	90,50
20	3.974,43	10,82	430,03	14,83	589,46	1.377,40	34,66	4.063,54	4067,60	10,04	408,39	102,34	1284,23	32,31	0,70	8,99	45,9	589,46	94,97
21	3.159,66	11,71	370,00	10,40	328,60	722,27	22,86	3.196,00	3199,20	10,62	339,75	101,25	682,73	21,61	1,26	8,60	48,13	328,60	91,83
22	4.909,24	11,81	579,78	18,06	886,73	1869	38,07	4.864,38	4869,24	10,66	519,06	99,19	1909,00	38,89	1,24	23,67	46,45	886,73	89,53
23	5.149,35	11,62	598,35	15,96	821,79	1484,91	28,84	4.900,00	4904,90	11,10	544,44	95,25	1729,36	33,58	1,19	20,58	47,52	821,79	90,99
24	2.923,14	10,97	320,67	16,98	496,48	894,41	30,60	2.799,66	2802,46	11,28	316,12	95,87	1015,09	34,73	1,34	13,60	48,91	496,48	98,58
25	4.981,01	11,08	551,90	14,93	743,77	1494,89	30,01	4.899,22	4904,12	10,45	512,48	98,46	1571,78	31,56	0,88	13,83	47,32	743,77	92,86
26	5.076,03	11,00	541,61	17,80	903,50	1773,4	34,94	4.901,10	4906,00	10,51	515,62	96,65	1943,43	38,29	0,91	17,69	46,49	903,50	95,20
27	4.693,56	11,30	496,11	16,98	797,18	1873,13	39,91	4.928,19	4933,12	9,51	469,14	105,10	1633,57	34,80	0,84	13,72	48,80	797,18	94,56
28	4.788,90	11,00	511,93	17,79	852,02	1584,93	33,10	4.585,65	4590,24	10,46	480,14	95,85	1783,59	37,24	0,86	15,34	47,77	852,02	93,79
29	4.960,80	11,30	509,47	17,31	858,81	1676,86	33,80	4.804,82	4809,62	10,01	481,44	96,95	1828,04	36,85	1,07	19,56	46,98	858,81	94,50
30	5.038,94	10,97	490,29	16,76	844,35	1650,23	32,75	4.917,47	4922,39	9,75	479,93	97,69	1766,78	35,06	0,71	12,54	47,79	844,35	97,89
31	5.115,91	11,07	512,61	13,46	688,82	1260,36	24,64	4.930,00	4934,93	10,09	497,93	96,46	1441,34	28,17	1,11	16,00	47,79	688,82	97,14
32	4.880,68	10,98	519,79	16,73	816,61	1944,13	39,83	5.110,48	5115,59	9,94	508,49	104,81	1709,22	35,02	0,79	13,50	47,78	816,61	97,83
33	5.070,61	11,07	561,32	15,28	774,88	2080,87	41,04	5.493,80	5499,29	9,80	538,93	108,45	1652,19	32,58	0,74	12,23	46,90	774,88	96,01
34	5.031,12	10,98	516,19	17,08	859,12	1682,98	33,45	4.901,66	4906,56	9,88	484,77	97,52	1807,54	35,93	1,01	18,26	47,53	859,12	93,91
35	5.066,11	10,86	550,18	16,87	854,86	1812,25	35,77	5.070,16	5075,23	10,05	510,06	100,18	1803,13	35,59	1,34	24,16	47,41	854,86	92,71
36	2.630,83	10,97	273,08	15,87	417,44	904,78	34,39	2.677,00	2679,68	9,85	263,95	101,86	855,93	32,53	0,88	7,53	48,77	417,44	96,66
PROMEDIO	3986,56	11,29	440,30	15,98	631,51	1330,88	33,88	3.984,64	3988,63	10,18	407,23	100,34	1328,81	33,54	1,17	15,28	47,65	631,51	92,16

Fuente: Elaboración con base a datos proporcionados por Empresa Azucarera San Buenaventura

En la tabla N° 27 se puede apreciar el porcentaje de extracción registrados y obtenidos por la Empresa Azucarera San Buenaventura, entre dichos datos se encuentra los valores en toneladas, porcentajes y volúmenes, de los datos que ingresan, como ser la caña, agua de imbibición, el jugo mezclado y bagazo mojado.

