



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA
ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA
DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) PARA LA ASOCIACIÓN DE
CAÑICULTORES DE PASTAZA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: ABNER DAVID CASTRO NUÑEZ

DIRECTORA: ING. DANIELITA FERNANDA BORJA MAYORGA

Riobamba – Ecuador

2021

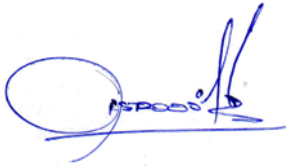
©2021, Abner David Castro Nuñez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Abner David Castro Nuñez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 18 de enero de 2021



Abner David Castro Nuñez




180399007-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA**”, realizado por el señor: **Abner David Castro Nuñez**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: CESAR ARTURO PUNTE GUIJARRO PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	2021-01-18
Ing. Danielita Fernanda Borja Mayorga DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: DANIELITA FERNANDA BORJA MAYORGA	2021-01-18
Ing. Daniel Antonio Chuquín Vasco MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: DANIEL ANTONIO CHUQUIN VASCO	2021-01-18

DEDICATORIA

La presente investigación contribuye al pensamiento o idealismo que permite el desarrollo, perfeccionamiento sostenible y sustentable de la sociedad.

Abner

AGRADECIMIENTO

La ilusión convertida en realismo se ve reflejada en un sueño cumplido, anhelado y añorado por mi padre Luis Alberto Castro, mi madre Salle Aide Nuñez, hermanos y hermanas. Ésta incalculable gratitud va dirigida a cada una de las personas que han formado parte de esta historia.

Mención especial, para aquellas personas de gran gesto, personalidad y profesionalismo inigualable que contribuyen a la formación de personajes íconos, impartiendo cátedra científica y humanística, la primera indispensable para el desarrollo de la sociedad y la segunda irremplazable dando emociones y sentido a la vida.

Por el apoyo y colaboración incondicional en el desarrollo del presente trabajo de titulación a mis docentes; Ing. Danielita Borja, Ing. Daniel Chuquín e Ing. Sonia Vallejo

Con infinita gratitud a la Asociación de Cañicultores de Pastaza, de manera especial al MSc. Amador Constante, Eco. Lucio Freire y Sr. Antonio Peralvo, por la apertura y colaboración brindada.

Abner

TA BLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1	Identificación del Problema.....	3
1.2	Justificación del Proyecto.....	3
1.3	Línea base del Proyecto.....	4
<i>1.3.1</i>	<i>Antecedentes de la empresa.....</i>	<i>4</i>
1.4	Localización del proyecto.....	6
1.5	Beneficiarios directos e indirectos.....	7
<i>1.5.1</i>	<i>Directos.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.2</i>	<i>Indirectos.....</i>	<i>7</i>
1.6	Objetivos del proyecto.....	7
<i>1.6.1</i>	<i>Objetivo General.....</i>	<i>7</i>
<i>1.6.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>7</i>

CAPÍTULO II

2	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
2.1	Antecedentes de la investigación.....	9
2.2	Marco teórico.....	11
2.3	Caña de azúcar.....	11
<i>2.3.1.1</i>	<i>Origen de la caña de azúcar (Saccharum officinarum).....</i>	<i>11</i>
<i>2.3.1.2</i>	<i>Descripción taxonómica de la caña de azúcar.....</i>	<i>12</i>
<i>2.3.1.3</i>	<i>Composición de la caña de azúcar.....</i>	<i>12</i>

2.3.1.4	<i>Beneficios que brinda la caña de azúcar</i>	13
2.3.1.5	<i>Productos derivados de la caña de azúcar y principales usos</i>	13
2.3.1.6	<i>Producción de la caña de azúcar en el Ecuador</i>	16
2.3.2	<i>Panela</i>	19
2.3.2.1	<i>Panela granulada</i>	20
2.3.2.2	<i>Composición nutricional de la panela</i>	20
2.3.2.3	<i>Beneficios que brinda la panela granulada</i>	21
2.3.2.4	<i>Usos de la panela</i>	21
2.3.2.5	<i>Operaciones unitarias del proceso de producción de panela granulada</i>	21
2.3.3	<i>Sacarosa</i>	23
2.3.3.1	<i>Importancia de la sacarosa</i>	24
2.3.4	<i>Azúcares reductores</i>	24

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO	25
3.1	Tipo de estudio	25
3.2	Métodos y técnicas	25
3.2.1	<i>Métodos</i>	25
3.2.2	<i>Técnicas</i>	26
3.3	Muestreo y caracterización de materia prima	28
3.3.1	<i>Muestreo de materia prima</i>	28
3.3.2	<i>Caracterización de materia prima</i>	29
3.4	Ensayos a nivel de laboratorio para la elaboración de panela granulada	29
3.4.1	<i>Materia prima, materiales y equipos para la producción de panela granulada</i>	29
3.4.2	<i>Descripción del proceso de producción de panela granulada</i>	30
3.4.2.1	<i>Selección de la caña de azúcar</i>	30
3.4.2.2	<i>Recepción de la materia prima (caña de azúcar)</i>	30
3.4.2.3	<i>Selección y limpieza</i>	31
3.4.2.4	<i>Desfibrado de la caña</i>	31
3.4.2.5	<i>Molienda y extracción del jugo</i>	31
3.4.2.6	<i>Filtración del jugo de caña</i>	32
3.4.2.7	<i>Clarificación del jugo de caña</i>	32
3.4.2.8	<i>Evaporación</i>	32

3.4.2.9	<i>Concentración</i>	33
3.4.2.10	<i>Batido y enfriado</i>	33
3.4.2.11	<i>Granulación</i>	34
3.4.2.12	<i>Pulverizado</i>	34
3.4.2.13	<i>Tamizado</i>	35
3.4.2.14	<i>Empacado</i>	35
3.4.2.15	<i>Almacenamiento</i>	36
3.5	Operaciones unitarias del proceso de obtención de panela granulada	36
3.5.1	<i>Filtración</i>	36
3.5.2	<i>Sedimentación</i>	36
3.5.3	<i>Evaporación</i>	36
3.5.4	<i>Tamizado</i>	37
3.6	VARIABLES Y PARÁMETROS DE PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PANELA GRANULADA	37
3.7	Cálculos de Ingeniería	37
3.7.1	<i>Balace de masa</i>	38
3.7.2	<i>Balace de energía</i>	46
3.7.2.1	<i>Balace de energía para el tanque de clarificación</i>	46
3.7.2.2	<i>Balace de energía en el evaporador</i>	49
3.7.2.3	<i>Balace de energía en la etapa de concentrado</i>	53
3.7.3	<i>Diseño de equipos</i>	57
3.7.3.1	<i>Dimensionamiento del tanque de clarificación</i>	57
3.7.3.2	<i>Dimensionamiento del evaporador</i>	59
3.8	Proceso de producción	65
3.8.1	<i>Materia prima, aditivos e insumos</i>	65
3.8.2	<i>Diagrama del proceso para la producción de panela granulada</i>	66
3.8.2.1	<i>Descripción del diagrama de proceso de elaboración de panela granulada</i>	67
3.8.2.2	<i>Capacidad de producción</i>	69
3.8.3	<i>Distribución de la planta</i>	69
3.8.3.1	<i>Descripción de áreas de la planta</i>	69
3.8.4	<i>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria</i>	71
3.8.4.1	<i>Equipos que se requiere implementar para el proceso de producción</i>	71
3.8.4.2	<i>Equipos y materiales necesarios para el control del proceso</i>	72

3.8.5	<i>Análisis costo/beneficio del proyecto</i>	73
3.8.5.1	<i>Costo de equipos</i>	73
3.8.5.2	<i>Costo de materia prima</i>	74
3.8.5.3	<i>Costo de mano de obra directa</i>	74
3.8.5.4	<i>Costo de los análisis de laboratorio</i>	74
3.8.5.5	<i>Costos fijos</i>	75
3.8.5.6	<i>Muebles y enseres</i>	76
3.8.5.7	<i>Presupuesto de producción</i>	76
3.8.5.8	<i>Indicadores financieros</i>	78

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	79
4.1	Caracterización de materia prima	79
4.1.1	<i>Caracterización organoléptica del jugo de caña</i>	79
4.1.2	<i>Caracterización físico-química del jugo de caña</i>	79
4.2	Resultados de ensayos del proceso de elaboración de panela granulada	80
4.2.1	<i>Determinación de grados brix</i>	80
4.2.2	<i>Determinación de pH</i>	81
4.3	Determinación de las variables y parámetros del proceso para la elaboración de panela granulada	81
4.3.1	<i>Grados brix (*brix)</i>	81
4.3.2	<i>Temperatura</i>	82
4.3.3	<i>pH</i> 83	
4.3.4	<i>Granulometría</i>	83
4.4	Resultados del dimensionamiento de equipos	83
4.4.1	<i>Tanque de clarificación</i>	83
4.4.2	<i>Evaporador de simple efecto</i>	84
4.5	Validación del proceso mediante caracterización organoléptica, físico-química y microbiológica de panela granulada	84
4.5.1	<i>Caracterización organoléptica de panela granulada</i>	85
4.5.2	<i>Caracterización físico-química de panela granulada</i>	85
4.5.3	<i>Caracterización microbiológica de panela granulada</i>	86

CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	89
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Condiciones meteorológicas del Cantón Pastaza	6
Tabla 1-2:	Descripción taxonómica de la caña de azúcar	12
Tabla 2-2:	Componentes de la caña de azúcar.....	13
Tabla 3-2:	Producto Interno Bruto (PIB) de la industria azucarera	17
Tabla 4-2:	Exportaciones nacionales de azúcar 2013 – octubre 2017.....	17
Tabla 5-2:	Exportaciones Nacionales de Azúcar por países 2013 – octubre 2017.....	18
Tabla 6-2:	Composición de la panela granulada.....	20
Tabla 1-3:	Determinación de los grados brix (°brix).....	26
Tabla 2-3:	Determinación de pH	26
Tabla 3-3:	Determinación de humedad	27
Tabla 4-3:	Determinación de densidad.....	28
Tabla 5-3:	Materia prima para el proceso de producción	29
Tabla 6-3:	Materiales y equipos para la obtención de panela granulada.....	29
Tabla 7-3:	Variables y parámetros de proceso.....	37
Tabla 8-3:	Materia prima, aditivos e insumos para la elaboración de panela granulada	66
Tabla 9-3:	Equipos necesarios para el proceso de producción de panela granulada	71
Tabla 10-3:	Equipos y materiales necesarios para el control del proceso	72
Tabla 11-3:	Costos de los equipos para la producción de panela granulada	73
Tabla 12-3:	Costos de materiales para la producción de panela granulada.....	73
Tabla 13-3:	Costo de materia prima e insumos para producir 1 kg de panela granulada	74
Tabla 14-3:	Materia prima e insumos para producir 118,85 kg de panela granulada.....	74
Tabla 15-3:	Costo de mano de obra directa mensualizada.....	74
Tabla 16-3:	Costo de análisis de laboratorio	75
Tabla 17-3:	Costos fijos	75
Tabla 18-3:	Costo de consumo de combustible.....	75
Tabla 19-3:	Costos de muebles y enseres.....	76
Tabla 20-3:	Relación costo-beneficio para la producción de panela granulada	76
Tabla 21-3:	Flujo de caja para la producción de panela granulada.....	77
Tabla 22-3:	Indicadores financieros para la producción de panela granulada	78
Tabla 1-4:	Características organolépticas de jugo de caña	79
Tabla 2-4:	Características físico-químicas de jugo de caña	79
Tabla 3-4:	Datos experimentales de temperatura y concentración del proceso.....	80

Tabla 4-4:	Datos experimentales de pH durante el proceso de elaboración de panela granulada	81
Tabla 5-4:	Dimensiones de tanque de precalentado	83
Tabla 6-4:	Dimensiones del evaporador de simple efecto	84
Tabla 7-4:	Parámetros organolépticos de panela granulada.....	85
Tabla 8-4:	Parámetros físico-químicos de panela granulada	85
Tabla 9-4:	Parámetros microbiológicos de panela granulada	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Ubicación geográfica de la Planta de la ASOCAP	6
Figura 1-2:	Caña de azúcar	11
Figura 2-2:	Estructura productiva de la agroindustria azucarera	14
Figura 3-2:	Concentración de empresas para el cultivo de caña y fabricación de azúcar	16
Figura 4-2:	Cifra de exportaciones nacionales en el período 2013 – octubre 2017.	18
Figura 5-2:	Cifra de exportación de azúcar por países	18
Figura 6-2:	Producción y rendimiento del Cultivo de la caña de azúcar	19
Figura 7-2:	Panelas en sus diferentes presentaciones	19
Figura 8-2:	Estructura cíclica de la sacarosa	24
Figura 1-3:	Cultivo de la caña de azúcar	30
Figura 2-3:	Molienda y extracción de jugo	31
Figura 3-3:	Evaporado del jugo de caña.....	32
Figura 4-3:	Concentrado del jugo de caña.....	33
Figura 5-3:	Batido de la panela	33
Figura 6-3:	Granulado de panela.....	34
Figura 7-3:	Pulverizado de panela.....	34
Figura 8-3:	Tamizado de panela.....	35
Figura 9-3:	Empacado de la panela granulada.....	35

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Balance global de masa del proceso de producción de panela granulada	45
Gráfico 2-3:	Diagrama del proceso de producción de panela granulada.....	67
Gráfico 3-3:	Capacidad de producción.....	69
Gráfico 1-4:	Curva de grados brix en función de temperatura.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO Y FÍSICO-QUÍMICO DE JUGO DE CAÑA CRUDO
- ANEXO B:** RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE PANELA GRANULADA
- ANEXO C:** CORRELACIÓN ENTRE NÚMERO DE REYNOLDS Y NÚMERO DE POTENCIA
- ANEXO D:** VISTA FRONTAL, SUPERIOR E ISOMÉTRICA DEL TANQUE CLARIFICADOR
- ANEXO E:** VISTA FRONTAL, SUPERIOR E ISOMÉTRICA DE LA CHAQUETA DEL TANQUE CLARIFICADOR
- ANEXO F:** VISTA FRONTAL, SUPERIOR E ISOMÉTRICA DE LA TAPA DEL TANQUE CLARIFICADOR
- ANEXO G:** ENSAMBLE DEL TANQUE CLARIFICADOR
- ANEXO H:** VISTA FRONTAL, SUPERIOR E ISOMÉTRICA DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO
- ANEXO I:** VISTA FRONTAL, SUPERIOR E ISOMÉTRICA DE LA CHAQUETA DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO
- ANEXO J:** SISTEMA DE AGITACIÓN
- ANEXO K:** ENSAMBLE DEL EVAPORADOR DE SIMPLE EFECTO Y SISTEMA DE AGITACIÓN DE PALAS PLANAS
- ANEXO N:** NTE INEN 2332:2002.PANELA GRANULADA. REQUISITOS

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue diseñar un proceso industrial para la elaboración de panela granulada a base de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la Asociación de Cañicultores de Pastaza (ASOCAP), se inició con la caracterización físico-química del jugo de caña arrojando los siguientes resultados, 5,41 de pH, densidad 1,044 g/ml y 19,8 de grados brix, conforme a métodos descritos en la NTE INEN-389, 391, 380, respectivamente y las pruebas organolépticas como color, olor, sabor y aspecto, los mismos se encuentran dentro de los límites referenciales establecidos para el jugo de caña; posteriormente se realizaron pruebas a escala piloto para determinar las variables más relevantes del proceso de producción, como la temperatura de clarificación a 55°C, evaporado a 98°C y concentrado a 120°C, sólidos solubles de evaporado 70 °brix, de concentrado 90 °brix, 5,93 de pH de la panela granulada y finalmente la granulometría de 1,4 mm. Con los datos obtenidos se efectuó el dimensionamiento para una capacidad de producción de 1000 kg/lote, por tanto, se diseñó un tanque clarificador y un evaporador enchaquetados, montado por un sistema de agitación de palas planas de 0,45 m de longitud y 0,045 m de ancho, con el propósito de validar el diseño respectivo se realizó la caracterización de la panela granulada en base a la norma NTE INEN 2332:2002. Panela granulada. Requisitos, encontrándose parámetros organolépticos, físico-químicos y microbiológicos, resultando apto para ser consumido y comercializado. Por último, se determinó el análisis financiero, demostrando a este como un proyecto económicamente viable según los indicadores financieros VAN y TIR; se recomienda aplicar las buenas prácticas de manufactura durante el proceso de producción, así como realizar un control estricto de las variables de operación.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*) >, <EXTRACCIÓN>, <EVAPORACIÓN>, <CONCENTRACIÓN>, <GRADOS BRIX>, <PANELA GRANULADA>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS



04/01/2021
0526-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The objective of this work was to design an industrial process for the elaboration of granulated panela based on sugar cane (*Saccharum officinarum*) for the Sugar Cane Growers Association of Pastaza (ASOCAP). It began with the physical-chemical characterization of the sugarcane juice, giving the following results, pH 5.41, density 1.044 g / ml and 19.8 degrees brix, according to the methods described in the NTE INEN-389, 391, 380, respectively and the organoleptic tests such as colour, smell, taste and appearance, they are within the reference limits established for cane juice; subsequently, pilot-scale tests were carried out to determine the most relevant variables of the production process, such as clarification temperature at 55 ° C, evaporated at 98 ° C and concentrated at 120 ° C, soluble solids from evaporated 70 ° brix, from concentrate 90 ° brix, 5.93 pH of the granulated panela and finally the granulometry of 1.4 mm. With the data obtained, the sizing was made for a production capacity of 1000 kg/batch, therefore, a clarifier tank and a jacketed pan evaporator were designed, mounted by a flat blade agitation system of 0.45 m in length and 0.045 m wide, to validate the respective design, the characterization of the granulated panela was carried out based on the standard NTE INEN 2332: 2002. Granulated brown sugar. Requirements, meeting organoleptic, physicochemical, and microbiological parameters, making it suitable for consumption and commercialization. Finally, the financial analysis was determined, showing that this project is economically viable according to the financial indicators NPV and IRR. It is recommended to apply good manufacturing practices during the production process, as well as to carry out strict control of the operating variables.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <SUGAR CANE (*Saccharum officinarum*)>, <EXTRATION>, <EVAPORATION>, <CONCENTRATION>, <BRIX DEGREES>, <GRANULATED PANEL>.

INTRODUCCIÓN

El sector panelero es considerado como una de las agroindustrias más tradicionales de América Latina y el Caribe, este producto se originó con el cultivo de la caña de azúcar, así pues, la producción de panela lo vienen realizando mediante procesos artesanales en los que prevalece el trabajo familiar y una elevada deficiencia de tecnología. Además, el consumo de la panela antes de la industrialización del azúcar era predominante, hoy en día el consumo per cápita de panela es inferior de manera significativa debido a la sustitución por azúcar refinada de los grandes ingenios, el azúcar comercial es el de mayor consumo y adaptación de los consumidores por sus precios accesibles, producto del monopolio de las grandes industrias azucareras del país, que dominan este mercado a nivel nacional, afectando significativamente el sector productivo panelero (Alarcón, 2017, pp. 1-7)

Actualmente, la producción mundial de panela se centra en 5 países como son: India, Colombia, Pakistán, China, Brasil, siendo India el mayor productor de panela, así en el año 2016 se produjo a nivel mundial 11002 ton, en 2017 de 10702 ton y en 2018 de 12028 ton de panela (MINAGRICULTURA, 2018).

La panela se caracteriza por ser un edulcorante natural, obtenido del jugo concentrado de la caña de azúcar (*saccharum officinarum*), un producto altamente nutricional por contener minerales y vitaminas, considerado principal fuente de energía por estar constituido en gran proporción de sacarosa y en cantidades pequeñas de azúcares invertidos (Quezada, 2007, pp. 43-50). Comúnmente se conoce como raspadura, atado o chancana, suele presentarse en forma circular, bloque o como panela granulada.

En los últimos años, el consumo de azúcar y productos que impliquen procesos de refinación han marcado efectos negativos en la salud de las personas, estos alimentos han sido precursores de las actuales enfermedades de la sociedad, por lo que este panorama ha fomentado elegir a productos alternativos y que sean saludables, la panela en la actualidad es el sustituto principal del azúcar comercial, producto obtenido mediante procesos orgánicos 100% naturales, la industria panelera tiene la premisa de tener una producción sostenible, y amigable con el medio ambiente.

La Asociación de Cañicultores de Pastaza (ASOCAP) ubicado en la ciudad del Puyo, provincia de Pastaza, es referente en la región como una organización sólida con fines productivos y comerciales, se dedica principalmente al cultivo y manejo de caña de azúcar, cosecha y post-cosecha, venta y comercialización de los diversos productos, la importancia del presente proyecto

nace debido a la escases de un asesoramiento técnico en cuanto a normativas, manejo de equipos y maquinarias tecnológicas a este sector productivo y a la asociación en particular, factores que limitan producir a escala industrial, la libre comercialización de sus productos y el ingreso a cadenas, tiendas, mercados nacionales y extranjeros.

Este proyecto de tipo técnico va a promover la transformación y diversificación de productos con valores agregados de la caña de azúcar, el desarrollo económico y productivo de la agroindustria panelera de esta región, que se encuentra en vías de desarrollo y a su vez contando con un potencial alto por sus extensas tierras que se destinan al cultivo de la caña azucarera.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del Problema

A nivel mundial, el desplazamiento de productos saludables tales como la panela por azúcar refinada es parte de los grandes cambios en los patrones de consumo de alimentos en la población, generando trastornos en la salud de las personas, como enfermedades relacionadas con la diabetes y la obesidad (Jaffé, 2012). Estos cambios se deben a la alta producción industrial, accesibilidad comercial, costos relativamente bajos que tienen los productos refinados, marketing y publicidad generando la atención de los consumidores al momento de su adquisición.

En el Ecuador, las actividades del sector panelero y en particular en la ASOCAP prevalecen más los procesos de forma convencional que industrial, debido a la falta de iniciativa, asesoramiento, innovación, tecnificación y control de parámetros de proceso de producción, también la escasa diversificación de productos, valoración del rendimiento productivo y aprovechamiento de subproductos de esta agroindustria (Molina et al, 2018), lo que genera productos con características poco aceptables y atractivas para el consumidor.

En la actualidad, la ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA (ASOCAP) cuenta con 60 asociados, las principales actividades que realizan concierne al cultivo, producción y procesamiento de la caña de azúcar este último siendo de gran interés para el presente estudio, los asociados no disponen de equipos y maquinarias tecnológicas adecuadas, impidiendo que los procesos de producción se lleve de manera eficiente, rentable y se trabaje a escala industrial, también se suman a estas limitaciones que en su gran mayoría los socios no aplican las normativas que se requieren, no disponen de permisos de funcionamiento y registros sanitarios de los productos que elaboran, siendo importante estudiar y dar solución a estas problemáticas vigentes.

1.2 Justificación del Proyecto

En el Ecuador, el cultivo de la caña de azúcar con fines comerciales tiene importancia en el ámbito económico y social, debido a la generación de empleos directos e indirectos, lo cual permite dinamizar la economía de este sector y del país. La panela es un edulcorante que se destaca por ser de origen 100% natural, se caracteriza por contener componentes altamente nutritivos tales como sacarosa, minerales como: calcio, magnesio, potasio, fósforo, sodio, hierro, sodio y

manganeso) y vitaminas como A, B₁, B₂, B₅, B₆, C, D₂, que aporta nutrientes esenciales al organismo y energía necesaria para el desarrollo de los procesos metabólicos (Solís et al, 2019).

La ASOCAP ha visto la necesidad de implementar el diseño de un proceso industrial para la elaboración de panela granulada, bajo los criterios técnicos y productivos, implementando la tecnología necesaria, asegurando así la producción, calidad e inocuidad de los productos de acuerdo con la norma NTE INEN 2332:2002 Panela Granulada. Requerimientos (INEN, 2002), generando valor agregado a sus productos, implementaciones que permitirá cumplir y fortalecer la producción, dinamizar la economía de los asociados y la región.

También promoverá revertir el concepto de la panela en el mercado ya que el marketing de las grandes cadenas industriales azucareras y comerciales definen que, si un producto no es refinado es de mala calidad, caso que no es cierto, de hecho, un producto es de calidad debido a su producción orgánica y su alto contenido de elementos nutricionales y por ser de origen natural, logrando así que la panela granulada pueda ubicarse como unos de los productos de gran aceptación.

Según Markets and Markets, estima que el mercado de sustitutos del azúcar tendrá un valor de USD 13,26 mil millones en 2015 y se prevé que alcance USD 16,53 mil millones para 2020, es decir, las oportunidades que están por venir lograrán fomentar y fortalecer a los pequeños productores que realizan sus trabajos de forma artesanal, promoviendo a este sector hacia la agroindustrialización (Rodríguez et al, 2016).