TABLA N° 28: Porcentaje de extracción de pol resultado de la propuesta

DÍA	Caña (Tn)	Pol caña (%)	Masa de agua de imbibición	Masa de bagazo	Masa jugo mezclado	Masa de pol en jugo mezclado	Masa de pol en caña	Porcentaje de extracción propuesta
1	1.960,46	11,46	1.212,62	1167,69	2005,39	211,57	224,67	94,17
2	1.021,70	11,55	631,96	608,55	1045,11	110,26	118,01	93,44
3	2.668,57	11,74	1.650,61	1589,46	2729,72	287,99	313,29	91,92
4	2.997,46	11,40	1.854,04	1785,35	3066,15	323,48	341,71	94,66
5	3.898,24	11,00	2.411,21	2321,88	3987,57	420,69	428,81	98,11
6	3.490,57	11,32	2.159,05	2079,06	3570,56	376,69	395,13	95,33
7	4.219,06	11,46	2.609,65	2512,96	4315,74	455,31	483,50	94,17
8	3.988,63	11,20	2.467,12	2375,72	4080,03	430,44	446,73	96,36
9	4.068,92	10,96	2.516,78	2423,54	4162,16	439,11	445,95	98,46
10	3.962,25	11,50	2.450,80	2360,00	4053,05	427,60	455,66	93,84
11	3.427,55	11,54	2.120,07	2041,52	3506,10	369,89	395,54	93,52
12	3.689,39	11,26	2.282,03	2197,48	3773,94	398,15	415,43	95,84
13	4.531,62	11,95	2.802,98	2699,13	4635,47	489,04	541,53	90,31
14	4.702,97	11,08	2.908,96	2801,19	4810,74	507,53	521,09	97,40
15	5.611,25	11,61	3.470,77	3342,18	5739,84	605,55	651,47	92,95
16	200,56	11,00	124,05	119,46	205,16	21,64	22,06	98,11
17	3.388,62	11,27	2.095,99	2018,34	3466,27	365,69	381,90	95,76
18	3.410,91	11,87	2.109,78	2031,61	3489,07	368,10	404,88	90,92
19	4.826,95	11,72	2.985,65	2875,04	4937,56	520,91	565,72	92,08
20	3.974,43	10,82	2.458,33	2367,26	4065,51	428,91	430,03	99,74
21	3.159,66	11,71	1.954,37	1881,96	3232,07	340,98	370,00	92,16
22	4.909,24	11,81	3.036,55	2924,05	5021,74	529,79	579,78	91,38
23	5.149,35	11,62	3.185,07	3067,07	5267,35	555,71	598,35	92,87
24	2.923,14	10,97	1.808,07	1741,09	2990,13	315,46	320,67	98,38
25	4.981,01	11,08	3.080,94	2966,80	5095,15	537,54	551,90	97,40
26	5.076,03	11,00	3.139,72	3023,39	5192,35	547,79	558,36	98,11
27	4.693,56	11,30	2.903,14	2795,59	4801,12	506,52	530,37	95,50
28	4.788,90	11,00	2.962,11	2852,37	4898,64	516,81	526,78	98,11
29	4.960,80	11,30	3.068,44	2954,76	5074,48	535,36	560,57	95,50
30	5.038,94	10,97	3.116,77	3001,30	5154,41	543,79	552,77	98,38
31	5.115,91	11,07	3.164,38	3047,15	5233,15	552,10	566,33	97,49
32	4.880,68	10,98	3.018,88	2907,04	4992,52	526,71	535,90	98,29
33	5.070,61	11,07	3.136,36	3020,17	5186,81	547,21	561,32	97,49
34	5.031,12	10,98	3.111,94	2996,65	5146,41	542,95	552,42	98,29
35	5.066,11	10,86	3.133,58	3017,49	5182,20	546,72	550,18	99,37
36	2.630,83	10,97	1.627,27	1566,98	2691,12	283,91	288,60	98,38
PROMEDIO	3.986,56	11,29	2.465,83	2.374,48	4.077,91	430,22	449,65	95,67

Fuente: Elaboración con base a datos proporcionados por Empresa Azucarera San Buenaventura y cálculos realizados en la presente propuesta

En la tabla N° 28 se puede apreciar los resultados obtenidos mediante el balance de materia propuesto en el presente trabajo de investigación, y el porcentaje de extracción de pol que se obtiene por éste método.

A continuación, se muestra el cuadro comparativo de porcentajes de extracción resultantes por la Empresa Azucarera San Buenaventura y los resultantes por la propuesta.

TABLA N° 29: Cuadro comparativo de porcentajes de extracción EASBA y propuesta

12	m_c^1	$\%X_p^1$	E_1	E_2	ΔE
1	1.960,46	11,46	70,39	94,17	23,78
2	1.021,70	11,55	93,35	93,44	0,09
3	2.668,57	11,74	70,06	91,92	21,86
4	2.997,46	11,40	88,13	94,66	6,54
5	3.898,24	11,00	96,86	98,11	1,24
6	3.490,57	11,32	93,16	95,33	2,17
7	4.219,06	11,46	89,47	94,17	4,70
8	3.988,63	11,20	93,28	96,36	3,07
9	4.068,92	10,96	92,61	98,46	5,85
10	3.962,25	11,50	91,13	93,84	2,71
11	3.427,55	11,54	93,34	93,52	0,18
12	3.689,39	11,26	94,46	95,84	1,38
13	4.531,62	11,95	87,19	90,31	3,12
14	4.702,97	11,08	97,05	97,40	0,35
15	5.611,25	11,61	90,31	92,95	2,65
16	200,56	11,00	96,49	98,11	1,61
17	3.388,62	11,27	90,47	95,76	5,28
18	3.410,91	11,87	90,42	90,92	0,50
19	4.826,95	11,72	90,50	92,08	1,58
20	3.974,43	10,82	94,97	99,74	4,77
21	3.159,66	11,71	91,83	92,16	0,33
22	4.909,24	11,81	89,53	91,38	1,85
23	5.149,35	11,62	90,99	92,87	1,88
24	2.923,14	10,97	98,58	98,38	0,21
25	4.981,01	11,08	92,86	97,40	4,54
26	5.076,03	11,00	95,20	98,11	2,91
27	4.693,56	11,30	94,56	95,50	0,94
28	4.788,90	11,00	93,79	98,11	4,32
29	4.960,80	11,30	94,50	95,50	1,00
30	5.038,94	10,97	97,89	98,38	0,49
31	5.115,91	11,07	97,14	97,49	0,35
32	4.880,68	10,98	97,83	98,29	0,46
33	5.070,61	11,07	96,01	97,49	1,47
34	5.031,12	10,98	93,91	98,29	4,37
35	5.066,11	10,86	92,71	99,37	6,66
36	2.630,83	10,97	96,66	98,38	1,72
PROMEDIO	3986,556	11,289	92,156	95,67	3,51

Fuente: Elaboración en base a datos proporcionados por EASBA y cálculos realizados en la presente propuesta.

En la tabla N° 29 se puede apreciar los datos iniciales proporcionados por EASBA en contraste con el resultado obtenido en el porcentaje de extracción mediante los cálculos realizados por la misma empresa, respecto de los cálculos propuestos. Seguidamente se muestra el diferencial de dichos resultados.

Es posible evidenciar el aumento en el porcentaje de rendimiento de extracción de pol según lo siguiente:

$$\Delta E = \overline{E}_2 - \overline{E}_1$$

$$\Delta E = 95,671\% - 92,156\%$$

$\Delta E = 3,515\%$

Donde:

E_1 : Porcentaje de extracción actual EASBA

E_2 : Porcentaje de extracción resultado de la propuesta

El incremento por efecto de la propuesta es un 3,515%.

CAPITULO V
ANÁLISIS ECONÓMICO

CAPITULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. Flujo de fondos con y sin proyecto

En el presente capítulo se muestra el análisis financiero y los efectos que pudieran existir por la implementación de la propuesta en la Empresa Azucarera San Buenaventura.