1.3 Línea base del Proyecto

1.3.1 Antecedentes de la empresa

El Estado Ecuatoriano en los años 70 y 80 promulga la Ley de Control de los Estancos a la producción de todos los derivados de la caña de azúcar, de manera particular la panela y el aguardiente, y como consecuencia de ello las personas que se dedicaban a estas actividades se vieron obligados a cerrar las fábricas, trapiches y por ende también descuidaron los cultivos, los mismos que con el pasar del tiempo se convirtieron en pastizales, causando así pérdidas económicas significativas para este sector y a los agricultores de la provincia (Morales y Villarreal, 2015: pp. 18-19). Cabe indicar que lo poco que producían era comercializado por medio del contrabando, esto con la finalidad de evadir los controles que realizaba el gobierno.

Con base a los antecedentes mencionados y el apoyo de los gobiernos seccionales de esa época, surge la idea de conformar y constituir una asociación que defienda los intereses de los cañicultores, creándose así la Asociación de Cañicultores de Pastaza (ASOCAP) el 13 mayo de 1987, mediante el acuerdo ministerial N° 165, es filial de la Unión Nacional de Cañicultores del Ecuador (UNCE); y pues desde ese entonces hasta la fecha se ha venido consolidándose y trabajando como un gremio buscando el bienestar de los asociados y dinamizando la economía de la provincia y el país (Salazar, 2012, p.2).

Durante la trayectoria de la asociación se ha mantenido y organizado de manera democrática. Los principios desde su fundación se han sostenido y se continúa mejorando las gestiones pertinentes en cuanto se refiere al cultivo y manejo de la caña de azúcar, cosecha y postcosecha, valor agregado, venta y comercialización de sus productos.

Actualmente, la ASOCAP ofrece esta variedad de productos:

- Panela granulada
- Panela en bloque
- Miel de panela

La ASOCAP se encuentra en la ciudad de Puyo, cantón Pastaza, perteneciente a la provincia de Pastaza.

- **Misión**

“Gestionar y trabajar ante entidades Públicas a favor de los asociados de la región Amazónica sean estos socios o no de la organización a efectos de alcanzar los siguientes beneficios: capacitación, asociación técnica, transportación, industrialización, comercialización, mejoramiento de clones y variedades de caña”.

“Ayuda en aportes a centros de investigación, de acopio, almacenamiento de insumos, los cuales irán orientados a mejorar la producción y comercialización de la caña de azúcar y sus derivados a favor de la gente que trabaja en el proceso de cultivo”

- **Visión**

“Promover el fortalecimiento, la unión y la incorporación a esta organización a todos los

agricultores, productores, industrializadores, transportadores y comercializadores de la caña de azúcar y sus derivados, con el fin de intercambiar experiencias y esfuerzos en la defensa de sus derechos y en la obtención de beneficios inherentes en esta actividad”

1.4 Localización del proyecto

El presente proyecto se realizará en las instalaciones que dispone la Asociación de Cañicultores de Pastaza, ubicado en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, ciudad de Puyo, cuya planta está domiciliada en el barrio el Dorado, entre las calles Napo y Pomona. A continuación, en la siguiente tabla se muestra las condiciones meteorológicas del cantón Pastaza:

Tabla 1-1: Condiciones meteorológicas del Cantón Pastaza

Parámetros	Valores promedios
Altitud, msnm.	950
Temperatura (°C)	20
Precipitación, mm/mes	4403
Humedad relativa, %	90

Fuente: (Inamhi, 2019).

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

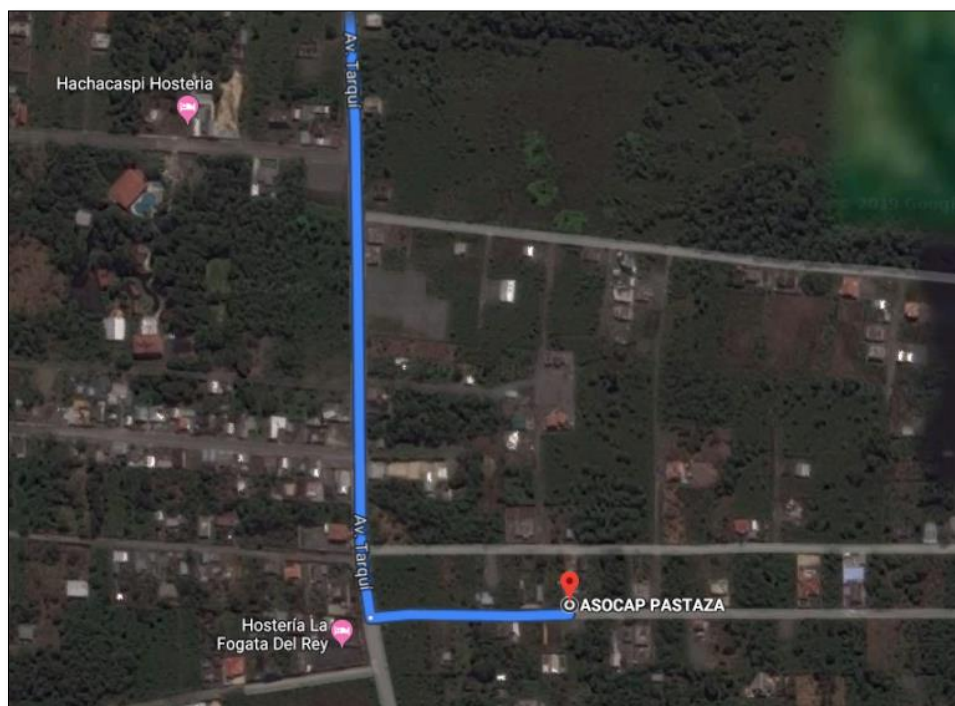


Figura 1-1: Ubicación geográfica de la Planta de la ASOCAP

Fuente: Google Maps, 2020.

1.5 Beneficiarios directos e indirectos

1.5.1 Directos

El beneficiario principal del presente estudio es la Asociación de Cañicultores de Pastaza, debido a la reactivación del sector productivo de caña de azúcar con la finalidad de producir a escala industrial, mejorar la economía, el desarrollo sostenible a nivel local, regional y nacional.

1.5.2 Indirectos

Los beneficiarios indirectos serán:

- El sector productivo de la provincia de Pastaza, agricultores que se dedican al cultivo y producción de la caña de azúcar, con ello se promoverá la generación de fuentes de empleo puesto que estas son una de las principales actividades económicas de la región y por ende el mejoramiento de la calidad de vida.
- Los consumidores finales, especialmente las personas que sufren enfermedades y necesitan reemplazar azúcares refinados, ya que se trata de un producto natural y nutritivo.

1.6 Objetivos del proyecto

1.6.1 Objetivo General

- Diseñar un proceso industrial para la elaboración de panela granulada a base de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

1.6.2 Objetivos Específicos

- Determinar las características físico-químicas (grados brix, pH) del jugo de caña de azúcar.
- Identificar las variables de diseño y parámetros de operación en la elaboración de panela granulada a base de caña de azúcar.
- Desarrollar los cálculos de diseño ingenieril del proceso de elaboración de panela granulada.

- Establecer el proceso de elaboración de panela granulada en base a la Norma INEN 2332: Panela Granulada. Requisitos.
- Validar el proceso mediante las caracterizaciones organolépticas, físico-químicas (color, azúcar reductor, sacarosa, humedad, pH, sólidos sedimentables) y microbiológicas (mohos, levaduras) de la panela granulada, según la Norma INEN 2332: Panela Granulada. Requisitos.
- Evaluar la factibilidad técnica y económica del diseño propuesto.

CAPÍTULO II

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes de la investigación

Los estudios anteriores se constituyen la base indispensable para desarrollar futuras investigaciones con temas relacionados a la producción de panela, ya que permite conocer al investigador de una manera clara los aspectos que se deben mejorar dentro de la línea de producción así también los métodos que se deben emplear, y por otra parte fomentar las producciones sostenibles pues para ello es importante considerar el manejo de los residuos generados en este tipo de industrias y el uso en las economías circulares, a continuación se describe alguna de ellas:

En 2009, Giraldo y Montoya en el trabajo titulado “Propuesta de diseño de planta de procesamiento de caña de azúcar para la elaboración de panela” destaca la importancia de realizar un análisis detallado del diseño de la línea de producción así también el requerimiento de los equipos necesarios para llevar a cabo la transformación de la materia prima y obtener un producto de calidad. También realizar un estudio del impacto ambiental que podría ocasionar dicho proceso, la implementación de dispositivos para garantizar la seguridad industrial.

En 2010, Aguilar N; Galindo G; Fortanelli J; Contreras C, con el tema “Azúcar, co-productos y sub-productos en la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar” destaca que los productos de la industria azucarera ha sido abordado en los foros a nivel mundial como complemento para la viabilidad futura y rentable de esta actividad, además proporciona un aumento en el desarrollo sostenible de la región, permitiendo así mejorar las condiciones de vida de las personas, en efecto, siendo importante la exploración al máximo del potencial de la caña de azúcar, co-productos y sub-productos con un valor agregado de interés para el mercado.

En 2013, Suárez en su trabajo “Estudio para la creación de una planta productora de panela, bajo el enfoque de producción limpia” indica que será un proyecto de gran avance en la conservación del medio ambiente ya que el combustible de la planta será el mismo bagazo, de hecho según el estudio de mercado menciona que la implementación de la planta es viable, además que el proyecto apoyará al comercio regional y local, mediante la compra de materias primas e insumos a la industria local y por ende mejorará los intereses de los socios, trabajadores e inversionistas.

En 2013, Sáenz desarrolló un estudio sobre la “Industrialización de panela granulada orgánica en una planta de producción, ubicada en el cantón Salinas – Ibarra”, menciona que la implementación de una planta de procesamiento de caña de azúcar para la obtención de panela es viable y factible, esto conforme al estudio de mercado y económico realizado, en el que según las encuestas efectuadas en el cantón Quito obtuvo que luego del azúcar, la panela es el segundo edulcorante más utilizado, lo que representa el 33% de uso, además existe un alto grado de aceptación por tratarse de un producto 100% natural y de origen orgánico; además mediante los indicadores financieros Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) indica que el proyecto es rentable por lo cual generará ganancias, es decir es económicamente viable.

En 2015, Fiestas F; Santos I; Banda S; Valdiviezo W; Arellano K; con el tema “Diseño de una línea de producción de panela granulada” indica que el proyecto a desarrollar busca el bienestar social y ambiental de la Región Piura y del Perú, puesto que la panela granulada obtenida es 100% orgánica ya que durante el procesamiento no requiere de la adición de sustancias químicas, además menciona que la exportación de este producto se ha incrementado en los mercados nacional e internacional por lo que es importante la implementación de la línea de producción con la finalidad de abastecer ya que disponen la accesibilidad de la materia prima en ese sector, además según los análisis efectuados destaca que el producto obtenido cumple con los requisitos por la normativa actual vigente, y finalmente según el estudio de mercado realizado indica que el proyecto es viable ya que los indicadores resultaron positivos y favorable. Además, recalca que la diferencia entre el proceso artesanal e industrial se fundamente en el proceso de prelimpiado y clarificación del jugo de la caña de azúcar.

En 2015, Benalcázar, con el tema “Estudio de prefactibilidad para instalar una empresa panelera en la parroquia de Santa Catalina de Salinas provincia de Imbabura”, indica que al realizar el estudio de mercado para conocer la demanda existente de panela mediante encuestas efectuadas obtuvo que más del 90% consume panela; además mediante la ingeniería de proyecto destaca la importancia de implementar un generador de vapor para el proceso de producción. La planta de producción es diseñada para una capacidad de 2,41 TM/diario de panela en blanco y granulada debido a la disponibilidad de materia prima propio del sector.

Según Dávila (2018), con el trabajo titulado “Factores que limitan el desarrollo de la agroindustria de la panela granulada en la provincia de Lamas región San Martín-2018”, indica que al recopilar la información mediante entrevistas y encuestas, cuyos resultados demuestran que los factores principales que afectan a este sector son: la siembra, cultivo y procesamiento de la materia prima, selección de semillas, nivel de tecnología empleada para la cosecha de la caña, extracción y procesamiento de la panela granulada, estrategias deficientes de comercialización, falta de apoyo

por parte del personal técnico, convirtiéndose así en una barrera para el crecimiento y desarrollo del sector azucarero.

2.2 Marco teórico

2.3 Caña de azúcar



Figura 1-2: Caña de azúcar

Fuente: Quezada, 2007, p. 23.

La caña de azúcar (*Saccharum Officinarum L.*) es una planta de gran tamaño, perteneciente a la familia de las gramíneas, se caracteriza por estar constituido de tallos largos que oscila entre 1.5 a 5.0 m de altura, de forma cilíndrica con diámetros que suelen variar de 2 a 4 cm, dividido en nudos. Se cultiva en climas tropicales y subtropicales a temperaturas promedio de 30 °C, cultivo que se da durante todo el año, la cosecha se realiza a partir de los dieciocho meses en adelante desde la siembra (Fiestas et al, 2013: pp. 7-8; Sáenz, 2013, p. 12).

El tallo es la parte más importante de la planta, en el cual se acumula jugo rico en azúcares, principalmente la sacarosa y abundante fibra, siendo el bagazo como residuo procedente de la extracción de jugo de caña (Sáenz, 2013, p.12).

2.3.1.1 Origen de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

La caña de azúcar es considerada como unos de los cultivos más antiguos del mundo, puesto que es originaria 4500 años a.C en Nueva Guinea, posteriormente los antiguos navegantes lo llevaron hacia la India, siendo cultivada al principio como una planta de jardín, y mediante hibridación se

consiguio una diversidad de especies del género *saccharum* y luego se difundio a China, y a otras regiones del Oriente, en los siglos IX y X

Con el paso de los años el cultivo de esta planta se extendio por el resto del mundo, pues en el siglo VII d. C los árabes conquistaron lo que fue Persia y por el magnífico concepto que tenían acerca del dulce, trasladaron el azúcar a otro de sus territorios, principalmente al norte de África y es ahí donde los químicos egipcios perfeccionaron su procesamiento y la refinación del azúcar.

Mediante la conquista de América llegó el cultivo a nuestro continente en los años 1600, expandiéndose por todas las zonas cálidas, posteriormente su producción comenzó a marcar positivamente en la economía de los países, por lo que empezaron a exportar a Europa (Quezada, 2007, pp. 23-24).

2.3.1.2 Descripción taxonómica de la caña de azúcar

Tabla 1-2: Descripción taxonómica de la caña de azúcar

Nombre científico:	Saccharum Officinarum L.
Nombre común:	Caña de azúcar
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliatae
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae (Gramíneas)
Género:	Saccharum
Especie:	Saccharum officinarum

Fuente: Infoagro, sf..

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

2.3.1.3 Composición de la caña de azúcar

Los constituyentes de la caña de azúcar principales son agua, fibra, sólidos solubles (particularmente azúcares), así también de otros compuestos que se encuentran en menor cantidad como vitaminas y minerales, grasas, ceras, ácidos, mismos que pueden estar libres o combinados. A continuación, se indica la composición de cada uno de los componentes:

Tabla 2-2: Componentes de la caña de azúcar

Componente	Porcentaje (%)
Agua	73 – 76
Fibra	11 – 16
Sacarosa	8 – 15
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

Fuente: Giraldo y Montoya, 2009, p.21.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

2.3.1.4 Beneficios que brinda la caña de azúcar

- Fuente principal de energía.
- Posee la capacidad de actuar como antioxidante, altamente efectivo.
- Desempeña de manera eficiente como un laxante suave por tener un alto contenido de potasio.
- Ayuda a mantener el cuerpo de forma saludable y equilibrada por presentar valores bajos de índice glucémico.
- Fortalece los órganos del ser humano, así como el corazón, los riñones, el estómago, los ojos, el cerebro y los órganos sexuales.
- El jugo de la caña de azúcar por ser de naturaleza alcalina ayuda al cuerpo contra el cáncer, de manera especial el cáncer de próstata y de mama (Sáenz, 2013, p.12).

2.3.1.5 Productos derivados de la caña de azúcar y principales usos

Los principales productos que se obtiene a partir de la caña de azúcar son: azúcar, etanol y panela, y como consecuencia del procesamiento se generan los sub-productos tales como los biocombustibles, mieles, papel, tableros aglomerados obtenido a base de bagazo, melaza (alimento para animales) y cachaza (abono orgánico).

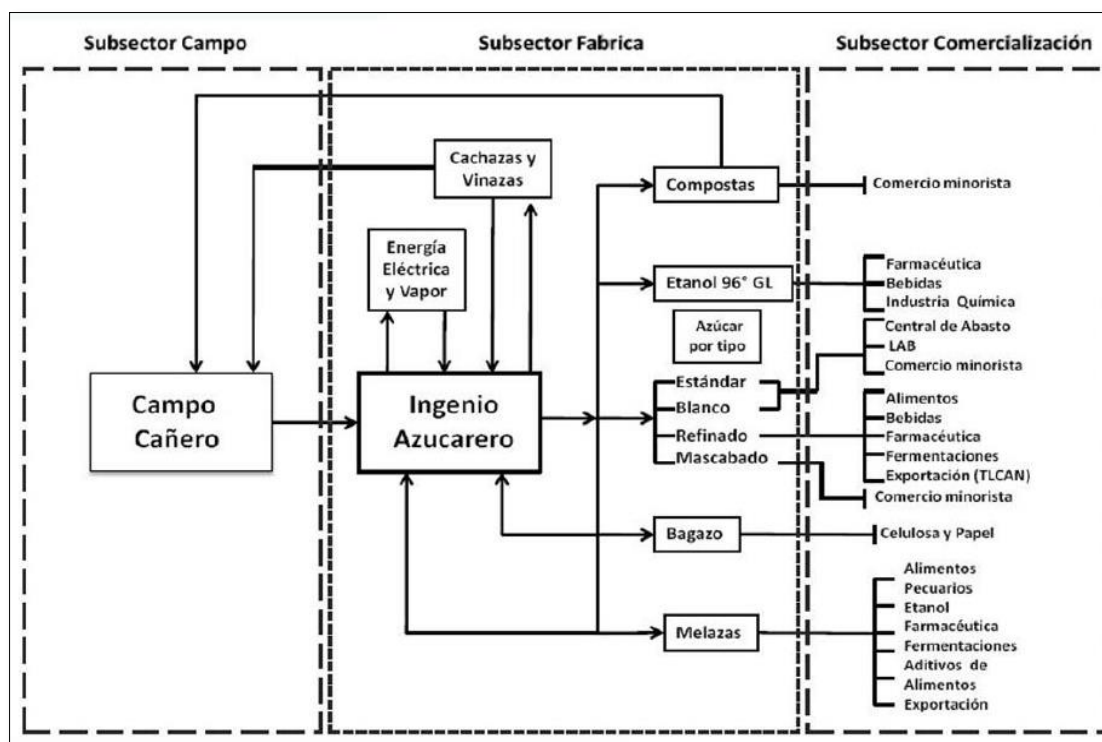


Figura 2-2: Estructura productiva de la agroindustria azucarera

Fuente: Aguilar et al, 2011: p. 265.

Azúcares: es el alimento más habitual en la dieta de todos los hogares debido al aporte energético para el organismo, conforme al estado dentro del proceso fabril, el color, pureza y granulometría se tiene las siguientes clases:

- Azúcar cruda: producto cristalizado obtenido mediante la cocción del jugo de caña de azúcar o a partir de la remolacha azucarera, constituida en mayor parte por cristales sueltos de sacarosa, cubiertos por una lámina de su miel madre original.
- Azúcar blanca: producto cristalizado obtenido mediante la cocción del jugo de caña de azúcar o de la remolacha azucarera, compuesto por cristales sueltos de sacarosa sin ser sometidos a los procesos de refinación.
- Azúcar refinada: producto cristalizado constituido principalmente por cristales sueltos de sacarosa, obtenido mediante la fundición de azúcares crudos o blancos y empleando procesos industriales adecuados y propicios, por lo que deber ser de color blanco, sabor y olor característico y libre de impurezas.

- **Panela:** conocido también como un edulcorante natural ya que es obtenido mediante la concentración del jugo de la caña de azúcar, es decir el jugo es deshidratado y cristalizado mediante evaporación, por lo que para su transformación no requiere de la adición de clarificantes o algún proceso de refinación (Fiestas et al, 2013: p. 15).

Producción de etanol: comúnmente en las industrias azucareras otro de los productos que son elaborados es el alcohol etílico o etanol, el cual presenta las siguientes características: líquido incoloro e inflamable, punto de ebullición de 78°C y se caracteriza por ser el principal componente de las bebidas alcohólicas, además puede ser utilizado como desinfectante o solvente. Dentro del proceso de obtención de alcohol etílico se generan los conocidos co-productos entre ellos se tiene las mieles, bagazo, etc., (Aguilar et al, 2010: pp. 22-23; Fiestas et al, 2013: pp. 13-14).

- **Bagazo:** es el residuo agroindustrial generado en el procesamiento de la caña de azúcar, posee varios usos, entre ellos se tiene para la generación de energía eléctrica (mediante combustión directa de la biomasa a elevadas temperaturas), elaboración de asfalto (utilizado al ser molido y colado), elaboración de papel biodegradable ya que las fibras que presentan son de estructura rígida y bien definida (Aguilar et al, 2010: p. 17).
- **Mieles incristalizables o melazas:** licor madre procedente de la cristalización final del azúcar, es un líquido viscoso, denso y rico en azúcares reductores, por lo cual ha marcado la importancia en la industria azucarera debido al uso como material o sustrato y en el mercado internacional por el precio considerable que ha tenido. Constituido por una fracción de origen mineral debido a la presencia de más de 20 metales y no metales en diversas proporciones (Aguilar et al, 2010: pp. 20-21).
- **Vinazas:** es un residuo que se origina de las mieles de caña fermentadas y posteriormente destiladas, se presenta en forma de aguas residuales, es un líquido brillante, de color pardo oscuro, de naturaleza ácida, olor característico a miel de caña y sabor a malta. Se estima que por cada litro de alcohol obtenido a partir del mosto de melaza se produce entre 10 – 13 litros de vinaza, por poseer un alto contenido en agua, materia orgánica, sales, proteínas y levaduras puede ser aprovechado para diversas aplicaciones (Aguilar et al, 2010: pp. 22-23).

Producción de abonos: este tipo de productos es obtenido de la cachaza y cenichaza procedente del procesamiento de la caña de azúcar.

- **Cachaza;** llamada también como torta de filtro ya que se concentra en la etapa de filtración y clarificación, siendo el principal residuo de la industria azucarera, se produce entre 30 – 50

kg por tonelada de materia prima procesada, constituyéndose así el 3 y 5% de la caña de azúcar molida. Es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro y tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de agua, presenta elevada cantidad de materia orgánica, rico en nitrógeno, fósforo, calcio y micronutrientes (Aguilar et al, 2010: pp. 19-20).

2.3.1.6 Producción de la caña de azúcar en el Ecuador

La caña de azúcar fue introducida al país en la época colonial, cultivo que se ha mantenido y ha venido mejorando desde entonces, esta planta azucarera se dice que es originaria de la India y se adapta fácilmente a climas cálidos que cuenten con la suficiente humedad. Este sector agroindustrial es uno de los más importantes en la agricultura ecuatoriana, generando el dinamismo económico de las regiones tropicales y cálidas del país, por ser la principal fuente de materia prima para la producción de azúcar, panela, etanol, e incluso energía (Castillo y Mendoza, 2009), a esto se suma el sector papelerero ya que los desechos generados en la agroindustria son ricos en fibra, que brinda la celulosa necesaria para abastecer a este sector.

Según la Corporación Financiera Nacional (2017), menciona que el cultivo de la caña de azúcar en nuestro país se centra en Guayas y Azuay, es así en el año 2016 se han registrado 36 empresas que proveían empleo a 453 personas, lo cual abarca las empresas grandes, medianas y pequeñas; y las compañías que se dedican al procesamiento de la caña para la obtención de azúcar se encuentran de igual forma en la provincia del Guayas, en 2016 se han registrado 8 empresas, facilitando así fuentes de trabajo a 7368 personas, pues para ello se ha considerado las grandes, medianas, pequeñas y microempresas.