5.1.1. Sin proyecto

TABLA N° 30: Flujo de fondos sin proyecto

ITEMS	AÑOS		
	2016	2017	2018
Cantidad de quintales de azúcar vendidos [qq]	109.464,00	163.008,00	306.225,00
Precio promedio de venta [Bs]	184,12	184,12	170,00
INGRESOS	20.154.511,68	30.013.032,96	52.058.250,00
Consumo de masa de agua [t]	17.126,70	25.504,17	47.911,85
Precio del agua por t [Bs/t]	6,43	7,15	7,94
COSTOS	110.148,63	182.252,80	380.420,08
FLUJO DE FONDOS	20.044.363,05	29.830.780,16	51.677.829,92

Fuente: Elaborado en base a datos proporcionados por Empresa Azucarera San buenaventura

En la tabla N° 30 se muestran los flujos que son únicamente de la producción de azúcar vendido en quintales y su precio promedio tomando en cuenta un estado de *ceteris paribus*; por ello únicamente dichas variables son las que se verán afectadas a consecuencia de la posible implementación de la propuesta.

5.1.2. Con proyecto

TABLA N° 31: Flujo de fondos con proyecto

ITEMS	AÑOS				
	1	2	3	4	5
Cantidad de quintales de azúcar vendidos [qq]	10.763,00	10.870,00	10.978,00	11.087,00	11.197,00
Precio promedio de venta [Bs]	160	164	169	174	179
INGRESOS	1.722.080	1.787.898	1.856.220	1.927.140	2.000.756
Incremento en masa de agua [t]	56.804,40	59.076,58	61.439,64	63.897,22	66.453,11
Precio del agua por t [Bs/t]	7,94	8,2	8,47	8,75	9,04
COSTOS	451.026,94	484.427,92	520.393,74	559.100,72	600.736,15
FLUJO DE FONDOS	1.271.053,06	1.303.469,68	1.335.826,22	1.368.039,77	1.400.019,81

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 31 se puede evidenciar el incremento diferencial de la producción de azúcar que se podría vender si se aplica la propuesta, así mismo la variable que también es afectada es la cantidad de agua incremental que se presenta debido a que en el balance de materia dicha variable aumenta, por lo tanto, la tabla muestra esta diferencial.

La variación de los precios que se aprecian en la tabla anterior se basa en los anexos.

Debido a que la implementación de la propuesta no representa inversión en activos fijos, intangibles o capital de trabajo, entonces se procede a evaluarla en base al indicador beneficio costo:

TABLA N° 32: Relación beneficio costo de la propuesta

ITEMS	1	2	3	4	5
BENEFICIO	1.722.080,00	1.787.897,60	1.856.219,96	1.927.140,48	2.000.755,96
COSTOS	451.026,94	484.427,92	520.393,74	559.100,72	600.736,15

Fuente: Elaboración propia

En la tabla No 32 se muestra el beneficio y costo de cada gestión en caso de implementarse la propuesta.

$$B/C = \frac{9.294.094,00}{2.615.685,46}$$

$$B/C = 3,55$$

La relación beneficio costo es mayor a la unidad por lo tanto los beneficios superan los costos por consiguiente **EL PROYECTO DEBE SER CONSIDERADO.**

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- En el presente proyecto se evidencia que el jugo es extraído por las compresiones a las que se somete, sin embargo dicha compresión llega a un punto donde el rendimiento del jugo se vuelve ineficaz, por lo que es importante el aumento de la cantidad de agua para que pueda maximizarse la extracción; por ello es que con ayuda del balance de materia se plantea aumentar el agua de imbibición en planta industrial para maximizar la extracción de sacarosa.

Para tal efecto se realizó inicialmente una determinación de valores de variables de control para planta de producción con base a lo sostenido por los autores Aucatoma, Fajardo Chicaiza & Solíz (2007), donde se pudo evidenciar con un balance de materia que para maximizar la extracción de pol o sacarosa es necesario el aumento del agua de imbibición.

- La base teórica nos permitió identificar las principales variables que influyen en el rendimiento de la extracción en el balance de materia, las cuales fueron el porcentaje de pol en caña y porcentaje de pol en jugo; el primero de ellos es una variable propia de la materia prima que ingresará al proceso industrial; la segunda variable tiene que ver con el proceso industrial en la etapa de extracción como tal, debido a que en dicha etapa es posible obtener mayor o menor cantidad de pol en jugo, y para lograr la mayor cantidad posible entonces debe hacerse variaciones en la cantidad de agua de imbibición que ingresa al colchón de entrada al difusor.
- Para la determinación secuencia metodológica para la etapa de extracción, se debe realizar primeramente el balance de materia a nivel laboratorio, donde se realiza una extracción con una muestra de cada lote de caña, obteniendo datos del porcentaje de pol en caña, porcentaje de pol en jugo mezclado, porcentaje de Brix, seguidamente la humedad mediante diferencia de pesos, a partir de los datos obtenemos el porcentaje de fibra en bagazo. Con los datos obtenidos mediante el balance de materia nivel laboratorio determinar el porcentaje de fibra en caña y calcular el porcentaje de agua de imbibición; posteriormente tomando los datos de porcentaje de agua de imbibición, porcentaje de fibra en bagazo, porcentaje de pol

en jugo mezclado y porcentaje de masa de bagazo mojado y tomando los datos registrados de la Empresa Azucarera San Buenaventura: masa de caña inicial, y fracción másica de fibra en caña se realiza el balance de materia a nivel industrial, en el cual se observa que la variable que aumenta es la masa de agua de imbibición, aumentando la masa de pol que se obtiene en la extracción.

Los datos obtenidos en el balance de materia a nivel laboratorio e industrial lograron incrementar la cantidad de agua que ingresa al difusor, y con ello fue posible corroborar el incremento en el porcentaje de extracción de pol en un 3,515%.

- Posteriormente con base a las comparaciones de los resultados obtenidos de acuerdo al balance de materia en el marco teórico, se pudo verificar que efectivamente existe una variación positiva de en la obtención de pol o sacarosa, es decir que el balance de materia propuesto en el proyecto permitirá maximizar el rendimiento en la etapa de extracción del proceso industrial de azúcar de la Empresa Azucarera San Buenaventura.
- Finalmente, el balance de materia requiere cálculos y mediciones con equipos con los que la empresa ya cuenta, por lo que no requiere inversiones en activos fijos, diferidos o capital de trabajo, sin embargo por el incremento de agua en el proceso y el porcentaje de extracción de pol, existen costos incurridos e ingresos adicionales potenciales como resultado de esta variación, para el cual se realizó un análisis de beneficio costo, el cual dio como resultado 3,55 , en dicho sentido se puede concluir que los beneficios superan a los costos por tanto el proyecto debe ser considerado para su viabilidad.

6.2. Recomendaciones

- En vista de que los datos que se obtienen son resultado de las mediciones que se realizan a las muestras, es menester la constante calibración de los equipos de medición, ya que de dicha forma es posible asegurar el aumento en el rendimiento del porcentaje de pol extraído.
- Se recomienda realizar el procedimiento indicado en la propuesta de manera diaria, y antes de iniciar las actividades industriales, de modo que planta de producción pueda tener mayor claridad en los parámetros de las variables que debe controlar

y de dicha forma poder asegurar la obtención de mayor pol posible en la extracción, con el cálculo del porcentaje de pol extraído mediante el balance de materia en laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México : Mc Graw Hill Education .
- Sánchez, J. C. (2004). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Diaz de Santos.
- Ruiz, F. S. (1995). *El cultivo de la caña de azúcar*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Silva, A. P. (Mayo de 2015). Memoria de experiencia profesional. México, Mexico.
- Rein, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*. Berlin: Bartens.
- Larrahondo, J. E. (1995). *Calidad de la caña de azúcar*. Cali, Colombia: Cenicaña.
- King, C. J. (2003). *Procesos de Separación*. California: Editorial Reverté S. A.
- Hougen, O., Watson, K., & Ragatz, R. (2006). *Principios de los procesos químicos Parte I Balance de materia y energía*. Barcelona : Reverté S.A.
- Flores, M. O. (1995). *Operaciones Unitarias*. Méxido D. F.: Limusa Noriega Editores.
- Olivares, A. P. (2000). *Introducción a la Ingeniería Química (Balances de masa y Energía)*. México: Ibero .
- Pérez, A. G. (02 de Septiembre de 2009). Reporte de producción y laboratorio: Inexactitudes. Costa Rica.
- Martínez, E. G. (2006). *Aplicación de la polarimetría a la determinación de la pureza de un azúcar*. España: Universitat Politècnica de València.
- Mayorga, A., & Trejos, E. (Septiembre de 2002). Balance de materiales en la industria azucarera. Nicaragua.
- Villegas, S. C. (Agosto de 2004). Modelo de diagnóstico para la evaluación de la productividad de un proceso agroindustrial azucarero. Guatemala.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica: Eric Engles.