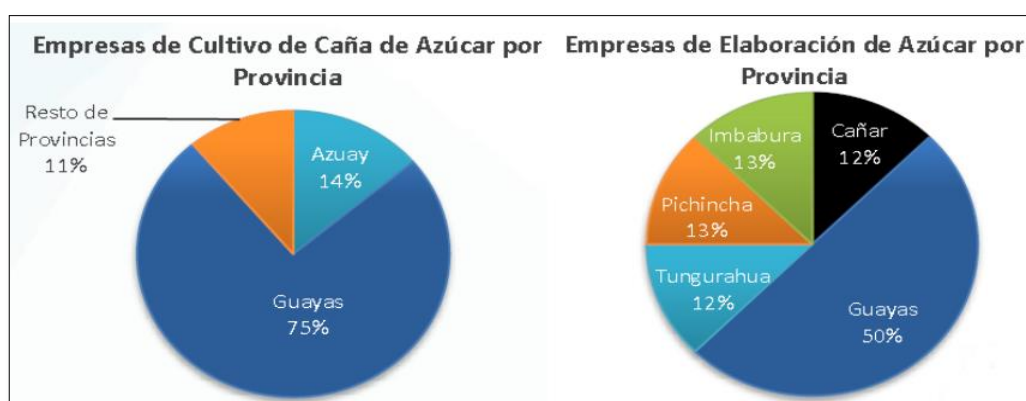


Figura 3-2: Concentración de empresas para el cultivo de caña y fabricación de azúcar

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

Las principales industrias azucareras que se encuentran en el Ecuador son: San Carlos, Valdez, La Troncal, Ecudos, IACEM, Monterrey, Isabel María; por lo general se encargan de la producción de azúcar, etanol, panela, papel, así también los co-productos que se generan en las distintas plantas de procesamiento, dichos productos son destinados a mercados nacionales e internacionales (MAGAP – FENAZUCAR, 2012).

Según la Corporación Financiera Nacional (2017), destaca que la producción de azúcar en el año 2016 asciende a \$152 millones, por lo que se evidencia que existe un crecimiento de la participación de alrededor del 20% con respecto al año 2015, tal como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3-2: Producto Interno Bruto (PIB) de la industria azucarera

Año	Producción de azúcar (millones de dólares de 2007)	PIB Total (millones USD de 2007)	Participación PIB (%)
2013	117.01	67.546,13	0,17
2014	122.70	70.243,05	0,17
2015	124.82	70.353,85	0,18
2016	152.51	690.321,41	0,22

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

- Exportaciones nacionales de azúcar que comprende períodos (2013 – octubre 2017)

Tabla 4-2: Exportaciones nacionales de azúcar 2013 – octubre 2017

Año	TON (Millones)	FOB (Millones USD)	Tonelada promedio
2013	12,12	5,40	0,45
2014	9,45	5,37	0,57
2015	8,56	7,39	0,86
2016	107,65	66,27	0,62
Oct-17	60,95	35,62	0,58
Total	198,73	120,04	0,61

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En el año 2016, la industria azucarera exportó 107,65 millones de toneladas métricas, en tanto que para el año 2017 hubo una disminución significativa con respecto al año 2016, es decir hasta octubre de ese año únicamente se ha cubierto el 57% de las exportaciones.



Figura 4-2: Cifra de exportaciones nacionales en el período 2013 – octubre 2017.

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

Además, cabe mencionar el Ecuador tiene diferentes destinos de exportación, entre los principales países de exportación son: España, Italia, Estados Unidos, Colombia, siendo este país con mayor cifra y el resto del mundo. A continuación, se indica las cifras:

Tabla 5-2: Exportaciones Nacionales de Azúcar por países 2013 – octubre 2017

Área económica destino	FOB Millones en USD					Total FOB Millones en USD
	2013	2014	2015	2016	Oct-2017	
Colombia	0,00	0,00	0,00	50,60	24,81	75,41
Estados Unidos	4,16	3,61	5,44	13,68	8,66	35,56
España	0,40	0,66	0,91	0,91	1,06	3,94
Italia	0,59	0,80	0,75	0,81	0,52	3,47
Resto del mundo	0,24	0,29	0,28	0,27	0,57	1,66
Total	5,40	5,37	7,39	66,27	35,62	120,04

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.



Figura 5-2: Cifra de exportación de azúcar por países

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

La figura 5-2, muestra que nuestro país exporta azúcar en su mayoría a Colombia con 63%, luego le sigue Estados Unidos con el 30%, España e Italia con 3% y el resto del mundo apenas el 1%.

Entre el 2013 y 2016 la producción y la superficie cosechada aumentaron en 21% y 4% respectivamente, lo que demuestra que la importancia de este cultivo va en aumento y por ende su diversificación productiva aporta a la generación de más plazas de trabajo.

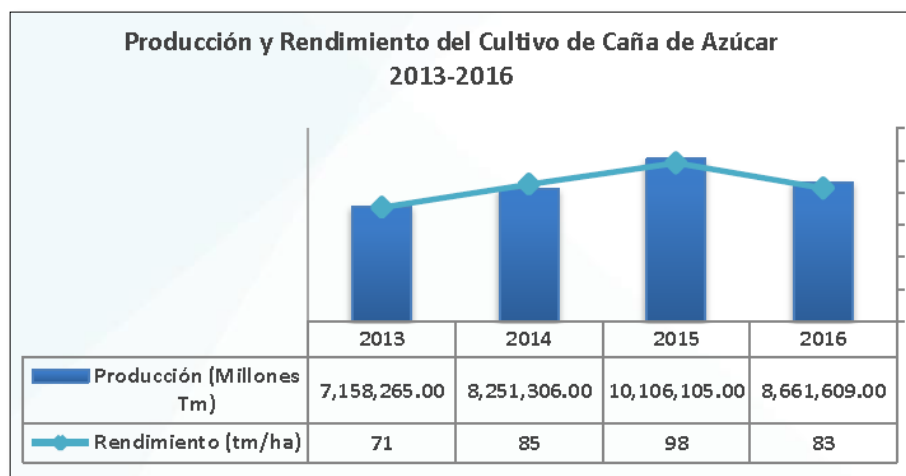


Figura 6-2: Producción y rendimiento del Cultivo de la caña de azúcar

Fuente: Corporación Financiera Nacional, 2017.

2.3.2 *Panela*



Figura 7-2: Panelas en sus diferentes presentaciones

Fuente: Quezada, 2007, pp. 44-47.

La panela es un producto obtenido del jugo concentrado de la caña de azúcar, se caracteriza por tratarse de un azúcar integral altamente nutritivo debido a la presencia de minerales, vitaminas y proteínas, presenta una coloración café claro, de sabor dulce y aroma característico, además es fuente energética por contener en gran proporción la sacarosa y en cantidades pequeñas de azúcares invertidos (Quezada, 2007, pp. 43-50).

2.3.2.1 Panela granulada

Conocida también como panela pulverizada, es un azúcar sólido en forma de cristales sueltos, de sabor dulce, de color amarillo pardo y se solubiliza en agua, se obtiene del jugo concentrado de la caña de azúcar mediante procesos de clarificación, evaporación, concentración y granulación, pues durante el procesamiento no se le adiciona ningún producto o sustancia química, es así que la panela conserva los elementos nutricionales del jugo de caña, siendo así saludable para el organismo (Quezada, 2007, pp. 44-47; Fiestas et al, 2013: p. 16).

2.3.2.2 Composición nutricional de la panela

El alto valor nutritivo de la panela se debe al contenido de elementos nutritivos tales como azúcares, minerales, vitaminas y otros componentes que aportan significativamente a la dieta del consumidor, su composición suele variar según algunos factores entre ellos se tiene la especie de caña, variedad del suelo, especificaciones agroecológicas, edad de cultivo, mecanismo de corte, manipulado y del proceso de producción en sí (Sáenz, 2013, p.30).

Tabla 6-2: Composición de la panela granulada

Componentes	Contenido
Sólidos solubles	94 - 97%
Sacarosa	83 - 89%
Azúcar reductora	0,5%
Proteínas	2.5 – 12%
Sólidos sedimentables	0.1 – 1%
Cenizas	0.8 – 1.9%
Grasa	0.9%
Minerales	
Nitrógeno	0.12%
Fósforo	50 – 65 mg
Magnesio	50 – 90 mg
Sodio	2 – 7 mg
Potasio	150 230 mg
Calcio	80 – 150 mg

Fuente: Fiestas et al, 2013: pp. 17-18.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

2.3.2.3 *Beneficios que brinda la panela granulada*

- Es fuente calórica, además ideal para fortalecer el sistema inmunológico particularmente de los niños, de manera que permite la prevención de enfermedades respiratorias, anemia y el raquitismo.
- Ayuda a combatir estados de cansancio, fatiga, resfriados y gripes, ya que aporta una cantidad significativa de energía y nutrientes, es así como por cada 100 g de panela suministra entre 310 – 350 calorías.
- Brinda mayor cantidad de elementos esenciales para el organismo.
- Es de origen natural y orgánico, de manera que se puede consumir sin ninguna restricción, garantizando de esta manera la seguridad alimentaria.
- La producción de panela es sostenible, puesto que durante el proceso de producción no se utilizan productos químicos que puedan alterar el agua, suelo y aire, es decir su contaminación es mínima en comparación con los otros procesos industriales y los residuos que genera esta industria son reciclables y aprovechadas en otros sectores productivos. (Fiestas et al, 2013: p. 18).

2.3.2.4 *Usos de la panela*

En la mayoría de los países la panela es utilizada como edulcorante natural en:

Bebidas tradicionales: como la chicha, agua de panela, guarapo, café, chocolate, bebidas que se elaboran de forma artesanal. Consiste en diluir la panela en agua o leche, estas que pueden estar calientes o frías (Fiestas et al, 2013: pp. 20-21).

Postres: empleado para rellenar diferentes tipos de alfajores y para decorar sobre panqueques, waffles, yogurts y frutas frescas especialmente plátanos y guayabas.

Otros usos: suelen emplear como endulzante para confites, siendo de esta manera el principal ingrediente que acompaña a golosinas tradicionales como maní, tostado de dulce, tostado y al turrón.

2.3.2.5 *Operaciones unitarias del proceso de producción de panela granulada*

El proceso de producción de panela granulada comprende una serie de operaciones y procesos, a continuación, se describe cada uno de ellos:

- **Recepción de la caña de azúcar**

Consiste en recibir la materia prima, por lo que es importante considerar ciertos parámetros de control a fin de garantizar la calidad e inocuidad del producto final. Principalmente el parámetro que debe analizarse es el índice de madurez, es decir los grados brix (sólidos solubles en la solución), ya que permite determinar la cantidad de azúcar aproximado presente en el jugo extraído de la caña de azúcar (Quezada, 2007, pp. 55-56).

- **Extracción de jugo**

El proceso de extracción tiene como propósito la obtención de jugo de caña, mediante la ayuda de una máquina que comúnmente se conoce como trapiche o molino horizontal, el cual está constituido por rodillos dispuestos paralelamente entre sí, y por acción de compresión sobre la caña permite la obtención de jugo, siendo este el objeto de mayor interés y como consecuencia de ello se genera un residuo semisólido conocido como bagazo, el cual posteriormente es empleado para la generación de energía mediante combustión. Cabe destacar que el tiempo máximo para la extracción del jugo es de 24 h luego del corte, evitando así la fermentación y contaminación, con la finalidad de garantizar el rendimiento del proceso de producción (Quezada, 2007, pp. 57-58; Sáenz, 2013, p.42).

- **Pre-limpieza**

Mediante decantación y filtración se permite la separación de sólidos insolubles (tierra, lodo, etc.) y por flotación el material liviano, así como bagacillos, hojas y material extraño, pues generalmente suelen utilizar un sistema prelimpiador, siendo clave en el proceso de limpieza de jugos, dicho proceso asegura que el producto final sea inocuo y de calidad (Sáenz, 2013, p.42).

- **Clarificación de jugos**

Consiste en separar los no azúcares presentes en el jugo, a través de calentamiento llevándola a temperaturas próximas a la de ebullición, tradicionalmente se adiciona mucílagos vegetales (cáscara de balso, yausabara, abrojo) con la finalidad de atrapar todos los no azúcares (gomas, ceras, grasas y pigmentos), lo cual permite mejorar el aspecto del jugo; dentro de este proceso como subproducto se genera la cachaza (Quezada, 2007, pp. 66-67).

- **Evaporación**

Operación unitaria que permite la eliminación de agua del jugo de caña en forma de vapor por medio de la ebullición, lo cual permite la obtención de una solución más concentrada, se estima que se elimina el 90% de agua. A medida que se concentra el jugo aumenta el contenido de sólidos, pues se considera que debe encontrarse cercano a 70° brix (Sáenz, 2013, p.43).

- **Concentración**

Consiste en someter al jugo de caña a temperaturas mayores al de la ebullición, ya que la temperatura influye de manera directa a la concentración de la solución, es así para la obtención de panela la temperatura debe mantenerse entre 118 – 125°C, lo cual garantiza conseguir un producto bien concentrado con sólidos solubles que oscila entre 88 – 94 °brix, logrando un producto con humedad del 7%. Cabe mencionar que para conseguir panelas duras la temperatura de concentración debe ser mucho mayor que para panelas suaves (Quezada, 2007, pp. 74-75; Sáenz, 2013, p.43).

- **Batido**

El propósito principal del batido es el enfriamiento del producto, asegurándose que no se queme, además ayuda a mejorar el color, lo cual garantiza un producto con características óptimas y adecuadas para llevarlo a las siguientes etapas (Quezada, 2007, p. 82).

- **Granulación**

Se refiere al batido que debe ser efectuado rápido y constantemente, evitando que la solución concentrada se seque y así conseguir una panela de composición homogénea (Sáenz, 2013, p.44).

- **Empaque y almacenamiento**

Una vez que el producto esté completamente frío se realiza el empacado en bolsas de polietileno, garantizando así la seguridad del producto y estas a su vez son almacenadas en un ambiente seco y limpio, pues para ello suelen recomendar un lugar con una humedad del 7%.

2.3.3 *Sacarosa*

La sacarosa es una sustancia cristalina de sabor dulce, soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol y que, junto con la lactosa, es el único disacárido que existe libre en la naturaleza. Está compuesto por una molécula de glucosa (dextrosa) y una de fructosa (levulosa), con peso molecular de 342,30 g/mol; se caracteriza por ser un sólido cristalino que carameliza a 160 °C

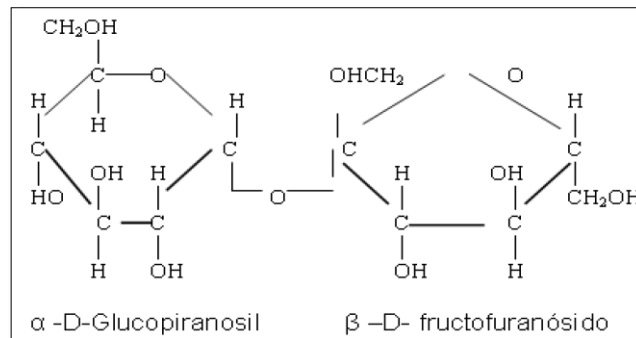


Figura 8-2: Estructura cíclica de la sacarosa

Fuente: Quezada, 2007, p.35.

2.3.3.1 Importancia de la sacarosa

La sacarosa además de ser un principal constituyente de la dieta diaria también es uno de los sustratos más interesantes para el desarrollo de nuevos compuestos de interés industrial y/o alimentario, ya sea por su abundancia y por su versatilidad de conversión a subproductos por diferentes vías de transformación físico-química, es así que es posible obtener los siguientes productos:

- Sucro-éteres: destinado a la producción de poliuretanos.
- Sucro-esteres: destinado como tensoactivos y en otras situaciones como biocidas.
- Poliésteres de ácidos grasos (Productos FOS): destinado al empleo en dietas hipocalóricas, que previenen los incrementos del colesterol (Larrahondo, 2008).

2.3.4 Azúcares reductores

Un azúcar reductor es un tipo de carbohidrato o azúcar natural que contiene un grupo aldehído o cetona libre, que puede reaccionar como reductores con otras moléculas. El monosacárido reductor más importante es la glucosa. En el cuerpo, la glucosa se conoce como azúcar en la sangre, porque es esencial para la función cerebral y la energía física. La fructosa, galactosa, y maltosa son tipos de azúcares reductores, siendo la fructosa el más dulce de todos los monosacáridos (Larrahondo, 2008).

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

El diseño del proceso industrial para la planta de producción de la ASOCAP donde se desarrollará todas las actividades, operaciones y procesos pertinentes es un proyecto de Tipo Técnico, permitirá la transformación de la caña de azúcar para tener un producto de alto valor agregado, fomentando la industrialización y el fortalecimiento de este sector productivo.

3.2 Métodos y técnicas

3.2.1 *Métodos*

Al trabajar con proyectos de diseño, se requiere profundizar los conocimientos de ingeniería tanto de la parte teórica y práctica, donde permita la manipulación de variables, uso de materiales y equipos hasta conseguir los objetivos planteados. Los métodos por utilizar son los siguientes:

- **Método Inductivo**

Método científico que parte de observaciones de hechos particulares para obtener conclusiones generales, ya que permite recabar información a partir de observaciones de las diferentes operaciones y procesos, la experticia de los productores artesanales y nuestro criterio técnico en conjunto definirá los parámetros y dimensionamientos del diseño del proceso industrial.

- **Método Deductivo**

Este método ayuda a generar información útil para el diseño, partiendo de conceptos generales hasta lograr los objetivos propuestos, utilizando fundamentos científicos, en nuestro caso la Química General, Química Orgánica, Análisis Instrumental, Química Analítica, y otras ciencias que aporten al diseño como la Ingeniería de Plantas, Cálculos Básicos, Operaciones Unitarias y Control de Procesos que facilitan las herramientas necesarias para el dimensionamiento y desarrollo adecuado del proceso industrial propuesto.

- **Método Experimental**

Este método de investigación es ideal para obtener un estudio preliminar del diseño en el menor tiempo y a bajo costo. Tiene la finalidad de documentar varios ensayos, que permitirán determinar el método adecuado para realizar el diseño del proceso industrial

3.2.2 Técnicas

Las técnicas y procedimientos para la producción de panela granulada se diseñarán en base a las experimentaciones y observaciones durante el desarrollo de la investigación.

Tabla 1-3: Determinación de los grados brix

Fundamento	Los grados brix determinan la cantidad de sólidos totales presentes en el jugo de caña. Mide el porcentaje en masa de la sacarosa contenida en una solución acuosa, es decir mide la concentración de azúcar presente en los alimentos.
Equipo	Refractómetro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Gotero - Espátula - Vaso de precipitación de 100 ml
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Encender el equipo y asegurarse que se encuentre calibrado. - Colocar una gota de muestra en el lente de medición. - Esperar unos segundos hasta que se expanda la muestra. - Leer el valor del ° brix.
Cálculo	Lectura directa

Fuente: Laboratorio de Control y análisis de alimentos, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Tabla 2-3: Determinación de pH

Fundamento	Permite determinar el grado de acidez o alcalinidad del jugo.
Método	Potenciométrico
Equipos	pH – metro
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Vasos de precipitación de 500 ml. - Varilla de agitación.
Reactivo	<ul style="list-style-type: none"> - Soluciones buffer de pH 4, 7 y de 10. - Agua destilada. - Muestra de jugo de caña.
Procedimiento	<p>Preparación de la muestra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar 100 ml de jugo fresco de caña en un vaso de precipitación. - Agitar suavemente el jugo de caña. <p>Determinación de pH:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Encender el pH-metro y asegurarse que esté calibrado.

	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar el electrodo empleando agua destilada. - Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra. - Presionar leer y esperar hasta que se estabilice. - Anotar los resultados.
Cálculos	Lectura directa

Fuente: Laboratorio de Control y análisis de alimentos, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Tabla 3-3: Determinación de humedad

Fundamento	Consiste en determinar la pérdida de peso que sufre la muestra de jugo de caña al someter a una temperatura y tiempo adecuado de secado, al emplear una estufa.
Método	Gravimétrico
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Estufa - Desecador - Balanza analítica
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Cápsula de porcelana - Pinza
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar una cápsula limpia y vacía en la estufa a 105 °C durante 45 min. - Retirar la cápsula y colocar de inmediato en el desecador por 30 min aproximadamente o hasta alcanzar a temperatura ambiente. - Pesar la cápsula vacía y repetir el mismo procedimiento hasta alcanzar un peso constante. (Peso A). - Colocar en la cápsula entre 5 - 10 g de muestra de jugo. (Peso B). La muestra de jugo debe estar completamente homogenizada. - Introducir la cápsula con la muestra en la estufa y dejar a una temperatura de 70 °C durante 1 h. - Habiendo transcurrido el tiempo establecido retirar la cápsula y colocar en el desecador por 30 min aprox. - Pesar cuando esté frío. - Realizar el mismo procedimiento por períodos de 30 min hasta que la cápsula con la muestra alcance un peso constante. (Peso C) - Efectuar los cálculos correspondientes.
Cálculo	$\%H = \frac{(B - A) - (C - A)}{(B - A)} * 100\%$ <p>Dónde:</p> <p>A: Peso de la cápsula tarada, (g).</p> <p>B: Peso de la cápsula tarada + la muestra de jugo, (g).</p> <p>C: Peso de la cápsula + la muestra seca, (g).</p> <p>Nota: se recomienda realizar por triplicado, a fin de que garantice la veracidad de los resultados.</p>

Fuente: Laboratorio de Control y análisis de alimentos, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Tabla 4-3: Determinación de densidad

Fundamento	Es la propiedad que permite determinar el grado de compactación de una sustancia o material, mediante el cociente entre la masa de una sustancia y el volumen que ocupa.
Método	Picnometría
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> - Picnómetro - Reverbero - Balanza analítica
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> - Vaso de precipitación - Varilla de agitación - Agua destilada
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Pesar el picnómetro limpio y seco. (Peso 1) - Llenar la muestra de jugo de caña en el picnómetro, evitar que no se formen burbujas de aire y tapan. - Pesar el picnómetro con la muestra. (Peso 2). - Anotar los valores.
Cálculo	$d = \frac{m_2 - m_1}{V_m}$ <p>Dónde:</p> <p>d: Densidad del jugo de caña, (g/ml).</p> <p>m_1: Masa de picnómetro vacío, (g).</p> <p>m_2: Masa de picnómetro + muestra de jugo de caña. (g).</p> <p>V_m: Volumen de muestra de jugo de caña, (ml).</p> <p>Nota: se recomienda realizar por triplicado, a fin de que garantice la veracidad de los resultados.</p>

Fuente: NTE INEN 0391, 1986.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.3 Muestreo y caracterización de materia prima

3.3.1 Muestreo de materia prima

Previo al muestreo del jugo de caña se realizó la selección del lote de caña a ser procesada, pues para ello se efectuó el muestreo aleatorio simple directamente de los cultivos que disponen los socios de la ASOCAP, siendo importante determinar el índice de madurez (°brix) basándose en el color de hojas, grosor y color del tallo, el tiempo de vida de la caña (15 – 18 meses), y entre otros factores. Cabe mencionar que se siguió los protocolos y normas que maneja la planta de procesamiento de la asociación.

Una vez extraído el jugo de caña se tomó 750 ml de muestra del tanque de recolección de jugo, previo a ello se realizó una agitación suave del jugo con la finalidad de garantizar que la muestra

tomada sea representativa. Además se etiquetó indicando el nombre del responsable, fecha, hora, lugar y tipo de muestra. Cabe mencionar que actualmente no existe una norma para el muestreo de jugo de caña, por lo que como referencia se utilizó la Norma General del Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas, CODEX STAN 247-2005, protocolos que se propondrá manejar en la asociación y las técnicas de muestreo para líquidos.

3.3.2 Caracterización de materia prima

A fin de conocer la calidad del jugo de caña de azúcar obtenido, se realizó la caracterización, para ello se consideró las características físicas como color, olor, sabor, y aspecto; las características químicas como pH, densidad y °brix, siendo las más significativas para el proceso, dicha muestra se envió al Laboratorio de Servicios de Análisis Químicos y Microbiológicos (SAQMIC) de la ciudad de Riobamba. Los resultados se detallan en el capítulo IV.

3.4 Ensayos a nivel de laboratorio para la elaboración de panela granulada

Los ensayos realizados a nivel de laboratorio se sustentan en revisión bibliográfica y artículos relacionados a la producción de panela granulada, cuyo objetivo es determinar el proceso industrial más idóneo, establecer las variables y parámetros más importantes que hay que considerar durante el proceso de producción.

3.4.1 Materia prima, materiales y equipos para la producción de panela granulada

El proceso de elaboración de panela granulada requiere de la disponibilidad de ciertos materiales y equipos que permitan llevar a cabo este fin. A continuación, se describe cada uno de ellos:

Tabla 5-3: Materia prima para el proceso de producción

Materia prima
Caña de azúcar (<i>Saccharum Officinarum</i>).

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Tabla 6-3: Materiales y equipos para la obtención de panela granulada

Materiales	Equipos
- Termómetro	- Desfibrador
- Lienzos	- Molino eléctrico
- Paletas	- Prelimpiador
	- Caldera
	- Clarificador

	<ul style="list-style-type: none"> - Evaporador - Refractómetro - Termómetro Industrial - pH-metro
--	--

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.4.2 Descripción del proceso de producción de panela granulada

3.4.2.1 Selección de la caña de azúcar



Figura 1-3: Cultivo de la caña de azúcar

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Se inició con la selección del lote de caña de azúcar, siendo esencial para el proceso de producción ya que permite definir la calidad de materia prima, por lo que fue necesario determinar ciertos factores que definen para que la caña pueda ser cosechada, en este caso se analizó principalmente el índice de madurez ideal, el cual consiste en determinar el °brix que presenta la caña, puesto que este parámetro permite medir la concentración de sacarosa. Además, se consideró el color de hojas, grosor del tallo, el tiempo de vida de la caña (15 – 18 meses), y entre otros factores.

Por lo general, para la producción de panela suelen utilizar caña de azúcar madura debido la obtención de jugos con mayor concentración de sólidos solubles (debe estar entre 20 - 24 °brix). Posteriormente la caña es cortada y transportada hasta la planta de la ASOCAP.

3.4.2.2 Recepción de la materia prima (caña de azúcar)

La caña de azúcar procedente del cañaveral es recibida en las instalaciones de la planta, dicha materia prima debe cumplir con las especificaciones establecidas, puesto que si la caña presenta sobre-maduración o son tiernas afectarían directamente la calidad del producto final. El parámetro de mayor relevancia y que debe analizarse es el grado de madurez (°brix). Se recomienda no

almacenar la caña de azúcar cosechada por más de 24 h luego de la etapa de corte. Previo al proceso de producción se realiza el pesaje con el propósito de llevar un control estricto del proceso.

3.4.2.3 Selección y limpieza

Consiste en clasificar la caña, lo que permite conseguir una materia prima de calidad y en óptimas condiciones para llevarla al proceso. Posteriormente se realizó la limpieza de caña para garantizar la inocuidad de esta, de manera que permita eliminar las impurezas y material extraño adherido a la caña.

3.4.2.4 Desfibrado de la caña

El desfibrado tiene como propósito ablandar la caña de azúcar para elevar la eficiencia del proceso de molienda.

3.4.2.5 Molienda y extracción del jugo



Figura 2-3: Molienda y extracción de jugo

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Es la operación que permite la obtención de jugo de caña con la ayuda de un molino eléctrico o conocido también como trapiche, que permite la extracción del jugo, producto de la molienda se genera un residuo conocido como bagazo. El jugo de caña es el producto de mayor interés para el presente estudio puesto que se constituye como la materia prima para la producción de panela granulada. La extracción del jugo de caña debe llevarse a cabo en el menor tiempo posible, lo que permitirá evitar la fermentación.

3.4.2.6 Filtración del jugo de caña

Consiste en la limpieza del jugo fresco de caña, para lo cual se emplea un prelimpiador que está constituido por filtros en acero inoxidable, permitiendo así la retención de sólidos insolubles como tierra, arena, lodo, etc., y por flotación se logra extraer materiales livianos como bagacillos y materias extrañas. Esta etapa evita el uso de clarificadores químicos.

3.4.2.7 Clarificación del jugo de caña

El jugo previamente limpio pasa a una marmita, el cual es calentado hasta alcanzar una temperatura de 55 °C, posteriormente cuando el jugo alcance la temperatura entre 75 – 80°C se añaden mucílagos vegetales con la finalidad de clarificar y extraer todo tipo de materias orgánicas que no sean azúcares, así como ceras, grasas, gomas, pigmentos y entre otros, a esta capa que flota en la superficie del recipiente se le conoce como cachaza. Actualmente la planta de la ASOCAP no utiliza ningún insumo o aditivo para este proceso, obteniéndose un producto 100% de origen orgánico y natural.

El objetivo principal de la clarificación es la separación de los no azúcares presentes en el jugo de caña mediante el calentamiento, con lo cual se logra obtener un producto con mejor apariencia.

3.4.2.8 Evaporación

Es aquella operación que permite la eliminación del 70% de agua presente en el jugo, dicho efecto se da cuando hay cambio de fase, de estado líquido a vapor mediante ebullición dando lugar a la generación de una solución más concentrada.



Figura 3-3: Evaporado del jugo de caña

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

La concentración de sólidos debe alcanzar valores cercanos a los 70 °brix, por lo que la temperatura de ebullición de la solución azucarada influye de manera directa, es decir a mayor punto de ebullición de la solución se obtiene mayor concentración del jugo.

3.4.2.9 *Concentración*



Figura 4-3: Concentrado del jugo de caña

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

El jugo de caña concentrado procedente de la etapa anterior es sometida a temperaturas mayores al de ebullición, así pues, para la obtención de panela debe alcanzar una temperatura que oscile entre 118 – 125°C, asegurándose que la concentración de sólidos solubles alcance valores entre 88 – 94 °brix lo que permite la obtención de un producto con menor % de humedad. Por lo general, la temperatura más idónea para el proceso es de 118°C.

3.4.2.10 *Batido y enfriado*



Figura 5-3: Batido de la panela

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

La miel concentrada es colocada en recipientes y con la ayuda de una paleta o cuchara larga se bate para evitar que se queme, enfriar el producto y de manera especial mejorar el color, esto gracias a la oxigenación que se le da.

3.4.2.11 Granulación



Figura 6-3: Granulado de panela
Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Consiste en seguir batiendo la mezcla, pero de manera rápida y constante hasta alcanzar una homogeneidad de la panela, se deja enfriar durante 10 min y luego se empieza con el mismo procedimiento para obtener una granulometría adecuada.

3.4.2.12 Pulverizado

Esta etapa consiste en reducir las partículas de panela más gruesas a pequeñas con la finalidad de conseguir la uniformidad del producto.



Figura 7-3: Pulverizado de panela
Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.4.2.13 Tamizado



Figura 8-3: Tamizado de panela

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Habiendo conseguido la panela pulverizada se procede al tamizado que consiste en hacer pasar el producto por un tamiz, lo que permite obtener un producto de granulometría definida. En este caso, el diámetro de las partículas puede variar entre 1 – 2.5 mm, siendo ideal y de fácil disolución en líquidos y uso instantáneo, además cabe recalcar que se constituye como una alternativa viable para posicionarse en los mercados, alcanzar nuevos estratos de consumidores que pueden ser domésticos o industriales.

Según la norma NTE INEN 2332: 2002. Panela granulada. Requisitos indica que debe pasar por un tamiz número 14, de abertura 1,40 mm, esto para panela granulada extra.

3.4.2.14 Empacado



Figura 9-3: Empacado de la panela granulada

Realizado por: Constante León, Amador, 2019.

Finalmente se realizó el envasado del producto en bolsas de polietileno asegurando la protección del producto contra la acción de agentes externos que puedan alterar sus características fisicoquímicas, así también la resistencia a las condiciones durante el manejo, transporte y almacenamiento, pues para la comercialización se efectuó en presentaciones de 1 kg. Cabe mencionar que el producto contiene la etiqueta correspondiente en el cual se encuentra descrito la información nutricional.

3.4.2.15 Almacenamiento

El producto terminado es almacenado en un ambiente fresco para garantizar la seguridad e inocuidad del producto sin que adquiera humedad.

3.5 Operaciones unitarias del proceso de obtención de panela granulada

El proceso de producción de panela granulada requiere de una serie de operaciones unitarias, entre las más destacadas son las siguientes:

3.5.1 Filtración

La filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un líquido (jugo de caña), permitiendo el paso del fluido a través de un medio filtrante sobre el cual quedan retenidos los sólidos (restos de hojas y bagacillos de caña). En este caso se lleva a cabo mediante la utilización de prelimpiadores que están constituidos por una serie de filtros en material de acero inoxidable.

3.5.2 Sedimentación

La sedimentación es la separación de sólidos suspendidos que se encuentran presentes en el jugo de la caña y por efecto de la gravedad descienden hacia el fondo del recipiente que lo contiene.

3.5.3 Evaporación

La evaporación es la operación que permite la eliminación del agua que se encuentra presente en el jugo de caña dando lugar a la obtención de una solución concentrada, dicho efecto se da a través del cambio de fase, al pasar de estado líquido a vapor mediante ebullición. La temperatura que debe mantenerse durante este proceso es la de ebullición y la concentración se mide en °brix, el cual debe alcanzar los 70°brix.

3.5.4 Tamizado

Es aquella operación que permite definir la granulometría del producto final.

3.6 Variables y parámetros de proceso para la obtención de panela granulada

El control de variables y parámetros en el proceso de obtención de panela granulada es determinante en la calidad y el rendimiento del producto final, donde la temperatura y concentración se relacionan de manera directa, constituyéndose así la vía ideal para efectuar el control respectivo.

Tabla 7-3: Variables y parámetros de proceso

Variables	Tipo de variable	Concepto	Método de medición	Etapas del proceso	Parámetros
Índice de madurez (°brix)	Dependiente	Mide la concentración de sacarosa presente en un fruto.	Refractómetro	Jugo natural	20°brix
				Evaporación	70°brix
				Concentración	84 – 92°brix
Temperatura	Independiente	Mide el nivel térmico de los cuerpos.	Termómetro	Clarificación	55°C
				Evaporación	98°C
				Concentración	118 – 125°C
Tiempo	Dependiente	Duración de los diferentes procesos.	Cronómetro	Molienda	45 min
				Clarificado	30 min
				Evaporado	30 min
				Concentrado	25 min
				Enfriado	10 min
				Granulado	10 min
pH	Dependiente	Mide la acidez o basicidad de una solución.	Potenciométrico	Molienda	5,41
				Granulado	5,93
Granulometría	Dependiente	Se refiere al tamaño de las partículas de un sólido.	Tamiz y número de malla	Tamizado	95 - 99% Numero de tamiz 14.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.7 Cálculos de Ingeniería

El balance de masa y energía son factores indispensables para el diseño de un proceso industrial, ya que permite contabilizar el material que entra y sale del sistema, así también la cantidad de

energía que hay que suministrar y la que se genera durante el proceso, así pues su adecuado uso puede generar beneficios económicos y ambientales.

El balance es efectuado para procesar la cantidad de 1000 kg de caña por lote, esto conforme a la capacidad y necesidad de la planta de producción.

3.7.1 Balance de masa

El balance de masa permite contabilizar el material que interviene en el proceso de conversión de caña de azúcar hasta la obtención de panela granulada, pues para ello se aplica la “Ley de conservación de masa” mediante la siguiente ecuación:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Entrada de} \\ \text{productos} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Generación de} \\ \text{materia} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Salida de} \\ \text{productos} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Acumulación de} \\ \text{materia} \end{array} \right\}$$

Por tratarse de un proceso en estado estacionario y considerando que no hay generación y acumulación de materia, la ecuación anterior queda expresado de la siguiente manera:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

Operaciones de acondicionamiento preliminar

- **Recepción de materia prima**



$$C_C = C_R$$

$$C_S = 1000 \text{ kg}$$

Dónde:

C_C : Flujo másico de caña cruda, (kg/lote).

C_R : Flujo másico de caña receptada, (kg/lote).

- **Selección y limpieza de caña**

Mediante pruebas realizadas en la etapa de selección y limpieza de caña, se estima que hay una pérdida del 2%.



$$C_R = C_L + R_L$$

$$C_L = 1000 \text{ kg} - 20 \text{ kg}$$

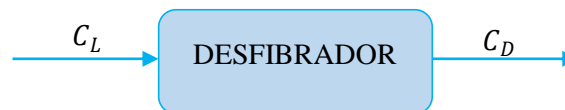
$$C_L = 980 \text{ kg}$$

Dónde:

C_L : Flujo másico de caña seleccionada y limpia, (*kg/lote*).

R_L : Flujo másico de residuos generados, (*kg/lote*).

- **Desfibrado**



$$C_L = C_D$$

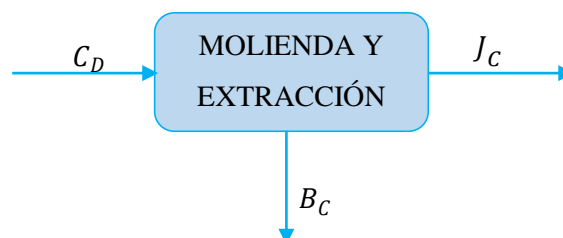
$$C_L = 980 \text{ kg}$$

Dónde:

C_D : Flujo másico de caña desfibrilada, (*kg/lote*).

Operaciones unitarias

- **Molienda y extracción**



$$C_D = J_C + B_C$$

$$J_C = (980 - 320) \text{ kg}$$

$$J_C = 660 \text{ kg/lote}$$

Dónde:

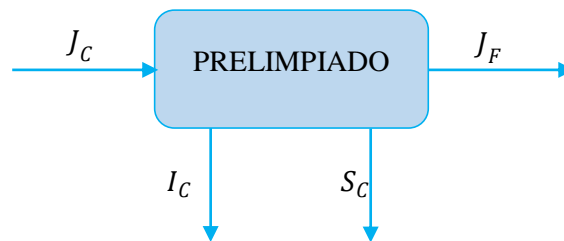
J_C : Flujo másico de jugo de caña crudo, (*kg/lote*).

B_C : Flujo másico de bagazo de caña, ($kg/lote$).

El rendimiento de la etapa de molienda y extracción es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{660 \text{ Kg/lote}}{980 \text{ Kg/lote}} * 100\%$$
$$\text{Rendimiento} = 67,3\%$$

- **Prelimpiado**



$$J_C = J_F + I_C + S_C$$
$$J_F = (660 - 5 - 2)kg$$
$$J_F = 653 \text{ kg/lote}$$

Dónde:

J_F : Flujo másico de jugo de caña filtrada, ($kg/lote$).

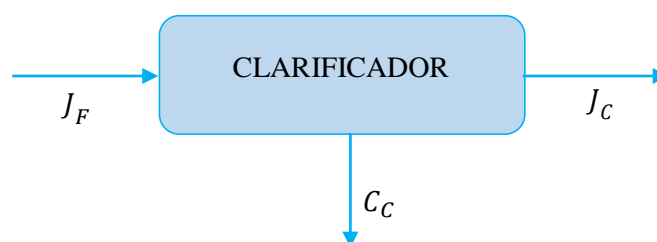
I_C : Flujo másico de impurezas, ($kg/lote$). Dato obtenido experimentalmente (5 kg).

S_C : Flujo másico de sedimentos, ($kg/lote$). Dato obtenido experimentalmente (2 kg).

El rendimiento de la etapa de filtrado es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{653 \text{ Kg/lote}}{660 \text{ Kg/lote}} * 100\%$$
$$\text{Rendimiento} = 98.9\%$$

- **Clarificador**



$$J_F = J_C + C_C$$

$$J_C = (653 - 21) \text{ kg}$$

$$J_C = 632 \text{ kg/lote}$$

Dónde:

J_C : Flujo másico de jugo clarificado, (kg/lote).

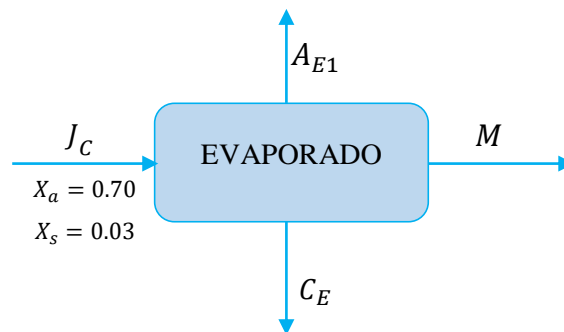
C_C : Flujo másico de cachaza extraída en la etapa de clarificación, (kg/lote). Dato obtenido experimentalmente (21 kg).

El rendimiento de la etapa de clarificado es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{632 \text{ Kg/lote}}{653 \text{ Kg/lote}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 96.8\%$$

- **Evaporado**



$$J_C = M + C_E + A_{E1}$$

Dónde:

M : Flujo másico de meladura, (kg/lote).

C_E : Flujo másico de cachaza etapa de evaporación, (kg/lote).

A_{E1} : Flujo másico de agua evaporada etapa de evaporación, (kg/lote).

Balance de masa por componente: agua

$$J_C * X_{JC} = A_{E1} * X_{AE1}$$

$$A_{E1} = \frac{J_C * X_a}{X_{AE1}}$$

$$A_{E1} = \frac{632 \text{ kg} * 0,70}{1}$$

$$A_{E1} = 442,4 \text{ kg/lote}$$

Balance de masa para la cachaza extraída

$$J_C * X_{CC} = C_E * X_{CE}$$

$$C_E = \frac{J_C * X_{CC}}{X_{CE}}$$

$$C_E = \frac{632 \text{ kg} * 0,03}{1}$$

$$C_E = 18,96 \text{ kg/lote}$$

Por lo tanto, el flujo másico de la meladura queda:

$$M = (632 - 442,4 - 18,96) \text{ kg}$$

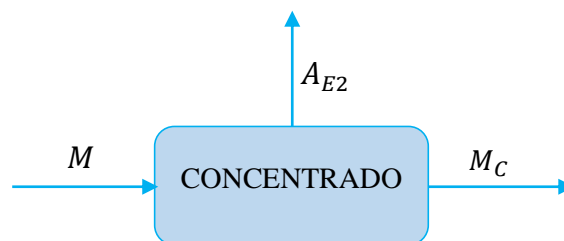
$$M = 170,64 \text{ kg/lote}$$

El rendimiento de la etapa de evaporado es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{170,64 \text{ Kg/lote}}{632 \text{ Kg/lote}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 27\%$$

- **Concentrado**



$$M = M_C + A_{E2}$$

Dónde:

M_C : Flujo másico de miel concentrado, (kg/lote).

A_{E2} : Flujo másico de agua evaporada etapa de concentración, (kg/lote).

Balance por componente: agua

$$M * X_{Ma} = A_{E2} * X_{AE2}$$

$$170,64 * 0,30 = A_{E2} * 1$$

$$A_{E2} = 51,19 \text{ kg/lote}$$

Por lo tanto, el flujo másico de miel concentrada queda:

$$M_C = (170,64 - 51,19) \text{ kg}$$

$$M_C = 119,45 \text{ kg/lote}$$

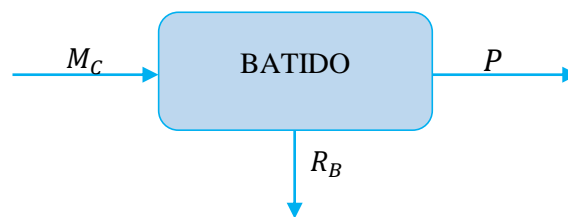
El rendimiento de la etapa de concentrado es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{119,45 \text{ Kg/lote}}{170,64 \text{ Kg/lote}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 70\%$$

- **Batido**

Mediantes los ensayos realizados se estima que hay una pérdida del 0,5%, debido a la adherencia en la paleta y paredes del recipiente.



$$M_C = P + R_B$$

$$P = (119,45 - 0,60) \text{ kg}$$

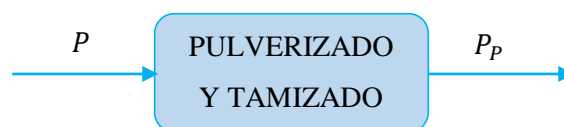
$$P = 118,85 \text{ kg/lote}$$

Dónde

P : Flujo másico de panela, (kg/lote).

R_B : Flujo másico de residuo etapa de batido, (kg/lote).

- **Pulverizado y tamizado**



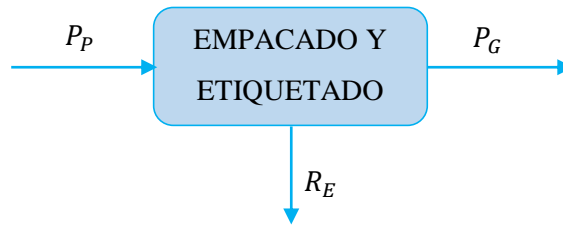
$$P = P_P$$

$$P_P = 118,85 \text{ kg /lote}$$

Dónde

P_P : Flujo másico de panela pulverizada y tamizada, (kg/lote).

- **Empacado y etiquetado**



$$P_P = P_G + R_E$$

$$P_G = (118,85 - 0,24) \text{ kg/lote}$$

$$P_G = 118,61 \text{ kg/lote}$$

Dónde

P_G : Flujo másico de panela granulada, (kg/lote).

R_E : Flujo másico de residuo etapa de empaquetado, (kg/lote).

- **Rendimiento del proceso final**

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Flujo másico de panela granulada}}{\text{Flujo másico de caña de azúcar}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{118,61 \text{ Kg/lote}}{1000 \text{ Kg/lote}} * 100\%$$

$$\text{Rendimiento} = 11,9\%$$

- Balance global de masa del proceso de producción de panela granulada

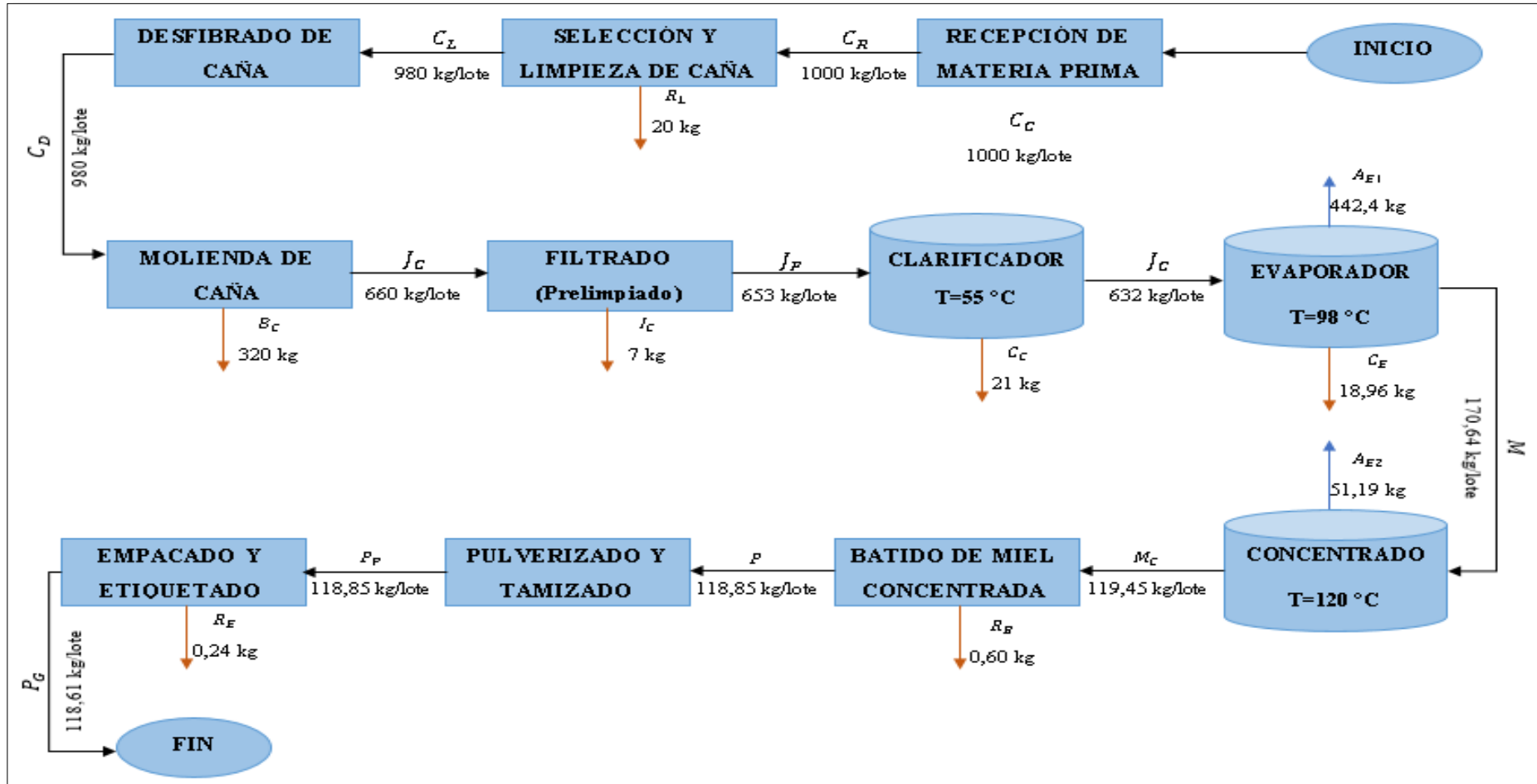


Gráfico 1-3: Balance global de masa del proceso de producción de panela granulada

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.7.2 Balance de energía

El balance de energía permite determinar el aporte y consumo de energía en un sistema, garantizando así alcanzar la producción, recuperación y el uso eficiente de calor, así también establecer el consumo de combustible y calcular la cantidad de energía mecánica necesaria. Por tanto, se aplica la “Ley de conservación de energía” mediante la siguiente expresión:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

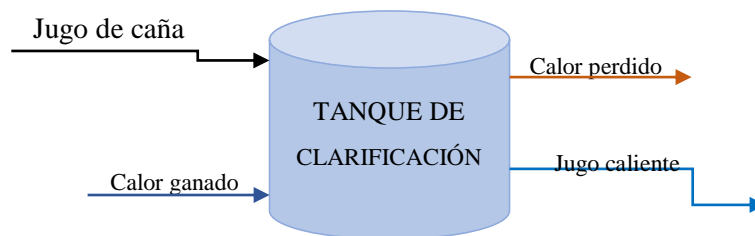
La energía total de un sistema se expresa en tres formas de energía, así como la energía cinética, potencial e interna, considerando la ecuación anterior se tiene:

$$\Delta U + \cancel{\Delta E_k} + \cancel{\Delta E_p} = Q - \cancel{W}$$

Para un sistema en estado estacionario, la ecuación anterior queda de la siguiente manera:

$$\Delta U = Q$$

3.7.2.1 Balance de energía para el tanque de clarificación



$$Q_{ganado} = Q_{perdido}$$

$$Q_{JF} = Q_M + Q_C$$

Dónde:

Q_{JF} : Flujo de calor necesario para calentar el jugo de caña, (KW).