- Gonzales, Y., Campero, J. P., & Mercado, H. (2016). Evaluación del rendimiento agrícola e industrial de doce variedades de caña de azúcar en el municipio de minero, en tres cosechas consecutivas, sembradas a secano, suelo arenoso y fertilidad baja. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*.
- Espíndola, C., & Paytas, M. (2006). Rendimiento y calidad sacarínica en dos variedades de caña de azúcar con variaciones en la disponibilidad hídrica del suelo.
- Vindas, Á. A., Alfaro, M. O., & Duran, J. R. (20 y 21 de Agosto de 2015). Evaluación de 18 variedades de caña de azúcar durante tres cosechas en un suelo Ultisol en la Región de Los Chiles de Alajuela, Costa Rica. Costa Rica.
- Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. (Diciembre de 2018). Audiencia Pública Inicial 2018. Estado Plurinacional de Bolivia .
- EASBA Empresa Azucarera San Buenaventura. (2014). EASBA Empresa Azucarera San Buenaventura MEMORIA ANUAL 2014. La Paz, Bolivia.
- Pérez, F. G., Álvarez, J. A., & Fernández, J. F. (2010). Método para determinar la cantidad de agua de imbibición a utilizar en la industria de azúcar de caña. *Ingeniería Mecánica*.
- Calixto, A. V. (2015). Estadística y la investigación. Perú.
- Aucatoma, B., Fajardo, K., Chicaiza, B., & Solís, G. (2007). Comparación de tres métodos para el análisis porcentual de caña de azúcar. *Carta Informativa*.
- Quinteros, C. G. (2010). Apuntes de Procesos Químicos para Ingeniería de Sistemas.
- Souza, J. F. (2014). Sistematización: un instrumento pedagógico en los proyectos de desarrollo sustentable. *Issu*, 1-2.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO N° 1: Niveles de confianza y error muestral

Certeza Nc	Z	Z ²		E ²
99% 0.99	2.58	6.66	0.01	0.0001
95.5%	2	4	0.045	0.002
95%	1.96	3.84	0.05	0.0025
94%	1.88	3.53	0.06	0.0036
93%	1.81	3.28	0.07	0.0049
92%	1.75	3.06	0.08	0.0064
91%	1.69	2.86	0.09	0.0081
90%	1.65	2.72	0.10	0.01
85%	1.44	2.074	0.15	0.023
80%	1.28	1.64	0.20	0.04
75%	1.15	1.323	0.25	0.063
62%	1	1	0.37	0.1369
50%	0.67	0.45	0.50	0.25

Fuente: (Calixto, 2015)

ANEXO N° 2: Inflación histórica en Bolivia

AÑO	INFLACIÓN 12 MESES
2014	5,19%
2015	2,95%
2016	4,00%
2017	2,71%
2018	1,51%
PROMEDIO	3,27%

Fuente: Elaboración Banco Central de Bolivia, 2019

ANEXO N° 3: Incremento de consumo de agua

Masa de agua actual [t]	31.965,60
Masa de agua según propuesta [t]	88770,00
Incremento de consumo de agua [t]	56804,40

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 4: Nomenclatura

<i>m</i> :	Masa.
<i>E</i> :	Porcentaje de extracción de pol.
ΔE :	Variación de extracción de pol.
<i>E</i>₁ :	Porcentaje de extracción actual EASBA.
<i>E</i>₂ :	Porcentaje de extracción resultado de la propuesta.
<i>En</i> :	Entradas.
<i>P</i> :	Lo que se produce (se genera).
<i>I</i>_i :	Inventario inicial (lo que hay al inicio, dentro del sistema).
<i>S</i> :	Lo que sale.
<i>R</i> :	Lo que se consume (reacciona).
<i>I</i>_f :	Inventario final (lo que queda al final, dentro del sistema).
<i>A</i>_C :	Acumulación.
ψ :	Humedad.
<i>m</i>₁ :	Masa del recipiente + masa del bagazo húmedo.
<i>m</i>₂ :	Masa del recipiente + masa del bagazo seco.
<i>m</i>_r :	Masa del recipiente [t].
<i>m</i>_C¹ :	Masa de caña [t].
<i>m</i>_{H₂O}² :	Masa de agua de imbibición [t].
<i>m</i>_{JM}³ :	Masa de jugo mezclado [t]
<i>m</i>_{BM}⁴ :	Masa del bagazo mojado [t].
<i>V</i>_{JM}³ :	Volumen del jugo mezclado [m ³].
<i>X</i>_p¹ :	Fracción másica de pol en caña.