Q_M : Flujo de calor retenido en la pared del recipiente, (KW).

Q_C : Flujo de calor suministrado por la caldera, (KW).

- **Calor necesario para calentar el jugo de caña**

$$Q_{JF} = \dot{m}_{JF} * C_{p_{JF}} * (T_c - T_a)$$

Dónde:

\dot{m}_{JF} : Flujo másico de alimentación que ingresa al tanque de clarificación, (kg/s).

$C_{p_{JF}}$: Capacidad calorífica del jugo de caña a 25°C, (KJ/kg * °C).

T_c : Temperatura de clarificado, (°C).

T_a : Temperatura de alimentación, (°C). Corresponde a la temperatura ambiente del Puyo, siendo de 25°C.

Capacidad calorífica del jugo de caña de azúcar

Según el modelo matemático establecidos por (Pena, 2009) se tiene la siguiente expresión:

$$C_{p_{JF-25^{\circ}C}} = 3,228 - 0,03 SST + 0,226 \ln(T)$$

$$C_{p_{JF-25^{\circ}C}} = 3,228 - 0,03(19,8) + 0,226 \ln(25)$$

$$C_{p_{JF-25^{\circ}C}} = 3,361 \frac{J}{g * ^{\circ}C} = 3,361 \frac{KJ}{kg * ^{\circ}C}$$

Dónde:

SST : Sólidos solubles totales o Grados brix. Dato obtenido de manera experimental (Ver Anexo A).

T : Temperatura del jugo de caña a 25 °C.

Por lo tanto, el calor necesario para calentar el jugo de caña es:

$$Q_{JF} = 0,544 \frac{kg}{s} * 3,361 \frac{KJ}{kg * ^{\circ}C} (55 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{JF} = 54,852 \frac{KJ}{s} = 54,852 KW$$

- **Calor retenido en la pared del recipiente**

$$Q_M = k * A_{tp} * \frac{(T_c - T_a)}{(r_o - r_i)}$$

Dónde:

k : Coeficiente de transmisión térmica del material, ($W/m.K$). Dato obtenido de la tabla A-3-16 de (Geankoplis, 1998, p. 972) para acero inoxidable 304.

A : Área de transferencia de calor del tanque clarificación, (m^2).

r_o : Radio externo del tanque de clarificación, (m).

r_i : Radio interno del tanque de clarificación, (m).

Área de transferencia de calor

$$A_{tp} = 2\pi * r_{tp} * h_{tp}$$
$$A_{tp} = 2\pi * (0,50 \text{ m}) * (0,96 \text{ m})$$
$$A_{tp} = 3,02 \text{ m}^2$$

Dónde:

r_{tp} : Radio del tanque de clarificación, (m).

h_{tp} : Altura del tanque de clarificación, (m).

Por lo tanto, el calor retenido en la pared del recipiente es:

$$Q_M = 16,3 \frac{W}{m * K} * 3,02 \text{ m}^2 * \frac{(328 - 298) K}{(0,60 - 0,50) m}$$
$$Q_M = -14767,8 W = -14,767 KW$$

- **Calor suministrado por la caldera**

$$Q_C = Q_{JF} - Q_M$$
$$Q_C = (54,852 - 14,767) KW$$
$$Q_C = 40,085 KW$$

- **Coeficiente global de transferencia de calor**

$$Q_{JF} = U * A_{tp} * \Delta T$$
$$U = \frac{54,852 KW}{3,02 \text{ m}^2 * (55 - 25)^\circ C}$$
$$U = 0,61 KW/m^2 * ^\circ C$$

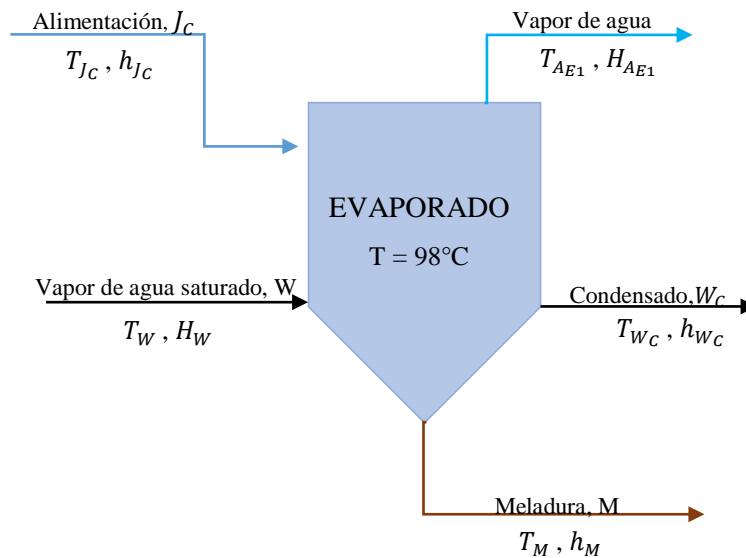
Dónde:

U : Coeficiente global de transferencia de calor, ($KW/m^2 * ^\circ C$).

A_{tp} : Área de transferencia de calor del tanque de clarificación, (m^2).

ΔT : Variación de temperatura, ($^\circ C$).

3.7.2.2 Balance de energía en el evaporador



- **Cálculo del área de transferencia de calor en el evaporador**

$$A_e = 2\pi * r_e * h_e$$
$$A_e = 2\pi * (0,50 \text{ m}) * (0,98 \text{ m})$$
$$A_e = 3,08 \text{ m}^2$$

Dónde:

r_e : Radio del evaporador, (m).

h_e : Altura del evaporador, (m).

- **Cálculo de flujo de calor**

$$Q_e = W * \lambda_W$$

Dónde:

Q_e : Flujo de calor en el evaporador, (Kcal/h).

W : Flujo de vapor, (kg/h).

λ_W : Calor latente de vaporización, (Kcal/kg).

- **Calor latente de vaporización**

$$\lambda_W = H_W - h_W$$

Dónde:

H_W : Entalpía de vapor saturado a 98°C, (Kcal/kg).

h_W : Entalpía de vapor de agua condensada a 35°C, (Kcal/kg).

Para determinar las entalpías se recurre a la tabla A.2-9: Propiedades del vapor saturado y del agua (Geankoplis, 1998, p. 946)

Entalpía de vapor saturado

$$H_W(98^\circ C) = 2672,9 \frac{KJ}{kg} = 638,838 \frac{Kcal}{kg}$$

Entalpía de vapor de agua condensado

$$h_W(35^\circ C) = 146,683 \frac{KJ}{kg} = 35,058 \frac{Kcal}{kg}$$

Por lo tanto, el calor latente de vaporización es:

$$\lambda_W = (638,838 - 35,058) Kcal/kg$$

$$\lambda_W = 603,78 Kcal/kg$$

- **Flujo de vapor**

$$Q_{entra} = Q_{sale}$$

$$J_C * h_{J_C} + W * H_W = M * h_M + A_{E1} * H_{A_{E1}} + W * h_W$$

$$W = \frac{M * h_M + A_{E1} * H_{A_{E1}} - J_C * h_{J_C}}{\lambda_W}$$

Dónde:

J_C : Flujo másico de jugo clarificado, (kg/h).

W : Vapor de agua que ingresa a la cámara de calefacción,

M : Flujo másico de meladura, (kg/h).

A_{E1} : Flujo másico de agua evaporada etapa de evaporación, (kg/h).

h_{JC} : Entalpía de jugo clarificado a temperatura T_{JC} , ($Kcal/kg$).

h_M : Entalpía de meladura a temperatura T_M , ($Kcal/kg$).

H_{AE1} : Entalpía de agua evaporada a la temperatura T_{AE1} , ($Kcal/kg$).

Entalpía de alimentación

Las entalpías de alimentación y líquido concentrado se pueden estimar mediante sus calores específicos (Geankoplis, 1998, pp.554).

$$h_{JC} = Cp_{JC-55^{\circ}C} * (T_{JC} - T_{ref})$$

Dónde:

$Cp_{JC-55^{\circ}C}$: Capacidad calorífica de jugo de caña clarificado, ($KJ/kg * ^{\circ}C$).

T_{JC} : Temperatura de jugo clarificado, ($^{\circ}C$). (Corresponde a la temperatura con la cual el jugo ingresa al evaporador).

T_{ref} : Temperatura de referencia, generalmente es $0^{\circ}C$.

La capacidad calorífica de jugo a $55^{\circ}C$ es:

$$Cp_{JF-55^{\circ}C} = 3,228 - 0,03(23) + 0,226 \ln(55)$$

$$Cp_{JF-55^{\circ}C} = 3,443 \frac{J}{g * ^{\circ}C} = 3,443 \frac{KJ}{kg * ^{\circ}C}$$

Por lo tanto, la entalpía de alimentación queda:

$$h_{JC} = 3,443 \frac{KJ}{kg \cdot K} (328 - 273)K$$

$$h_{JC} = 189,365 \frac{KJ}{kg} = 45,259 \frac{Kcal}{kg}$$

Entalpía de concentrado

$$h_M = Cp_{M-98^{\circ}C} * (T_e - T_{ref})$$

Dónde:

h_M : Entalpía de la meladura a temperatura T_M , ($Kcal/kg$).

$Cp_{M-98^{\circ}C}$: Capacidad calorífica de la meladura, (Kcal/kg).

T_e : Temperatura de ebullición de la meladura, ($^{\circ}C$).

La capacidad calorífica de la meladura es:

$$Cp_{M-97^{\circ}C} = 3,228 - 0,03 (70) + 0,226 \ln(97)$$
$$Cp_{M-97^{\circ}C} = 2,162 \frac{J}{g * ^{\circ}C} = 2,162 \frac{KJ}{kg * ^{\circ}C}$$

Dónde:

SST: Sólidos solubles totales o $^{\circ}$ brix a $97^{\circ}C$.

T: Temperatura de la meladura, ($^{\circ}C$).

Por lo tanto, la entalpía de la meladura es:

$$h_M = 2,162 \frac{KJ}{kg * ^{\circ}C} * (370 - 273)^{\circ}C$$
$$h_M = 209,714 \frac{KJ}{kg} = 50,123 \frac{Kcal}{kg}$$

Entalpía de evaporado

$$H_{AE1} = 2672,9 \frac{KJ}{kg} = 638,838 \frac{Kcal}{kg}$$

Dónde:

H_{AE1} : Entalpía de agua evaporada a la temperatura T_{AE1} , (Kcal/kg). Dato obtenido de la tabla A.2-9: Propiedades del vapor saturado y del agua (Geankoplis, 1998, p. 946).

Por lo tanto, el flujo de vapor queda:

$$W = \frac{M * h_M + A_{E1} * H_{AE1} - J_C * h_{JC}}{\lambda_W}$$
$$W = \frac{34,128 \frac{kg}{h} * 50,123 \frac{Kcal}{kg} + 92,272 \frac{kg}{h} * 638,838 \frac{Kcal}{kg} - 126,4 \frac{kg}{h} * 45,259 \frac{Kcal}{kg}}{603,78 \frac{Kcal}{kg}}$$
$$W = 90,988 \frac{kg}{h}$$

Habiendo determinado el flujo de vapor y el calor latente de vaporización se determina el flujo de calor en el evaporador:

$$Q_e = 90,988 \frac{kg}{h} * 603,78 \frac{Kcal}{kg}$$

$$Q_e = 54936,735 \frac{Kcal}{h} = 63,849 KW$$

- **Coefficiente global de transferencia de calor**

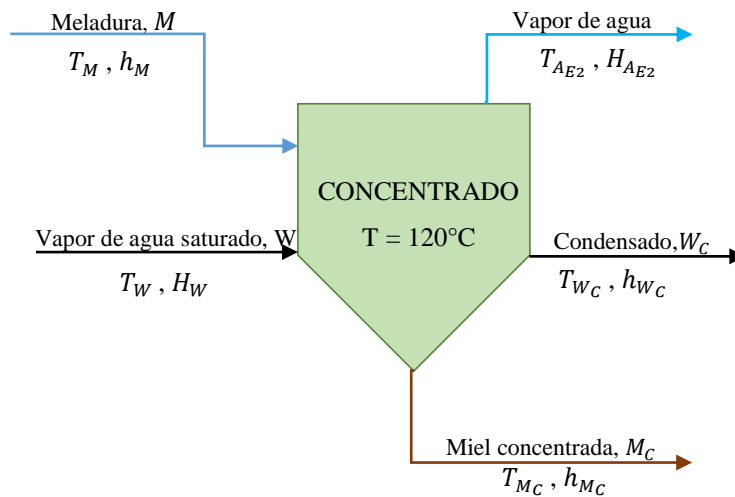
$$Q_e = U * A_e * \Delta T$$

$$U = \frac{63,849 KW}{3,08 m^2 * (97 - 55)^\circ C}$$

$$U = 0,49 KW/m^2 * ^\circ C$$

3.7.2.3 Balance de energía en la etapa de concentrado

El concentrado de la meladura se realizará en el mismo evaporador, con lo cual se evitará gastos innecesarios.



- **Flujo de calor etapa de concentrado**

$$Q_C = W_C * \lambda_{W_C}$$

Dónde:

Q_C : Flujo de calor etapa de concentrado, (Kcal/h).

W_C : Flujo de vapor etapa de concentrado, (kg/h).

λ_{W_C} : Calor latente de vaporización etapa de concentrado, (Kcal/kg).

- **Calor latente de vaporización**

$$\lambda_{W_C} = H_{W_C} - h_{W_C}$$

Dónde:

H_{W_C} : Entalpía de vapor saturado a 120°C, (Kcal/kg).

h_{W_C} : Entalpía de vapor de agua condensada a 48°C, (Kcal/kg).

Para determinar las entalpías se recurre a la tabla A.2-9: Propiedades del vapor saturado y del agua (Geankoplis, 1998, p. 946).

Entalpía de vapor saturado

$$H_{W_C}(120^\circ C) = 2706,3 \frac{KJ}{kg} = 646,821 \frac{Kcal}{kg}$$

Entalpía de vapor de agua condensado

$$h_{W_C}(48^\circ C) = 200,978 \frac{KJ}{kg} = 48,035 \frac{Kcal}{kg}$$

Por lo tanto, el calor latente de vaporización es:

$$\lambda_{W_C} = (646,821 - 48,035) Kcal/kg$$

$$\lambda_{W_C} = 598,786 Kcal/kg$$

- **Flujo de vapor**

$$Q_{entra} = Q_{sale}$$

$$M * h_M + W_C * H_{W_C} = A_{E2} * H_{A_{E2}} + M_C * h_{M_C} + W_C * h_{W_C}$$

$$W_C = \frac{A_{E2} * H_{A_{E2}} + M_C * h_{M_C} - M * h_M}{\lambda_W}$$

Dónde:

W_C : Vapor de agua que ingresa a la cámara de calefacción, (kg/h).

M : Flujo másico de meladura, (kg/h).

M_C : Flujo másico de miel concentrada, (kg/h).

A_{E2} : Flujo másico de agua evaporada etapa de concentrado, (kg/h).

h_{M_C} : Entalpía de miel concentrado a T_{M_C} , (Kcal/kg).

h_M : Entalpía de meladura a temperatura T_M , (Kcal/kg).

H_{AE2} : Entalpía de agua evaporada a la temperatura T_{AE2} , (Kcal/kg).

Entalpía de alimentación

$$h_M = 209,714 \frac{KJ}{kg} = 50,123 \frac{Kcal}{kg}$$

Entalpía de concentrado

$$h_{M_C} = Cp_{M_C-120^\circ C} * (T_c - T_{ref})$$

Dónde:

h_{M_C} : Entalpía de la miel concentrada, (Kcal/kg).

$Cp_{M_C-120^\circ C}$: Capacidad calorífica de la miel concentrada, (Kcal/kg).

T_c : Temperatura de concentrado, (°C).

La capacidad calorífica de la miel concentrada es:

$$Cp_{M_C-120^\circ C} = 3,228 - 0,03 SST + 0,226 \ln(T)$$

$$Cp_{M_C-120^\circ C} = 3,228 - 0,03 (90) + 0,226 \ln(120)$$

$$Cp_{M_C-120^\circ C} = 1,609 \frac{J}{g * ^\circ C} = 1,609 \frac{KJ}{kg * ^\circ C}$$

Dónde:

SST: Sólidos solubles totales o °brix a 120°C.

T: Temperatura de la miel concentrada, (°C).

Por lo tanto, la entalpía de la miel concentrada es:

$$h_{M_C} = 1,609 \frac{KJ}{kg * ^\circ C} * (393 - 273)^\circ C$$

$$h_{M_C} = 193,08 \frac{KJ}{kg} = 46,147 \frac{Kcal}{kg}$$

Entalpía de evaporado

El agua evaporada abandona la cámara de evaporación a la temperatura de ebullición, en este caso a 98°C.

$$H_{W_c}(98^\circ C) = 2672,9 \frac{KJ}{kg} = 638,838 \frac{Kcal}{kg}$$

Dónde:

H_{AE2} : Entalpía de agua evaporada, (Kcal/kg). Dato obtenido de la tabla A.2-9: Propiedades del vapor saturado y del agua (Geankoplis, 1998, p. 946).

Por lo tanto, el flujo de vapor para la etapa de concentrado queda:

$$W_c = \frac{M_c * h_{M_c} + A_{E2} * H_{AE2} - M * h_M}{\lambda_w}$$

$$W_c = \frac{84,12 \frac{kg}{h} * 46,147 \frac{Kcal}{kg} + 36,049 \frac{kg}{h} * 638,838 \frac{Kcal}{kg} - 120,169 \frac{kg}{h} * 50,123 \frac{Kcal}{kg}}{598,786 \frac{Kcal}{kg}}$$

$$W_c = 34,884 \frac{kg}{h}$$

Una vez encontrado el flujo de vapor y el calor latente de vaporización se determina el flujo de calor en el evaporador:

$$Q_c = 34,884 \frac{kg}{h} * 598,786 \frac{Kcal}{kg}$$

$$Q_c = 20888,051 \frac{Kcal}{h} = 24,277 KW$$

- **Coefficiente global de transferencia de calor**

$$Q_c = U * A_e * \Delta T$$

$$U = \frac{24,277 KW}{3,08 m^2 * (120 - 98)^\circ C}$$

$$U = 0,358 KW/m^2 * ^\circ C$$

3.7.3 Diseño de equipos

3.7.3.1 Dimensionamiento del tanque de clarificación

Para determinar el volumen que se requiere dimensionar se realiza empleando la ecuación de la densidad:

$$V_{JF} = \frac{m_{JF}}{\delta_{JC}}$$
$$V_{JF} = \frac{653 \text{ kg}}{1044 \text{ kg/m}^3}$$
$$V_{JF} = 0,63 \text{ m}^3 = 630 \text{ L}$$

Dónde:

m_{JF} : Masa de jugo de caña filtrado, (kg).

δ_{JC} : Densidad de jugo de caña crudo, (kg/m^3). (Ver Anexo A).

V_{JF} : Volumen de jugo filtrado, (m^3).

- **Volumen del tanque de clarificación**

$$V_{tp} = V_{JF} + (V_{JF} * fs)$$
$$V_{tp} = 0,63 \text{ m}^3 + (0,63 \text{ m}^3 * 0,20)$$
$$V_{tp} = 0,756 \text{ m}^3 = 756 \text{ L}$$

Dónde:

V_{tp} : Volumen del tanque de clarificación, (m^3).

fs : Factor de seguridad, (%).

- **Diámetro del tanque de clarificación**

Se considera que el tanque de clarificación tendrá una forma cilíndrica con la finalidad de evitar pérdidas de producto debido a la acumulación de los residuos en las esquinas del recipiente, para lo cual se considera la siguiente relación $H/D = 1$ (Geankoplis, 1998, p. 165) y la parte cilíndrica del recipiente mediante la siguiente ecuación:

$$V_{tp} = \frac{\pi}{4} * D_{tp}^2 * h_{tp}$$
$$V_{tp} = \frac{\pi}{4} * D_{tp}^2 * D_{tp}$$

$$D_{tp} = \sqrt[3]{\frac{V_{tp} * 4}{\pi}}$$

$$D_{tp} = \sqrt[3]{\frac{0,756 \text{ m}^3 * 4}{\pi}}$$

$$D_{tp} = 1,0 \text{ m}$$

Dónde:

D_{tp} : Diámetro del tanque de clarificación, (m).

- **Radio del tanque de clarificación**

$$r_{tp} = \frac{D_{tp}}{2}$$

$$r_{tp} = \frac{1,0 \text{ m}}{2}$$

$$r_{tp} = 0,50 \text{ m}$$

- **Altura del tanque de clarificación**

$$h_{tp} = \frac{V_{tp}}{\pi * r_{tp}^2}$$

$$h_{tp} = \frac{0,756 \text{ m}^3}{\pi * (0,50 \text{ m})^2}$$

$$h_{tp} = 0,96 \text{ m}$$

Dónde:

h_{tp} : Altura del tanque de clarificación, (m).

r_{tp} : Radio del tanque de clarificación, (m).

- **Espacio entre la chaqueta y cámara de ebullición.**

Según Geankoplis (1998, pp. 247-251) destaca que en los recipientes enchaquetados el espacio entre el tanque y camisa es igual a un décimo del diámetro total, por dicho espacio circulará el vapor.

$$e_{ch} = \frac{1}{10} * D_{tp}$$

$$e_{ch} = \frac{1}{10} * 1,0 \text{ m}$$

$$e_{ch} = 0,10 \text{ m}$$

- **Diámetro de la chaqueta**

$$\begin{aligned}\phi_{ch} &= 2 * e_{ch} + D_{tp} \\ \phi_{ch} &= 2 * 0,10 \text{ m} + 1,0 \text{ m} \\ \phi_{ch} &= 1,20 \text{ m}\end{aligned}$$

3.7.3.2 Dimensionamiento del evaporador

Para la etapa de evaporación se diseñará un evaporador de simple efecto, el mismo que contendrá un sistema de agitación.

Consideraciones:

- El volumen del jugo caliente que va a ingresar como alimentación al evaporador se determina mediante la ecuación de la densidad.
- Se considera un factor de seguridad del 30% con la finalidad de evitar pérdidas de producto durante el proceso de evaporación debido a la formación de espuma.
- El suministro de calor proviene de la condensación de vapor de agua en una chaqueta.

La densidad del jugo a 55°C se determina mediante la ecuación establecida por (Peña, 2009):

$$\begin{aligned}\delta_{Jc} &= 0,956 + 0,005 * SST \\ \delta_{Jc} &= 0,956 + 0,005(23) \\ \delta_{Jc} &= 1,071 \frac{g}{cm^3} = 1071 \text{ kg}/m^3\end{aligned}$$

Dónde:

δ_{Jc} : Densidad del jugo de caña clarificado, (kg/m^3).

SST : Sólidos solubles totales o grados brix a 55°C

$$\begin{aligned}V_{Jc} &= \frac{m_{Jc}}{\delta_{Jc}} \\ V_{Jc} &= \frac{632 \text{ kg}}{1071 \text{ kg}/m^3} \\ V_{Jc} &= 0,590 \text{ m}^3 = 590 \text{ L}\end{aligned}$$

Dónde:

V_{JC} : Volumen del jugo de caña clarificado, (m^3).

m_{JC} : Masa de jugo de caña clarificado, (kg).

δ_{JC} : Densidad del jugo de caña crudo, (kg/m^3).