- X_p^3 : Fracción másica de pol en jugo mezclado.
- X_p^4 : Fracción másica de pol en bagazo mojado.
- X_F^1 : Fracción másica de fibra en caña.
- X_F^3 : Fracción másica de fibra en jugo mezclado.
- X_F^4 : Fracción másica de fibra en bagazo mojado.
- X_J^1 : Fracción másica del jugo en caña.
- X_J^3 : Fracción másica del jugo en jugo mezclado.
- X_J^4 : Fracción másica del jugo en bagazo mojado.
- $X_{H_2O}^2$: Fracción másica de agua.
- $X_{H_2O}^3$: Fracción másica de agua en jugo mezclado.
- $X_{H_2O}^4$: Fracción másica de agua en bagazo mojado.
- ρ_{JM} : Densidad del jugo mezclado $\left[\frac{t}{m^3}\right]$
- m_p^3 : Masa de pol en jugo mezclado [t].
- m_p^1 : Masa de pol en caña [t].
- m_p^4 : Masa de pol en bagazo [t]
- m_F^1 : Masa de fibra en caña [t]
- m_F^4 : Masa de fibra en bagazo [t]
- % Brix**: Porcentaje de Brix en jugo mezclado %.
- % m_{BM}^4** : Porcentaje masa del bagazo mojado [%].
- % X_p^1** : Porcentaje de pol en caña [%].
- % X_p^3** : Porcentaje de pol en jugo mezclado [%].
- % X_F^4** : Porcentaje de fibra en bagazo [%].

$\%X_F^1$ Porcentaje de fibra en caña [%].

$\%X_{H_2O}^2$: Porcentaje de agua de imbibición [%].

B/C : Relación beneficio – costo.

ANEXO N° 5: Glosario

Grados brix

Mide el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido, y su símbolo es °Bx. Por ejemplo, una solución de 5 °Bx tiene 5 g de azúcar (sacarosa) por 100 g de líquido, o de otra forma se interpreta como 5 g de sacarosa y 95 g de líquido.

RDS

Refractometric Dissolved Solids (Brix) cuya traducción al español son: Solidos solubles refractométricos (Brix).

FFM

Fórmula Fundamental del Molino.

Materia prima

La materia entregada a la industria para fabricación de azúcar y alcohol, compuesto por el tallo más impurezas o material de arrastre. La calidad tecnológica del tallo de caña es significativamente modificada al momento de recolección, pudiendo resultar en la entrega materia prima de peor calidad si no se adoptan los procedimientos correctos (Fernández, 2011).

Caña

El termino generalmente aceptado para designar tallos industriales en la caña de azúcar. Así mismo, por ejemplo, cuando se hace un análisis de caña está referido al análisis del tallo de caña de azúcar. Los tallos de caña de azúcar poseen una composición extremadamente variable en función de diversos factores, como la edad cronológica e fisiología, época de muestreo, variedad, tipo de corte, condiciones climáticas verificadas durante el desenvolvimiento vegetativo e durante la maduración.

Materias Extrañas en el cargamento de Caña

Las materias extrañas que acompañan a la materia prima son normalmente clasificadas como materias extrañas minerales y materia extraña vegetales, también denominados materias extrañas o el término inglés de Trash. O nivel de impurezas definido como aceptable depende de cada empresa considera económicamente viable.

Materias extrañas Vegetales

Son partes oriundas de propia de la caña, como son las puntas (despunte irregular) hojas verdes y secas, cañas muertas o resecaadas, raíces (enraizamiento aéreo) e rizomas (parte superior de la caña), así mismo como las plantas dañinas acarreadas. O levantamiento de impurezas vegetales y realizando manualmente con la separación de los componentes del tallo de la muestra.³

Materias Extrañas Minerales

Son la tierra principalmente, piedras con los tallos acarreados durante el cargamento mecanizado o con el corte.

Fibra

Estructura fibrosa insoluble seca de la caña. Generalmente es referida a todo el material insoluble que llega con la caña a la fábrica, incluyendo por lo tanto el suelo u otra materia extraña insoluble en caña.

Otro autor se refiere a la fibra es un material insoluble en agua contenida en caña. El tallo de caña es la fibra de estructura frágil y fina, forma las células de diámetros iguales que contiene el jugo, con alto contenido de sacarosa.

Fibra Industrial

Cuando el resultado indica el análisis de la materia prima y por tanto, contiene las impurezas o materias extrañas que provocan el aumento de solidos insolubles.

Fibra PCTS

Es el sistema brasilero de paga de caña por tenor de sacarosa (PCTS) la fibra es estimada en función de peso de bagazo húmedo de la prensa (PBU).

Agua de Imbibición

El agua de imbibición es el agua que aplica al colchón de bagazo durante la molida, con el fin de diluir el jugo retenido y facilitar su extracción. Agua de imbibición, agua de maceración y agua de saturación tiene el mismo significado

Bagacillo

Fracción final de bagazo obtenida mediante tamizado o separación neumática, generalmente usado como ayuda filtrante.

Alcalización

Etapas del proceso de purificación del jugo de azúcar en la cual se introduce cal al jugo en forma de lechada de cal o sacarato de calcio.

Cachaza

La cachaza es el residuo en forma de torta que se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña durante la fabricación del azúcar, la cachaza constituye el 17% de residuos por el 1% de azúcar cristalizada.

Miel o Melaza

Licor madre que se separa de los cristales mediante centrifugación. Las mieles A, B o C se obtienen de las masas cocidas correspondientes. La miel C es también conocida como miel final.

Pureza

Es posible que la expresión más usada en la práctica azucarera sea la **Pureza**, llamada también coeficiente de pureza, expone de pureza, cociente de pureza, u ocasionalmente el exponente o el cociente. Básicamente la pureza de un producto azucarero es el azúcar de caña presente en términos de porcentaje de la materia sólida. Puesto que el azúcar puede expresarse como Pol o sacarosa y los sólidos como Brix, sólidos por refractómetro, o sólidos por secado, la pureza entonces se expresa en varias formas.

Pureza Aparente

Porcentaje de pol determinada por sacarímetro contenida en brix. La pol en caña y la pureza del jugo son los principales indicadores de calidad de la caña.

Este término se usa ampliamente en la fábrica, la refinería y las fábricas de azúcar de remolacha para propósitos de control. Generalmente conocido como Pureza, la pureza, aparente se sobreentiende cuando el término no lleva ningún calificativo aclaratorio. A

pesar de que esta pureza sólo tiene valor comparativo, especialmente en los productos de baja pureza, esta prueba tiene aceptación general debido a su utilidad y sencillez.

Pureza Verdadera

El porcentaje de sacarosa (verdadera) en la sustancia seca (es decir, porcentaje de sacarosa en los sólidos por secado), este término tiene valor para comparar el trabajo de diferentes fábricas y en la investigación, pero es de aplicación limitada, debido al tiempo que requiere y la dificultades para determinar los dos factores implicados, especialmente los sólidos por secado.

Pureza de Gravedad

El porcentaje de sacarosa (verdadera) (por ejemplo, por Clerget) por ciento de Brix que se emplea más ampliamente en el Hemisferio Oriental que en el Occidental, aunque su aplicación en Occidente se está extendiendo. La ISSCT ha adoptado la pureza por gravedad como la norma para trabajo comparativo, especialmente en las fórmulas de rendimiento.

Eficiencia

La eficiencia es un indicador porcentual, representa un producto recuperado por ciento de cantidad disponible en materia prima. Este parámetro mide con mayor fidelidad o desempeño del sector industrial.

Rendimiento

El diccionario de la lengua portuguesa el rendimiento es una eficiencia relativa en el desempeño de una función o tarea en particular. Aprovechamiento relativo de fuerza o energía o sea es un valor relativo o porcentual. Sin embargo, como ya está consagrado en el sector agroindustrial de la caña de azúcar, el rendimiento se define como la medida de la cantidad de producto por unidad de materia prima.

Rendimiento Industrial

Es la cantidad de azúcar (Kg) por tonelada de caña procesada (Kg azúcar / t caña). Es el indicador de desempeño depende de calidad de materia prima y eficiencia sectoriales de

fábrica de azúcar. De ese modo, debería ser más propiamente denominado “rendimiento agroindustrial”

Azúcar

Término para la sacarosa disacárido y productos de la industria azucarera, compuestos esencialmente por sacarosa.