- **Volumen del evaporador**

$$V_e = V_{JC} + V_{JC} * fs$$
$$V_e = 0,590 m^3 + (0,590 m^3 * 0,30)$$
$$V_e = 0,767 m^3$$

Dónde:

V_e : Volumen del evaporador, (m^3).

fs : Factor de seguridad, (%).

- **Diámetro del evaporador**

Se considera que el evaporador será de forma cilíndrica y considerando la relación $H/D = 1$ se tiene:

$$D_e = \sqrt[3]{\frac{V_e * 4}{\pi}}$$
$$D_e = \sqrt[3]{\frac{0,767 m^3 * 4}{\pi}}$$
$$D_e = 1,0 m$$

Dónde:

D_e : Diámetro del evaporador, (m).

- **Diámetro del evaporador**

$$r_e = \frac{D_e}{2}$$
$$r_e = \frac{1,0 m}{2}$$
$$r_e = 0,50 m$$

- **Altura del evaporador**

$$h_e = \frac{V_e}{\pi * r_e^2}$$

$$h_e = \frac{0,767 \text{ m}^3}{\pi * (0,50 \text{ m})^2}$$

$$h_e = 0,98 \text{ m}$$

Dónde:

h_e : Altura del evaporador, (m).

r_e : Radio del evaporador, (m).

- **Espacio entre la chaqueta y cámara de ebullición.**

Según (Geankoplis, 1998, pp. 247-251) destaca que en los recipientes enchaquetados el espacio entre el tanque y camisa es igual a un décimo del diámetro total, por dicho espacio circulará el vapor.

$$e_{ch} = \frac{1}{10} * D_e$$

$$e_{ch} = \frac{1}{10} * 1,0 \text{ m}$$

$$e_{ch} = 0,10 \text{ m}$$

- **Diámetro de la chaqueta**

$$\emptyset_{ch} = 2 * e_{ch} + D_e$$

$$\emptyset_{ch} = 2 * 0,10 \text{ m} + 1,0 \text{ m}$$

$$\emptyset_{ch} = 1,20 \text{ m}$$

- **Sistema de agitación**

El evaporador contendrá un sistema de agitación, el cual permitirá mantener en constante movimiento el jugo de caña a concentrar, de manera que garantice la homogeneidad de la mezcla y evitar que la meladura y miel concentrada se queme o se adhiera a las paredes del recipiente. Por lo general, un sistema de agitación está constituido por un propulsor o paleta, el cual es provisto sobre un eje vertical y dicho movimiento es generado por un motor eléctrico (McCabe et al, 1998: p. 243).

Se considera diseñar un agitador de paletas, siendo ideal ya que permite agitar a bajas y moderadas velocidades que oscilan entre 20 - 200 rpm, induciendo así el fluido de forma radial y tangencial. Este tipo de agitador es idóneo cuando se tratan de mezclas fácilmente miscibles de sólidos en suspensión.

- **Longitud del agitador**

Según Geankoplis (1998, p. 126) destaca que la longitud del agitador debe estar comprendido entre el 50 y 80% del diámetro del tanque.

$$L_a = \frac{1}{2} D_e$$
$$L_a = \frac{1}{2} (0,90 \text{ m})$$
$$L_a = 0,45 \text{ m}$$

Dónde:

L_a : Longitud del agitador, (m).

D_e : Diámetro del evaporador, (m).

- **Diámetro del agitador**

$$D_a = \frac{3}{4} D_e$$
$$D_a = \frac{3}{4} (0,90 \text{ m})$$
$$D_a = 0,675 \text{ m}$$

Dónde:

D_a : Diámetro del agitador, (m).

- **Ancho del agitador o paleta**

Según (Geankoplis, 1998, p. 126) menciona que la anchura del agitador debe estar comprendida entre 1/6 y 1/10 de su longitud, en este caso se considera 1/10.

$$A_a = \frac{1}{10} L_a$$
$$A_a = \frac{1}{10} (0,45 \text{ m})$$
$$A_a = 0,045 \text{ m}$$

Dónde:

A_a : Ancho de la paleta

- **Distancia entre el fondo del tanque y la paleta**

Según la relación propuesta por Geankoplis (1998, p.165) se tiene:

$$\frac{E}{D_e} = \frac{0,17}{0,34}$$

$$E = 0,5 \text{ (0,90m)}$$

$$E = 0,45 \text{ m}$$

- **Altura de la paleta del agitador**

$$h_p = \frac{1}{5} L_a$$

$$h_p = \frac{1}{5} (0,45 \text{ m})$$

$$h_p = 0,09 \text{ m}$$

Dónde:

h_p : Altura de la paleta, (m).

Placas deflectoras: se considera que el evaporador contendrá 2 placas deflectoras con la finalidad de evitar la formación de vórtices o remolinos.

- **Ancho de la placa**

$$A_p = 0,1 * D_e$$

$$A_p = 0,1 * (0,90 \text{ m})$$

$$A_p = 0,09 \text{ m}$$

- **Espacio entre la placa y tanque**

$$e_p = \frac{A_a}{0,177}$$

$$e_p = \frac{0,045 \text{ m}}{0,177}$$

$$e_p = 0,25 \text{ m}$$

Dónde:

e_p : Espacio entre la placa y tanque, (m).

A_a : Ancho del agitador, (m).

- **Distancia entre rejillas**

$$x_r = \frac{L_a}{n}$$

$$x_r = \frac{0,45 \text{ m}}{2}$$

$$x_r = 0,225 \text{ m}$$

- **Número de Reynolds**

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 * N * \delta_{JC}}{\mu_{JC}}$$

Dónde:

N_{Re} : Número de Reynolds, (adimensional).

D_a : Diámetro del agitador, (m).

N : Velocidad rotacional, (rpm). (60 rpm).

δ_{JC} : Densidad de jugo de caña clarificado, (kg/m^3). Dato calculado 1071 kg/m^3

μ_{JC} : Viscosidad de jugo de caña clarificado, ($kg/m * s$).

La densidad del jugo de caña clarificado se determina mediante la ecuación establecida por (Peña, 2009):

$$\delta_{JC} = 0,956 + 0,005 * SST \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$\delta_{JC} = 0,956 + 0,005 * 23$$

$$\delta_{JC} = 1,071 \frac{g}{cm^3} = 1071 \frac{kg}{m^3}$$

Dónde:

SST : Sólidos solubles totales o grados brix. Dato experimental tomado a 55°C .

La viscosidad del jugo de caña clarificado se determina mediante la ecuación establecida por (Peña, 2009):

$$\log(\mu) = -0,218 + 0,044 SST - 0,019 T \text{ [cP]}$$

$$\log(\mu) = -0,218 + 0,044 * (23) - 0,019 * (55)$$

$$\mu_{JC} = 0,561 \text{ cP} = 5,61 * 10^{-4} \text{ Pa} * s$$

Por lo tanto, el número de Reynolds queda:

$$N_{Re} = \frac{(0,675 \text{ m})^2 * \left(1,0 \frac{rev}{s}\right) * 1071 \frac{kg}{m^3}}{5,61 * 10^{-4} \frac{kg}{m * s}}$$

$$N_{Re} = 869829,5 = 8,69 * 10^5 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Según (Geankoplis, 1998, p.164) establece los siguientes criterios para el número de Reynolds:

Flujo laminar: $N_{Re} < 10$.

Flujo de transición: $10 < N_{Re} < 10000$.

Flujo turbulento: $N_{Re} > 10000$

- **Potencia del motor**

$$P = N_p * \delta * N^3 * D_a^5$$

Dónde:

P : Potencia, (W).

N_p : Número de potencia, (adimensional). Anexo C.

δ : Densidad de jugo de caña clarificado, (kg/m^3). Dato calculado $1071 kg/m^3$

N : Velocidad rotacional, (rpm).

D_a : Diámetro del agitador, (m).

$$P = 2 * 1071 \frac{kg}{m^3} * \left(1,0 \frac{rev}{s}\right)^3 * (0,675 m)^5$$

$$P = 300,15 W = 0,40 Hp$$

Considerando una eficiencia del motor del 70%, se tiene:

$$P = \frac{0,40 Hp}{0,70} = 0,57 Hp$$

Por lo general, en el mercado no existe una bomba de 0,57 Hp para el mezclado de la meladura se elige un motor de 1 Hp para el dimensionamiento respectivo.

3.8 Proceso de producción

El proceso de elaboración de panela granulada propuesto para la Asociación de Cañicultores de Pastaza se efectuará mediante un proceso de producción tipo batch, por lo que se realizará 2 lotes de producción por día.

3.8.1 *Materia prima, aditivos e insumos*

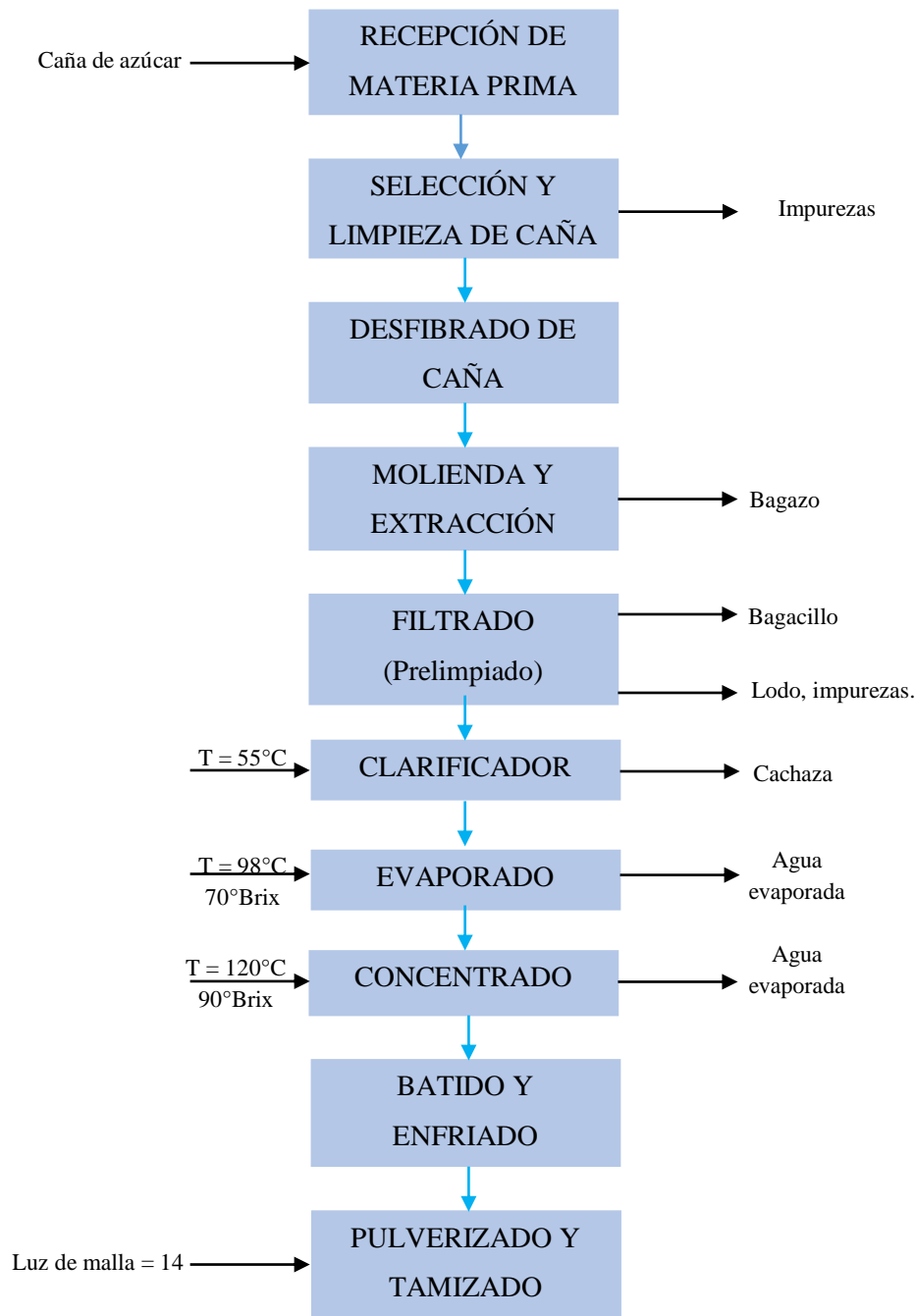
Conforme a los datos obtenidos a partir de los ensayos realizados para la elaboración de panela granulada se requiere de los siguientes elementos:

Tabla 8-3: Materia prima, aditivos e insumos para la elaboración de panela granulada

Materia prima	Caña de azúcar		Cantidad	Unidad
			1000	Kg/lote.
Insumos	Fundas plásticas	1 kg	118	Unidades/lote
	Etiquetas		118	Unidades/lote

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.2 Diagrama del proceso para la producción de panela granulada



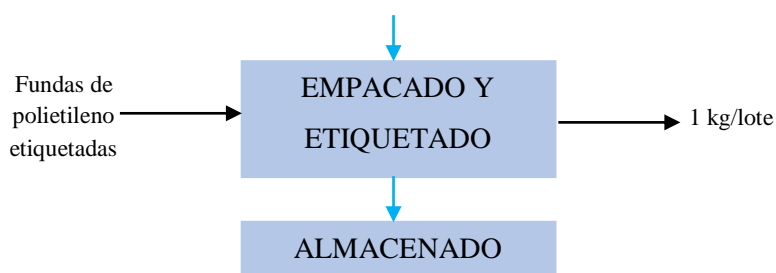


Gráfico 2-3: Diagrama del proceso de producción de panela granulada

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.2.1 Descripción del diagrama de proceso de elaboración de panela granulada

Recepción de materia prima: la caña de azúcar es recibida en las instalaciones de la planta, previo a ser procesada la materia prima debe encontrarse en las óptimas condiciones pues para ello es necesario tomar una muestra para realizar el control de calidad respectivo, siendo el grado de madurez (°brix) el parámetro más relevante a determinar. Es importante destacar que la caña debe ser procesada en un tiempo menor a 24 h después de la etapa de corte, para evitar sobre maduración y la alteración de los parámetros. Además, deben llevar un registro de los pesos para realizar el control respectivo.

Selección y limpieza de caña: una vez que la caña se encuentre en el área de recepción se procede a la selección y limpieza de la misma, pues para esta etapa el personal que labora en la planta debe conocer acerca de las características físicas y químicas de esta planta, enfocándose más en parámetros como grado de madurez, que no presente daños en el tallo y asegurarse que no presenten material extraño adherido en la caña, los mismos que deben ser separados para asegurar la calidad del producto.

Desfibrado de caña: esta etapa es muy importante ya que permite ablandar la caña de azúcar, y posteriormente ayuda a elevar la eficiencia del proceso de extracción y molienda.

Molienda y extracción: la caña ablandada pasa por un molino o comúnmente conocido como trapiche, el cual mediante compresión permite la extracción de jugo, constituyéndose la materia prima para la obtención de panela granulada; producto del procesamiento se genera un residuo semisólido conocido como bagazo.

Filtrado (Prelimpiado): esta operación se efectuará utilizando un prelimpiador, el cual está constituido por una serie de filtros en material de acero inoxidable 304, cuyo objetivo principal

es la retención de sólidos insolubles tales como lodo, arena, tierra, etc., y por flotación debe ser extraído materiales livianos como bagacillos, hojas e insectos, para este fin no se empleará ninguna sustancia química.

Clarificado: el jugo limpio pasa al tanque de clarificación, el cual mediante la inyección de vapor de agua generado por la caldera es calentado hasta alcanzar una temperatura de 55°C, por efecto del incremento de la temperatura en la parte superior flota una capa como especie de espuma, más conocido como la cachaza, mismo que se extrae las veces necesarias, la cachaza contiene todo tipo de materias orgánicas que no sean azúcares tales como grasas, gomas, ceras, pigmentos, entre otros. El objetivo de esta etapa es mejorar la apariencia del jugo, es decir conseguir que el jugo sea más claro, para este fin la ASOCAP no utilizará ningún aditivo.

Evaporado: el jugo clarificado llega al evaporador, el cual mediante el suministro de calor generado por la caldera permite la eliminación del 70% de agua presente en el jugo de caña, convirtiéndose así en meladura, la misma que debe alcanzar una concentración entre 65 – 70 °brix. Este proceso debe operar a 98°C, cabe destacar que el equipo dispondrá de un agitador mecánico de palas, el cual permitirá el movimiento del jugo y alcanzar una composición homogénea.

Concentrado: la meladura obtenida debe concentrarse en el mismo evaporador a una temperatura de 120°C hasta alcanzar una concentración que oscile entre 88 – 94 °brix, dicha concentración es ideal para conseguir un producto con humedad menor al 10%.

Batido y enfriado: la miel concentrada pasa a un recipiente de forma rectangular y con la ayuda de una paleta se realiza la oxigenación de esta para que el producto se enfríe y de manera especial mejorar el color.

Pulverizado y tamizado: el producto proveniente de la etapa anterior es batido, pero de manera rápida y constante hasta conseguir que la mezcla sea homogénea y a fin de obtener un producto de granulometría definida la panela se hará pasar por un tamiz N° 14, esto conforme a la norma NTE INEN 2332:2002. Panela granulada. Requisitos.

Empacado y etiquetado: previo al empacado se realizará el control de calidad del producto, en el que se determinará las características físico-químicas y microbiológicas del producto. Finalmente, la panela granulada obtenida es envasada en fundas de polietileno etiquetadas, cada unidad debe contener 1 kg de producto y posteriormente se efectuará el sellado hermético. El sellado del producto debe cumplir con lo estipulado por la NTE INEN 1334-1 y 1334-2.

Almacenado: el producto debe almacenarse en un lugar fresco, limpio y seco, garantizando así la calidad e inocuidad del producto final.

3.8.2.2 Capacidad de producción

La producción de panela granulada se procesará por lotes, cada lote se alimentará con 1000 kg de caña de azúcar y se obtendrá aproximadamente 118,85 kg de producto final, al ser envasado en presentaciones de 1 kg se obtendrá 118 unidades.

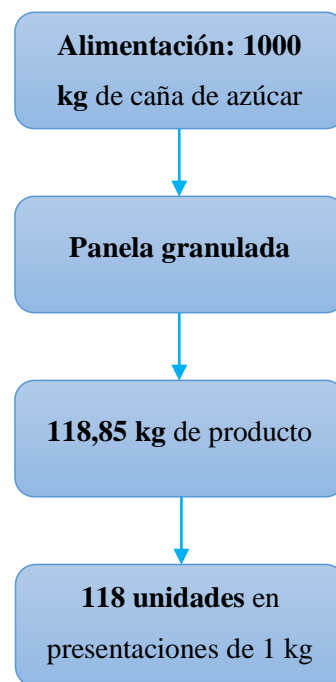


Gráfico 3-3: Capacidad de producción

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.3 Distribución de la planta

La ASOCAP dispone de una infraestructura e instalaciones con área de 120 m² para implementar la nueva línea de producción de panela granulada, es así, para evitar trabajos innecesarios y sobreesfuerzos se realiza la distribución de la planta de producción en áreas y departamentos funcionales, permitiendo obtener una cadena de producción eficiente.

3.8.3.1 Descripción de áreas de la planta

- **Área de recepción, selección y limpieza de materia prima**

Esta área será destinada para almacenar la materia prima, en la que estará cubierta y ventilada, para facilitar la preservación hasta la operación de molienda, además permitirá la selección y limpieza de la caña de azúcar de acuerdo con las especificaciones de calidad. Cabe mencionar que se encontrará a la entrada de la planta.

- **Área de desfibrado y molienda**

Luego del área de recepción se encontrará la sección de desfibrado, el mismo que se conectará a la línea de molienda y extracción de jugo de caña.

- **Área producción**

Esta área será el centro productivo de la planta, abarca las operaciones de filtración, clarificado, evaporado, batido y enfriado, pulverizado y tamizado, es así que, para evitar tiempos muertos el proceso se llevará a cabo de manera secuencial, y en cada una de ellas se encontrará el equipo correspondiente, además facilitará el movimiento del personal, de manera que el proceso de producción sea eficiente.

- **Área de control de calidad**

Es destinada para realizar las pruebas de control de calidad de la materia prima y del producto final, así también los demás parámetros que se requiere controlar durante el proceso de producción, lo cual permitirá tener un control estricto de los estándares de calidad que exige la norma NTE INEN 2332:2002. Panela granulada. Requisitos. Dentro de esta área se encontrarán los equipos respectivos, reactivos y materiales necesarios.

- **Área de empaçado y almacenamiento**

Esta área es asignada para llevar a cabo el envasado y almacenamiento del producto final, la misma que debe cumplir con las condiciones adecuadas para garantizar la conservación de este, se encontrarán las mesas de material inoxidable.

- **Área administrativa**

Específicamente destinado para el personal administrativo, atención a clientes y proveedores, permitiendo así brindar un producto y servicio de calidad.

- **Área de generación de energía**

Destinado para la caldera, donde se da la generación de energía para ser suministrado a las diferentes líneas de producción.

- **Área de desechos orgánicos**

En esta área se colocará el bagazo de la caña de azúcar producto del área de molienda, además también la cachaza proveniente de la etapa de clarificado.

3.8.4 *Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria*

Para poner en marcha el proyecto es necesario la incorporación de equipos, maquinarias y materiales, siendo la parte principal para el proceso de producción de panela granulada, por tratarse de alimentos los materiales de los equipos deben ser de acero inoxidable AISI 304, cabe

3.8.4.1 *Equipos que se requiere implementar para el proceso de producción*

Para poner en marcha la planta de producción de elaboración de panela granulada requiere de la implementación de los siguientes equipos:

Tabla 9-3: Equipos necesarios para el proceso de producción de panela granulada

Equipo	Descripción	Características
Desfibrador	Esta máquina permitirá ablandar la caña de azúcar, permitiendo elevar el porcentaje de extracción del jugo de caña.	Material de acero inoxidable 304. Capacidad de 0,5 – 1,0 ton/h.
Molino eléctrico	Equipo que será utilizado para la molienda y extracción de jugo de caña.	Capacidad de 0,5 – 1,0 ton/h. Material de acero inoxidable 304.
Prelimpiador	Es un tanque de sección rectangular constituido por una serie de filtros, fabricado en material de acero inoxidable 304, el cual será empleado para retener todo tipo de material extraño tales como bagacillos, hojas, así también sólidos insolubles.	Largo = 1 m Altura = 0,5 m Ancho = 0,3 m
Clarificador	Recipiente enchaquetado de acero inoxidable 304 donde se efectuará el calentamiento de jugo de caña, con la finalidad de eliminar la cachaza.	Volumen = 0,756 m ³ Diámetro = 1,0 m Altura = 0,96 m Espesor de la chaqueta = 0,10 m

Evaporador	Es un recipiente de forma cilíndrica, de acero inoxidable 304, posee chaqueta por donde circulará el vapor de agua para concentrar el jugo de caña; contendrá un agitador de palas planas para llevar a cabo la agitación del concentrado.	Volumen = $0,767 m^3$ Diámetro = 1,0 m Altura = 0,98 m Espesor de la chaqueta = 0,10 m Agitador de palas planas
Bateas	Recipiente de acero inoxidable 304, utilizado para realizar el batido y enfriado el producto final.	Forma rectangular.
Paletas	Es un instrumento empleado para el proceso de batido y granulación.	Paleta planas de acero inoxidable 304.
Tamiz vibratorio	Es un equipo de acero inoxidable 304, utilizado para obtener un producto con granulometría definida.	Número de tamiz 14, con abertura de 1,40 mm.
Caldera	Es un equipo que proporciona energía calorífica para las operaciones de calentamiento, evaporación y condensación en la producción de caña de azúcar.	Dispondrá de chimenea. Tipo vertical. Material de acero inoxidable 304. Quemador diésel waine 05 – 3 G/h. Presuretrol honnewell 150 psi. Tablero de control eléctrico.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.4.2 Equipos y materiales necesarios para el control del proceso

Lo equipos y materiales descritos en este epígrafe son de gran utilidad para el monitoreo y control de las variables y parámetros del proceso de elaboración de panela granulada, lo cual permite obtener un producto de calidad.

Tabla 10-3: Equipos y materiales necesarios para el control del proceso

Equipo	Descripción
Balanza mecánica	Utilizada para el pesaje de la cantidad de materia prima, permitiendo así llevar un control adecuado y estricto del proceso.
pH-metro	Equipo que permite determinar el pH.
Refractómetro	Equipo utilizado para la medición de ° brix.
Vaso de precipitación	Material utilizado para mediciones volumétricas.
Varilla de agitación	Permite la homogenización de la muestra a analizar.
Termómetro	Empleado en el proceso de producción para el control de variables.
Picnómetro	Utilizado para determinar la densidad.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5 Análisis costo/beneficio del proyecto

El estudio de un proyecto, de manera particular cuando se trata de procesos productivos se requiere de un análisis financiero, ya que permite determinar la viabilidad económica del proyecto, y por ende será de gran aporte para los asociados.

3.8.5.1 Costo de equipos

El costo de equipos abarca el costo total de materiales y equipos necesarios para el proceso de producción de panela granulada, por lo que se recurrió a cotizar los equipos a diferentes empresas dedicadas a la construcción y venta, merados en línea, como la página oficial de mercado libre para encontrar el precio de cada equipo y las especificaciones establecidas, a continuación se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 11-3: Costos de los equipos para la producción de panela granulada

Maquinaria y equipos	Cantidad	Valor
Desfibrador	1	2500
Molino eléctrico (trapiche)	1	4500
Prelimpiador	1	2500
Clarificador	1	3500
Evaporador	1	5000
Batea rectangular	1	600
Tamiz vibratorio	1	1500
Caldera	1	10000
Paletas	2	200
Máquina selladora	1	1250
Mesa de acero inoxidable	2	380
Total		31930

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Tabla 12-3: Costos de materiales para la producción de panela granulada

Materiales y equipos	Cantidad	Costo total (\$)
Balanza electrónica industrial	1	239
Picnómetro	1	40
pH-metro digital	1	621
Refractómetro	1	54
Termómetro industrial	1	90
Materiales de laboratorio	1	18
Total		1062

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5.2 Costo de materia prima

El costo de la materia prima se consideró el precio actual vigente (1 tonelada de caña de azúcar cuesta \$31,70), en este caso para la elaboración de panela no se requiere de aditivos.

Tabla 13-3: Costo de materia prima e insumos para producir 1 kg de panela granulada

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario \$	Costo total (\$)
Caña de azúcar	8,413	Kg	0,0317	0,27
Insumos				
Funda de polietileno etiquetadas	1	Unidad	0,20	0,20
Total				0,47

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Tabla 14-3: Materia prima e insumos para producir 118,85 kg de panela granulada

Materia prima	Cantidad	Unidad	Costo unitario \$	Costo total (\$)
Caña de azúcar	1000 kg	Kg	0,0317	31,70
Insumos				
Funda de polietileno etiquetadas	118	Unidad	0,20	23,60
Total				55,30

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5.3 Costo de mano de obra directa

El salario del personal se realizó en base a la tabla de salarios mínimos sectoriales 2020 para Ingenios y Refinerías de azúcar, establecido por el Ministerio de Trabajo, cabe indicar que se trabajará 20 días.

Tabla 15-3: Costo de mano de obra directa mensualizada

Personal	Cantidad	Salario unitario (\$)	Salario total (\$)
Operario	2	407,68	815,36
Técnico	1	417,66	417,66
Total			1233,02

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5.4 Costo de los análisis de laboratorio

El costo de los análisis de laboratorio se realizó conforme a la cotización de un laboratorio, en este caso cabe mencionar que los respectivos análisis se efectuarán 4 veces al año,

Tabla 16-3: Costo de análisis de laboratorio

Análisis de Laboratorio	Costo unitario (\$)	Cantidad	Costo anual (\$)
Físico químico del jugo de caña	50	4	200
Físico químico de panela granulada	80	4	320
Total			520

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5.5 Costos fijos

Son aquellos costos que no influyen de manera directa en el proceso de producción, así como la materia prima y mano de obra y otros gastos indirectos como: servicios básicos (luz, agua y teléfono), publicidad y suministros de oficina

Tabla 17-3: Costos fijos

Rubros	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Agua	m^3/mes	0,45	20
Luz	KW/mes	0,09 KW/h	50
Publicidad	-	-	40
Suministro de oficina (papel, esferos, tóner de impresora, etc.)	-	-	30
Total			140

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

La caldera para su operación requiere de combustible, en este caso funciona con diésel, su costo es de \$1,037 por galón, del mismo modo para el vehículo de la asociación se requiere de gasolina, siendo su costo de \$1,85 por galón, pues para ello se consideró el precio actual vigente de combustibles y conforme a la cantidad de galones que se necesita para su funcionamiento se tiene en la siguiente tabla:

Tabla 18-3: Costo de consumo de combustible

Combustible	Cantidad (gal)	Precio nacional por gal \$	Costo total por día \$
Diésel premium	1	1,037	1,037
Gasolina extra	10	1,85	18,50
Total			19,54

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5.6 Muebles y enseres

Tabla 19-3: Costos de muebles y enseres

Área de producción	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Estanterías	1	200	200
Subtotal			200
Área administrativa	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Escritorios	1	150	150
Sillas	3	25	75
Subtotal			225
Área de ventas	Cantidad	Costo unitario \$	Costo total \$
Escritorio	1	100	100
Sillas	2	25	50
Subtotal			150
Total			575

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

3.8.5.7 Presupuesto de producción

De acuerdo a los costos variables y costos fijos descritos en la tabla 13-3, 17-3 y 18-3, considerando el 20% de utilidad para la asociación y estableciendo que la planta de producción va a operar 20 días laborables al mes se determina el precio de venta al público para una funda de panela granulada de 1 kg.

Tabla 20-3: Relación costo-beneficio para la producción de panela granulada

Cantidad de fundas de panela granulada producida por día (kg)	Cantidad de panela granulada por unidad (kg)	Cantidad de unidades producidas por día	Costo por unidad \$	Costo total por día \$
118	1	236	1,38	325,68
Ingresos				
Diario	Semanal	Mensual	Anual	
325,68	1628,40	6513,60	78163,20	
Egresos \$				
Diario	Semanal	Mensual	Anual	
251,58	1257,91	5031,64	60379,64	
Ganancias \$				
Diario	Semanal	Mensual	Anual	
74,10	370,49	1481,96	17783,56	

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En la tabla 20-3, se aprecia que el proceso de producción generará 118 fundas de panela granulada por lote y como se efectuará 2 lotes/día en total se producirá 236 unidades, cada una en presentaciones de 1 kg, el cual tendrá un precio de venta al público de \$1,38 por cada unidad; tomando en consideración un escenario optimista de ventas se obtendrá \$325,68 al día, de egresos se tendrá \$251,58/día, además tomando en cuenta la materia prima, mano de obra, mantenimiento, seguros y depreciación de los equipos se tendrá una ganancia de \$74,10 al día, por lo que se realizó para una proyección diario, mensual y anual teniendo una ganancia de \$17783,56/año.

Tabla 21-3: Flujo de caja para la producción de panela granulada

Rubros	Años					
	Inicial	1	2	3	4	5
Ingresos \$						
Ventas netas		78163,20	81241,29	82825,49	84440,59	86087,18
Egresos \$						
Materia prima (tasa de inflación 0,0159)	-	26433,44	26853,73	27280,71	27714,47	28155,13
Mano de obra	-	29928,24	30404,10	30887,52	31378,64	31877,56
Inversión en equipos y materiales	-32992	-	-	-	-	-
Muebles y enseres	-575	-	-	-	-	-
Mantenimiento y seguros de los equipos	-	2639,36	2681,33	2723,96	2767,27	2811,27
Depreciación de los equipos (5 años - 20%)	-	1378,60	2757,20	4135,80	5514,40	6893
Servicios básicos (agua, luz)	-	840	853,36	866,92	880,71	894,71
Combustible (diésel y gasolina)	-	4688,88	4763,43	4839,17	4916,11	4994,28
Suministros de oficina	-	360	365,72	371,54	377,45	383,45
Publicidad	-	480	487,632	495,39	503,26	511,26
Análisis de laboratorio	-	520	528,27	536,67	545,20	553,87
Permisos de funcionamiento (RISE)	-	139,56	141,78	144,03	146,32	148,65
Vehículo	-15000					
Capital socio/préstamo	+36000	-	-	-	-	-
Imprevistos	-1952,2	-	-	-	-	-
FLUJO DE CAJA	-14519,20	10655,12	11304,74	10443,78	9596,76	8764,00
FLUJO ACUMULADO	-14519,20	-3864,08	-	-	-	-

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En la tabla 21-3 indica que la planta de producción de panela granulada para que funcione requiere de una inversión inicial de \$50519,2, y tomando en cuenta que el capital socio es de \$36000, por lo que la inversión inicial disminuye a \$14519, dicho valor contempla la inversión en equipos y materiales, así también en muebles y enseres y se considera el 3% para imprevistos.

El total de ingresos en el primer será de \$78163,20, esto al trabajar durante todo el año; en tanto que el total de egresos se determinó al considerar el costo total de materia prima con una tasa de inflación del 1,59%, mano de obra, mantenimiento y seguros de los equipos, depreciación del 20% considerando a 5 años, servicios básicos, suministros de oficina, publicidad, permisos de funcionamiento y análisis de laboratorio, logrando un total de ganancias de \$10655,12 en el primer año, del mismo modo se tiene una proyección para 5 años.

3.8.5.8 Indicadores financieros

Tabla 22-3: Indicadores financieros para la producción de panela granulada

Tasa de rendimiento del mercado	12%
Valor Actual Neto (VAN)	\$20099,90
Tasa interna de retorno (TIR)	67%
Período de recuperación	1,36
Punto de equilibrio (año)	16358,66

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Según la tabla 22-3 se tiene un VAN de \$20099,90, por ser un valor mayor a cero es aceptable el proyecto y un TIR del 67%, lo que indica que el proyecto es económicamente viable ya que este valor es mayor al 12% que corresponde a la tasa de rendimiento del mercado, y el tiempo de recuperación es de 1 año y 5 meses, por lo que se concluye que el proyecto generará beneficios económicos para la ASOCAP.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1 Caracterización de materia prima

Para evaluar la calidad del jugo de caña se realizó la respectiva caracterización organoléptica y físico-química del jugo obtenido de la ASOCAP, a continuación se detalla los resultados alcanzados:

4.1.1 Caracterización organoléptica del jugo de caña

Tabla 1-4: Características organolépticas de jugo de caña

Parámetro	Descripción
Color	Ligeramente verde
Olor	Aroma dulce
Sabor	Dulce característico
Aspecto	Homogéneo opalescente

Fuente: SAQMIC, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Conforme a la tabla 1-4, el jugo de caña utilizado para la elaboración de panela granulada presenta un color ligeramente verde, olor a aroma dulce, sabor a dulce característico y de aspecto homogéneo opalescente, debido a que no existe una norma específica para evaluar se realizó conforme a criterios referenciales, encontrándose que la muestra de jugo analizado presenta características similares al encontrado por (Aguirre, 2011, pp. 61-64), por lo que se consideró ideal para el proceso de producción.

4.1.2 Caracterización físico-química del jugo de caña

Tabla 2-4: Características físico-químicas de jugo de caña

Parámetro	Unidad	Método	Resultado
pH	-	NTE-INEN-389	5,41
Densidad	-	NTE-INEN-391	1,044
Grados brix	%	NTE-INEN-380	19,8

Fuente: SAQMIC, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

De acuerdo a la tabla 2-4 se aprecia que el jugo de caña presenta un pH de 5,41, dicho valor se encuentra dentro del límite considerado por (Quezada, 2007, p. 43), quien recomienda que el jugo debe encontrarse entre 4,5 – 5,5, de igual forma (Fiestas et al, 2013: p. 63) obtuvo un jugo de caña con pH de 5,5, siendo similar al valor encontrado y (Clavijo, 2010) establece que debe oscilar entre 5,6 – 5,8, cabe destacar que este parámetro depende de la variedad de la caña de azúcar y el área de cultivo.

La densidad que presenta el jugo de caña extraído resulta de 1,044 *g/ml*, en comparación con los resultados reportados por (Alarcón, 2017, p.123), quien obtuvo valores entre 1,125 – 1,343 *g/ml* al aplicar una variación de temperatura entre 20 – 35°C, por consiguiente, el valor encontrado es próximo al establecido.

El jugo de caña presenta sólidos solubles totales o °brix con valor de 19,8, dicho valor según (Clavijo, 2010), quien establece un rango entre 18 – 20 °brix, de forma similar (Quezada, 2007, p. 31) destaca que debe encontrarse en un intervalo de 20 – 24 °brix, por lo expuesto anteriormente el valor encontrado se encuentra dentro de los intervalos establecidos. Por lo tanto, el jugo de caña extraída en la planta ASOCAP es apto para ser procesado

4.2 Resultados de ensayos del proceso de elaboración de panela granulada

4.2.1 Determinación de grados brix

Tabla 3-4: Datos experimentales de temperatura y concentración del proceso

Operación/proceso	Temperatura (°C)	Grados brix (°brix)
Extracción de jugo	25	19,8
Clarificador	32	20
	55	23
Evaporación	89	34
	97	70
Concentración	120	90

Fuente: ASOCAP, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En la tabla 3-4 se reportan los datos encontrados de temperatura y sólidos solubles totales, por lo que se observa que la concentración del jugo de caña guarda una estrecha relación con la temperatura de ebullición de la solución azucarada, en efecto, se requiere de mayor temperatura de ebullición de la solución para obtener una solución más concentrada, en este caso se obtiene el producto esperado a 90°brix y 120°C.

4.2.2 Determinación de pH

Tabla 4-4: Datos experimentales de pH durante el proceso de elaboración de panela granulada

Operación/proceso	Temperatura	pH
Extracción	25	5,41
Clarificación	55	5,45
Evaporación	97	5,70
Concentrado	120	5,90
Pulverizado y tamizado	25	5,93

Fuente: ASOCAP, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En la tabla 4-4, se observa que el pH se incrementa a medida que aumenta la temperatura, sin embargo se mantienen a valores cercanos de pH 7, es decir a un valor neutro, lo que garantiza que el producto no es ácido ni básico, siendo ideal el proceso de producción y el producto final.

4.3 Determinación de las variables y parámetros del proceso para la elaboración de panela granulada

Mediante las pruebas realizadas en la planta ASOCAP para la elaboración de panela granulada se ha encontrado las variables y parámetros más relevantes del proceso, lo que permite la obtención de un producto de calidad e inocuo.

4.3.1 Grados brix (*°brix*)

Los grados brix es uno de los parámetros que requiere tener mayor control durante el proceso de elaboración de panela granulada, ya que es necesario mantener un control estricto desde la materia prima hasta la obtención del producto, a continuación, se indica el comportamiento de los grados brix en función de la temperatura:

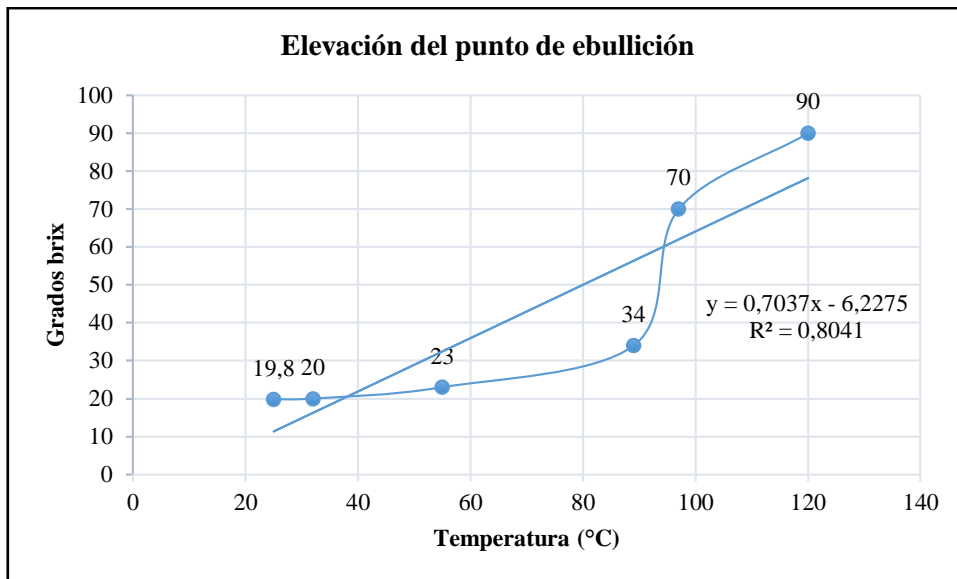


Gráfico 1-4: Curva de grados brix en función de temperatura

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En el gráfico 1-4, se observa que la temperatura influye de manera directa en la concentración del jugo de caña, es así que se inicia con una solución azucarada de 19,8 °brix a una temperatura de 25°C, es decir a medida que la temperatura aumenta la concentración de los sólidos solubles totales también aumenta, logrando así conseguir la meladura cuando la solución alcanza una concentración de 70°brix a 97°C de temperatura, y por último se consigue el producto deseado cuando alcanza una concentración de 90°brix a 120°C.

Según el análisis de la regresión lineal se aprecia una tendencia lineal positiva significativa, donde partiendo de un intercepto igual a -6,2275 puntos las medias aumentaron progresivamente en 0,7037 puntos por cada grado de temperatura suministrada en el proceso de producción, reportando un coeficiente de determinación igual a 80,41% tal como se ilustra en el gráfico 1-4.

4.3.2 *Temperatura*

Es otra de las variables que requiere un control estricto y adecuado, de manera particular en las operaciones de: evaporación la misma que debe mantenerse a 98°C para garantizar la eliminación del 70% de agua presente en el jugo de caña y producto de ello se obtiene la meladura; concentración, debe alcanzar los 120°C para obtener un producto con una concentración de 90°brix, dichos valores son los más idóneos para conseguir un producto de calidad.

4.3.3 pH

Es una variable que influye de manera significativa en el proceso de elaboración de panela granulada, ya que permite determinar el nivel de acidez o alcalinidad del jugo y de los productos intermedios y final, siendo ideal trabajar con jugos que tenga un pH entre 4,5 – 5,5 para evitar la adición de sustancias químicas cuando se requiere ajustar el valor de esta variable, mientras que el producto final como mínimo debe tener un valor de 5,9 de pH, esto según la norma NTE INEN 2332. Panela granulada. Requisitos.

4.3.4 Granulometría

La granulometría define el aspecto del producto final, siendo esencial para que pueda ser comercializado, conforme a la norma NTE INEN 2332. Panela granulada. Requisitos indica que el 100% de partículas de panela granulada debe pasar por el tamiz 14, el cual tiene una abertura de 1,4 mm, esto para panela extra.

4.4 Resultados del dimensionamiento de equipos

Para la propuesta tecnológica de producción de panela granulada para la ASOCAP se consideró diseñar exclusivamente equipos para las operaciones de mayor énfasis, siendo el precalentado, evaporado y concentrado ya que de estas operaciones depende el producto deseado.

4.4.1 Tanque de clarificación

El tanque de clarificación es un recipiente cilíndrico enchaquetado, destinado específicamente para llevar a cabo inicialmente el precalentado de jugo de caña crudo y posteriormente efectuar la clarificación del mismo.

Tabla 5-4: Dimensiones de tanque de clarificado

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
Volumen	V_{tp}	0,756	m^3
Diámetro	D_{tp}	1,0	m
Radio	r_{tp}	0,50	m
Altura	h_{tp}	0,96	m
Espacio entre la chaqueta y cámara de ebullición	e_{ch}	0,10	m
Diámetro de la chaqueta	\emptyset_{ch}	1,20	m

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

4.4.2 Evaporador de simple efecto

Se diseñó un evaporador de simple efecto con chaqueta ya que permite controlar de manera adecuada la elaboración del producto, donde se llevará a cabo la evaporación y concentrado, el calentamiento del jugo de caña se efectuará al suministrar vapor de agua saturada, la misma que se condensa en el interior de la chaqueta y sale por el fondo, además para la homogenización de la solución azucarada contendrá un agitador de palas planas, el cual será accionado por un motor eléctrico.

Tabla 6-4: Dimensiones del evaporador de simple efecto

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
EVAPORADOR			
Volumen	V_e	0,767	m^3
Diámetro	D_e	1,0	m
Radio	r_e	0,50	m
Altura	h_e	0,98	m
Espacio entre la chaqueta y cámara de ebullición	e_{ch}	0,10	m
Diámetro de la chaqueta	ϕ_{ch}	1,20	m
SISTEMA DE AGITACIÓN			
Longitud del agitador	L_a	0,45	m
Diámetro del agitador	D_a	0,675	m
Ancho del agitador	A_a	0,045	m
Distancia entre el fondo del tanque y la paleta	E	0,45	m
Altura de la paleta del agitador	h_p	0,09	m
Placas deflectoras	N_{pd}	2	m
Ancho de la placa	A_p	0,09	m
Espacio entre la placa y tanque	e_p	0,25	m
Distancia entre rejillas	x_r	0,225	m
Potencia del motor	P	1	Hp

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

4.5 Validación del proceso mediante caracterización organoléptica, físico-química y microbiológica de panela granulada

Para validar el diseño del proceso industrial de elaboración de panela granulada se determinó las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas de la misma, esto según la norma NTE INEN 2332. Panela granulada. Requisitos, con lo cual se evaluó el cumplimiento de

los parámetros de calidad, lo que garantiza la seguridad alimentaria del consumidor. El análisis se realizó en el Laboratorio SAQMIC de la ciudad de Riobamba.

4.5.1 Caracterización organoléptica de panela granulada

Tabla 7-4: Parámetros organolépticos de panela granulada

Parámetro	Descripción
Color	Amarillo caramelo
Olor	Aroma dulce
Sabor	Dulce característico
Aspecto	Granular fino homogéneo exento de material extraño

Fuente: SAQMIC, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

En la tabla 7-4, se aprecia las características organolépticas de panela granulada como: color amarillo caramelo, olor a aroma dulce, sabor dulce característico y de aspecto granular fino homogéneo exento de material extraño, con lo cual se puede destacar que el producto obtenido cumple con los requisitos específicos establecido por la norma NTE INEN 2332. Panela granulada. Requisitos, siendo apto para ser comercializado y consumo humano.

4.5.2 Caracterización físico-química de panela granulada

Tabla 8-4: Parámetros físico-químicos de panela granulada

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	NTE INEN 2332	
				Mín.	Máx.
pH	-	NTE-INEN-265	5,93	5,9	-
Organoléptico: Color (T550nm)	-	NTE-INEN-268	61,06	30	75
Azúcares reductores	%	NTE-INEN-266	7,8	5,5	10
Sacarosa	%	NTE-INEN-266	81,0	75	83
Humedad	%	NTE-INEN-265	1,73	-	3
Sólidos sedimentables (panela extra).	%	NTE-INEN-388	0,52	0,1	

Fuente: SAQMIC, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

De acuerdo con los resultados de la tabla 8-4, indica que los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites máximos y mínimos permitidos por la norma NTE INEN 2332. Panela granulada. Requisitos, por lo que la panela granulada obtenida es apta para consumo humano y brinda múltiples beneficios.

4.5.3 Caracterización microbiológica de panela granulada

Tabla 9-4: Parámetros microbiológicos de panela granulada

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	NTE INEN 2332			
				N	m	M	c
Recuento de mohos y levaduras	UFC/g	NTE-INEN-1529-10	30	3	$1,0 * 10^2$	$2,0 * 10^2$	2

Fuente: SAQMIC, 2020.

Realizado por: Castro Nuñez, Abner, 2020.

Dónde:

n: Número de muestras a analizar.

m: Nivel de buena calidad.

M: Valor máximo permitido.

c: Número de muestras aceptadas con *M*.

A fin de garantizar la inocuidad de la panela granulada se realizó la caracterización microbiológica, donde se determinó el recuento de mohos y levaduras y conforme a la tabla 9-4 se tiene un producto exento de microorganismos patógenos.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó el jugo de caña de azúcar fresco, donde se determinaron parámetros físicos como color, olor, sabor y aspecto y químicos pH 5,41, densidad $1,044 \text{ g/cm}^3$ y grados brix 19,8, dichos resultados se encontraron dentro de los valores permitidos por revisión bibliográfica, por lo cual la materia prima es ideal para el procesamiento.
- Durante el proceso de producción de panela granulada para una alimentación de 1000 kg de caña de azúcar se identificó las variables y parámetros más relevantes del proceso, siendo la temperaturas de: clarificado 55°C , evaporado 98°C y concentrado 120°C ; grado brix de jugo de caña fresco, etapa de evaporación 70°brix , etapa de concentrado 90°brix ; y granulometría del producto final de 1,40 mm.
- El proceso de producción de panela granulada tiene un rendimiento total de 11,9%, debido a que la mayor cantidad de flujo másico perdido se da en las etapas de molienda, evaporación y concentrado, ya que el jugo de caña está constituido entre 65 - 70% de agua, la misma que es eliminada por evaporación y concentración.
- Se desarrolló el diseño del proceso industrial y los cálculos de diseño ingenieril para el proceso de elaboración de panela granulada, en el cual se dimensionó un tanque de clarificación con chaqueta, un evaporador enchaquetado y un agitador de palas planas, cabe destacar que el material es de acero inoxidable 304 para garantizar la seguridad alimentaria.
- El proceso de elaboración de panela granulada consta de las siguientes etapas y operaciones: recepción de la caña de azúcar, selección y limpieza, desfibrado, molienda y extracción de jugo de caña, prelimpiado, clarificado, evaporación, concentración, batido y enfriado, pulverizado, tamizado, empacado y almacenamiento.
- Mediante la caracterización de panela granulada se validó el diseño del proceso industrial conforme a la norma NTE INEN 2332: 2002. Panela. Requisitos, cuyos valores se encuentran bajo los límites establecidos por la misma, determinándose las características organolépticas como: color, olor, sabor y aspecto; químicas tales como: pH 5,93, azúcares reductores 7,8%, color 61,06, sacarosa 81,0, humedad 1,73% y sólidos sedimentables 0,52; y microbiológicos como: recuento de mohos y levaduras 30 UFC/g.

- La relación costo/beneficio para una producción de 236 fundas de 1 kg de panela granulada por día genera en el primer año de producción una ganancia de \$10655,12, el costo de cada unidad será de \$1,38; considerando el flujo acumulado se determina que la inversión se recuperará en 1 año y 5 meses, por tanto, el proyecto es económicamente viable ya que producirá ganancias una vez implementado el proyecto.

RECOMENDACIONES

- Aplicar las buenas prácticas de manufactura (BPM) durante la línea de producción, para asegurar la inocuidad y calidad de la panela granulada.
- Ejecutar un control estricto y permanente de las variables y parámetros del proceso, de manera especial la temperatura de evaporación - concentrado y los grados brix de cada una de las etapas del proceso.
- Socializar el presente proyecto a los socios de la ASOCAP y al personal de trabajo para que una vez consolidado se lleve de manera eficiente considerando cada uno de los lineamientos establecidos.
- Aprovechar los residuos que se generan en el proceso de producción de panela granulada, ya que son subproductos que se convierten en materia prima para diferentes aplicaciones industriales, garantizando de esta manera las economías circulares, la conservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

GLOSARIO

Azúcar invertido: es el rompimiento de la molécula de sacarosa mediante hidrólisis, dando lugar a la formación de dos moléculas glucosa y fructosa en partes iguales, y mediante la acción de ácidos, enzimas y llevado a elevadas temperaturas se produce la inversión (Alvarado, 2018, p. 3).

Azúcar natural: es un producto sólido granulado, comúnmente conocido como panela granulada o pulverizada, de sabor dulce, soluble en agua, de color amarillo, se caracteriza por estar constituida en su totalidad por sacarosa, además no contiene aditivos (Quezada, 2007, pp. 49-50).

Azúcares reductores: son aquellos carbohidratos que actúan como agentes reductores, es decir pueden donar electrones a otra molécula con la que reaccionan, se caracteriza por contener un grupo carbonilo (C=O) en su estructura (COMINTEC).

Azúcar refinado: corresponde al azúcar que ha logrado una pureza entre 99,8 – 99,9% de sacarosa (Quezada, 2007, p. 13).

Bagazo: es el residuo generado luego de la extracción del jugo de la caña de azúcar por cualquier medio, molino o prensa (Fiestas et al, 2013: p. 111).

Cachaza: residuo en forma de torta que se genera en el proceso de clarificación del jugo de caña (Fiestas et al, 2013: p. 111).

Fructosa: es un monosacárido que generalmente se encuentra en la miel y en jugos de frutas, de forma piranósica, sin embargo cuando se combina con otros azúcares como la sacarosa, su forma cíclica es la furanósica (Castillo et al, 2003: pp. 78-79).

Grados brix (°Brix): hace referencia a los sólidos solubles que se encuentran presentes en la solución azucarada (Quezada, 2007, p. 13).

Miel hidrolizada: es un líquido viscoso, altamente soluble en agua, de color café claro brillante, obtenido por concentración de las sustancias azucaradas de la caña, se caracteriza por estar constituido por azúcares invertidos y en menor proporción de sacarosa (Quezada, 2007, p. 14).

Mucílago: es una sustancia de origen orgánico, de textura viscosa extraída de los tallos, hojas, frutos y raíces macerados de algunas especies, que al entrar en contacto con agua o el jugo de

caña, más la acción de calor, eliminan los sólidos en suspensión, las sustancias coloidales y algunos compuestos colorantes presentes en el jugo (Serván, 2018, p. 2).

Refractómetro: es un equipo utilizado para medir la concentración de azúcar o sólidos solubles presente en un jugo o líquidos azucarados (Fiestas et al, 2013: p. 112).

Sacarosa: es un disacárido formado por una molécula de glucosa y otra de fructosa, unidos mediante el enlace glicosídico, edulcorante natural obtenido a partir de la caña de azúcar o remolacha azucarera (Alvarado, 2018, pp. 3-4).

Sobresaturación: es el estado donde la solución contiene mayor cantidad de soluto que un volumen de disolvente pueda disolver (Quezada, 2007, p. 15).

Solubilidad: es la capacidad que tienen los sólidos para disolverse en un disolvente, la solubilidad del soluto suele variar con la temperatura, es decir, a mayor temperatura hay mayor solubilidad (Quezada, 2007, p. 15).

Yausabara: es una planta que contiene gomas y mucílagos en los tallos y una vez extraído es empleado en la agroindustria panelera debido a la capacidad de extraer impurezas presente en el jugo de la caña de azúcar (Quezada, 2007, pp. 68-71).

Trapiche: conocido como molino, empleado para extraer el jugo de la caña de azúcar (Quezada, 2007, p. 14).

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN RODRÍGUEZ, Angela Liliana. Estudio del comportamiento de propiedades físicoquímicas, reológicas y térmicas de jugos y mieles de caña panelera [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 2017. [Consulta: 2020-05-25]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/62531/1/1032447558.2018.pdf>.

AGUILAR RIVERA, D: et al. "Azúcar, coproductos y subproductos en la diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar". *Virtual Pro Procesos Industriales* [En línea], 2010, (México) 106, pp. 17-23. [Consulta: 16 febrero 2020]. ISSN 1900-6241. Disponible en: <http://www.panelamonitor.org/media/docrepo/document/files/azucar-coproductos-y-subproductos-en-la-diversificacion-de-la-agroindustria-de-la-cana-de-azucar.pdf>.

AGUILAR RIVERA, Noé: et al. "Factores de competitividad de la agroindustria de la caña de azúcar en México". *Scielo* [En línea], 2011, (México) 52, pp. 263-267. [Consulta: 14 mayo 2020]. ISSN 1870 - 3925. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v23n52/v23n52a9.pdf>

BENALCÁZAR ALEMÁN, Teresa Anabel. Estudio de prefactibilidad para instalar una empresa panelera en la parroquia de Santa Catalina de Salinas provincia de Imbabura [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2015. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4079>.

CARLOSAMA CHAMORRO, Paola Fernanda. Diseño del plan y documentación para la implementación de buenas prácticas de manufactura para la elaboración de panela granulada para las unidades productivas paneleras de la COPROPAP de Pacto [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2009. pp. 1-14. [Consulta: 15 febrero 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1663>.

CASTILLO MENDEZ, David Alejandro. Plan de exportación de panela orgánica granulada hacia la ciudad de Roma - Italia, con el fin de generar expansión comercial de la empresa BIO CAÑA S.A, ubicada en la Matriz Suncamal, Cantón Cumandá, Provincia de Chimborazo para el año 2014 [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. [Consulta: 18 febrero 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10945>.

CASTILLO URUETA, P: et al. "El consumo de fructosa: riesgos para la salud y la economía". *Revista ciencia* [En línea], 2003, (México) 54, pp. 78-79. [Consulta: 18 mayo 2020]. Disponible en: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/54_2/consumo_fructuosa.pdf

CORPORACIÓN FINANCIERA NACIONAL. *Cultivo de caña de azúcar - elaboración y refinado de azúcar de caña y melaza de caña; remolacha azucarera, etc* [En línea]. 2017. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2018/01/Ficha-Sectorial-Azucar-y-Can%CC%83a.pdf>.

DÁVILA RIVERA , Arbel. Factores que limitan el desarrollo de las agroindustrias de la panela granulada en la provincia de Lamas región San Martín-2018 [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, Tarapoto, Perú. 2018. [Consulta: 2020-05-15]. Disponible en: <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3157/MAEST.GEST.EMP.-ArbelDávilaRivera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ESCOBAR ALVARÉZ, Santiago A.; & SANTILLÁN GARCÉS, Oscar D. Diseño y construcción de un evaporador de simple efecto con serpentín horizontal para la obtención de arequipe [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis de pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2011. [Consulta: 2020-05-29]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1670>.

FIESTAS FARFÁN, Karina; et al. Diseño de una línea de producción de panela granulada [En línea]. (Asignatura de Proyectos) Universidad de Piura, Piura, Perú. 2015. pp. 12-21. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <http://www.panellamonitor.org/documents/1151/disenodeuna-linea-de-produccion-de-panela-granul/download/>.

GEANKOPLIS, Christie. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera edición. México : Contienntal, S.A. de C.V. México, 1998. pp. 126-251.

GIRALDO PRIETO, Pablo A.; & MONTOYA GONZÁLEZ, Carlos F. Propuesta de diseño de planta de procesamientode caña para la elaboración de panela [En línea] (Trabajo de titulación) (Tesis pregrado) Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 2009. p. 21. [Consulta: 2020-05-13]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/928/1/8102356_15370639_2009.pdf.

GUERRERO USEDA, María E.; & ESCOBAR GUZMÁN, Juan D. "Eficiencia técnica de la producción de panela" *Dialnet Revista de Tecnología* [En línea], 2015, (España) 1, pp. 108-113. [Consulta: 14 mayo 2020]. ISSN 1692-1399. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041583>

INFOAGRO. *El cultivo de la caña de azúcar* [blog]. [Consulta: 13 mayo 2020.] Disponible en: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_cana_azucar.asp.

JAFFÉ, Walter R. "Health Effects of Non-Centrifugal Sugar (NCS): a Review". *Researchgate* [En línea], 2012, 2, pp. 88-92. [Consulta: 02 febrero 2020]. ISSN 0972-1525. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257780624_Health_Effects_of_Non-Centrifugal_Sugar_NCS_A_Review

MCCABE, Warren: et al. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. Cuarta edición. España : Mc Graw-Hill, 1998. p.243.

MINAGRICULTURA. Cadena agroindustrial de la panela [En línea]. 2018. [Consulta: 07 junio 2020]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Panela/Documentos/2018-12-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

MOLINA BORJA, F: et al. "Agroindustria panelera: Alternativa para su intensificación" [En línea], 2018, (Ecuador), 10. [Consulta: 16 febrero 2020]. Disponible en: <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Engineering/article/view/1409/3422#info>

MORALES PASTAZA, María F.; & VILLARREAL VALENCIA, Andrés O. Diseño de un plan de marketing para el desarrollo de imagen y el posicionamiento de la Asociación de Cañicultores de Pastaza ASOCAP de la ciudad de Puyo [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis pregrado) Escuela Politécnica Salesiana, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 18-28. [Consulta: 12 mayo 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9557>.

NTE INEN 2332. *Panela granulada. Requisitos*. Quito-Ecuador, 2002.

QUEZADA MORENO, Walter Francisco. *Guía técnica de agroindustria panelera* [en línea] . Ibarra, Ecuado: Creadores gráficos, 2007. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/934/1/Guía_Técnica_de_Agroindustria_Panelera.pdf.

SÁENZ FUENTES, Daniel Ángel. Industrialización de panela granulada orgánica en una planta de producción, ubicada en el cantón Salinas - Ibarra [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis pregrado) Universidad de las Américas, Quito, Ecuador. 2013, pp. 12-44. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/2501/1/UDLA-EC-TIPI-2013-11%28S%29.pdf>.

SERVÁN ALCÁNTARA, Ascensión. Interés Farmacéutico de los Mucílagos [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 2018. pp. 2-4. [Consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82306/TFG%20terminado.pdf>




SUÁREZ ÁLVAREZ, Carolina. Estudio para la creación de una planta productora de panela, bajo el enfoque de producción limpia [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. 2013. pp. 56-63. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/148705.pdf>.



Firmado electrónicamente por:
**JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS**

ANEXOS

Anexo A: Resultados del análisis organoléptico y físico-químico de jugo de caña crudo

 SAQMIC Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos					
Servicio de Análisis Químicos Microbiológicos: Contactos 0998580374 - 03 2924322 Avenida 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba - Ecuador					
INFORME DE ANALISIS					
FECHA: 20 febrero de 2020					
SOLICITADO POR: Sr. Abner Castro					
PROCEDENCIA: Puyo – Ecuador					
TIPO DE MUESTRA: Jugo Fresco de Caña de Azúcar					
EXAMEN FISICO:					
COLOR: Ligeramente verde					
OLOR: Aroma Dulce					
SABOR: Dulce característico					
ASPECTO: Homogéneo opalescente					
EXAMEN QUIMICO					
<i>Parámetro</i>		<i>Unidad</i>	<i>Método</i>	<i>Resultado</i>	
pH		-	NTE-INEN-389	5.41	
Densidad		-	NTE-INEN-391	1.044	
Grados Brix		%	NTE-INEN-380	19.8	
Observaciones:					
FECHA DE ENTREGA: 28 de febrero de 2020					
RESPONSABLE:					
 Dra. Gina Álvarez R. RESPONSABLE DEL LABORATORIO					
Nota: el presente informe solo afecta a la muestra analizada.					
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA		ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO Y FÍSICO-QUÍMICO DE JUGO DE CAÑA CRUDO.	
	Certificado Aprobado Por aprobar Por calificar Aprobado Información	Realizado por: Abner Castro		ESCALA 1:1	FECHA 2020-08-24
				LÁMINA 1	

Anexo B: Resultados del análisis físico, químico y microbiológico de panela granulada



Servicio de Análisis Químicos Microbiológicos: Contactos 0998580374 - 03 2924322
Avenida 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS

FECHA: 21 febrero de 2020
SOLICITADO POR: Sr. Abner Castro
PROCEDENCIA: Puyo - Ecuador
TIPO DE MUESTRA: Panela granulada de ASOCAP

EXAMEN FISICO:

COLOR: Amarillo caramelo
OLOR: Aroma Dulce
SABOR: Dulce característico
ASPECTO: Granular fino homogéneo exento de material extraño

EXAMEN QUIMICO

Parámetro	Unidad	Método	Resultado
pH	-	NTE-INEN-265	5.93
Organoléptico: Color (T 550nm)	-	NTE-INEN-268	61.06
Azúcares Reductores	%	NTE-INEN-266	7.8
Sacarosa	%	NTE-INEN-266	81.0
Humedad	%	NTE-INEN-265	1.73
Sólidos Sedimentables	%	NTE-INEN-388	0.52
Recuento de Mohos y Levaduras	UFC/g	NTE-INEN-1529-10	30

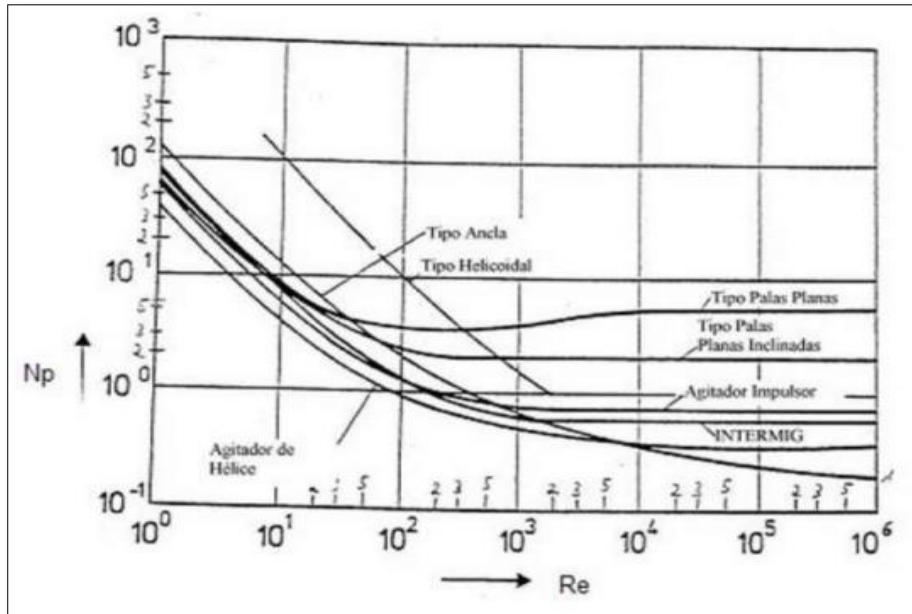
Observaciones:

FECHA DE ENTREGA: 28 de febrero de 2020
RESPONSABLE:  Dra. Gina Álvarez R. RESPONSABLE DEL LABORATORIO


Nota: el presente informe solo afecta a la muestra analizada.

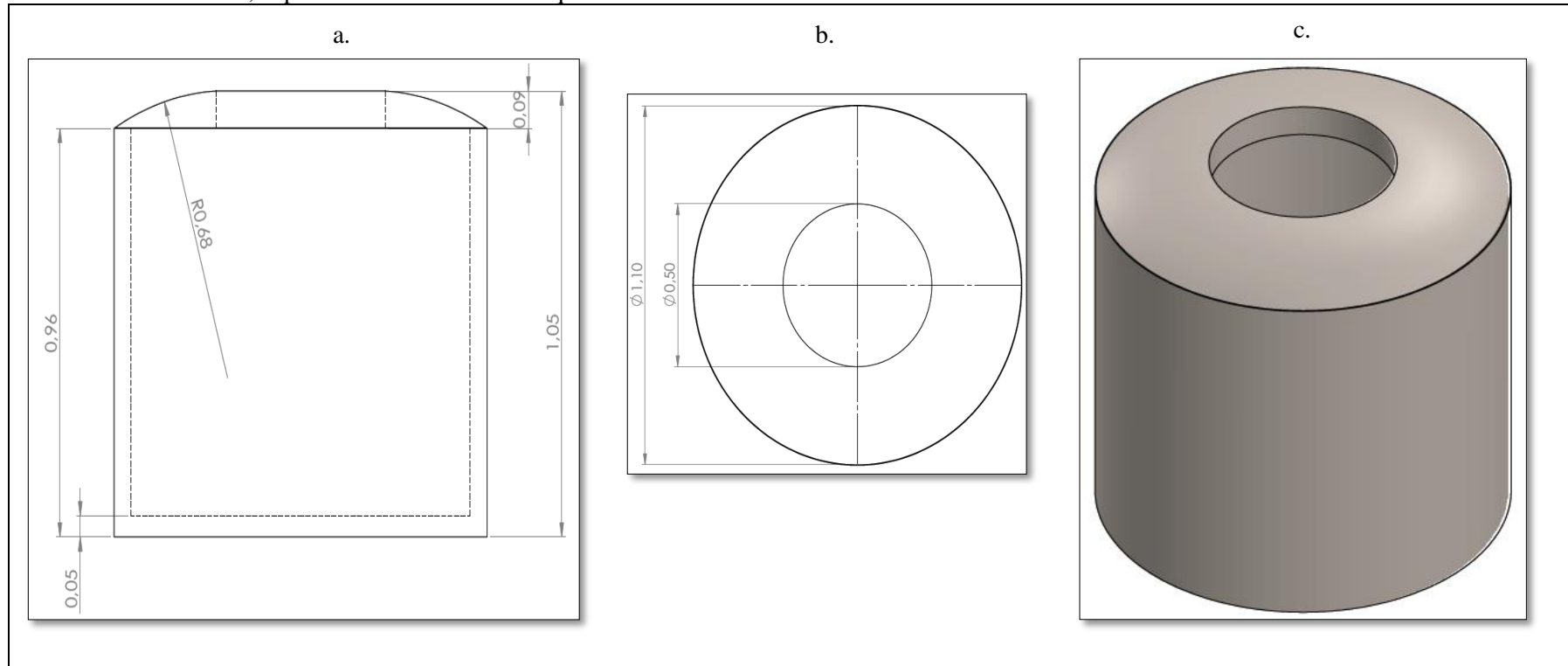
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE PANELA GRANULADA.		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
	Certificado Aprobado Por aprobar Por calificar Aprobado Información	Realizado por: Abner Castro	1:1	2020-08-24	2

Anexo C: Correlación entre número de Reynolds y número de potencia



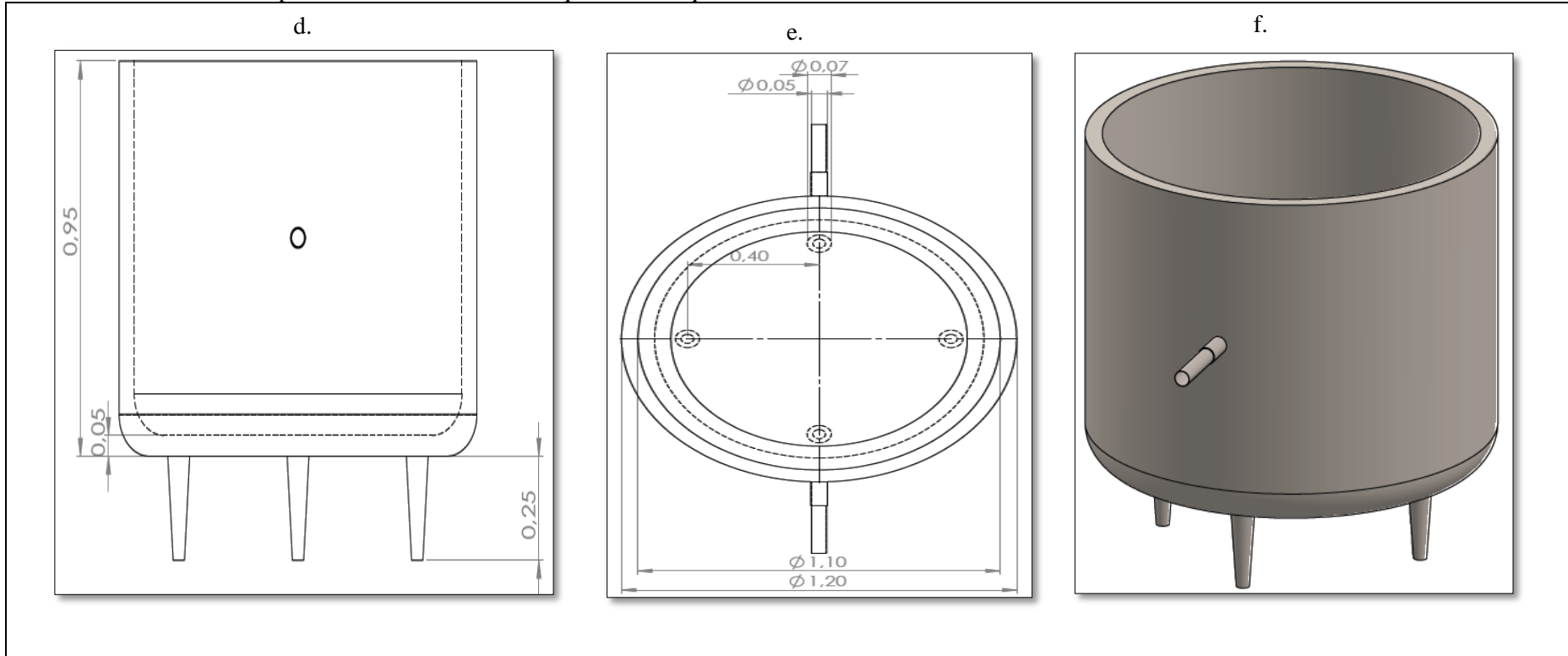
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	CORRELACIÓN ENTRE NÚMERO DE POTENCIA Y NÚMERO DE REYNOLDS.		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
	Certificado Aprobado Por aprobar Por calificar Aprobado Información	Realizado por: Abner Castro	1:1	2020-08-24	3

Anexo D: Vista frontal, superior e isométrica del tanque clarificador



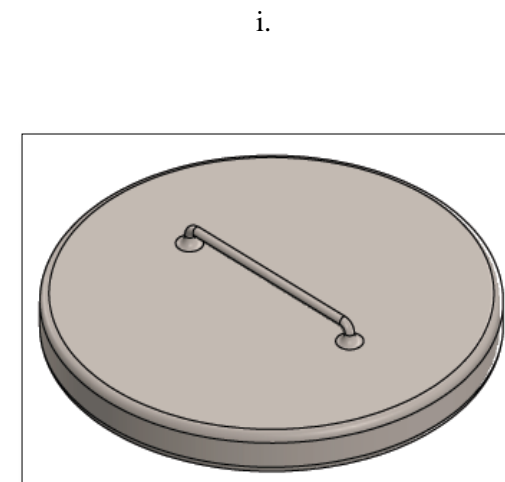
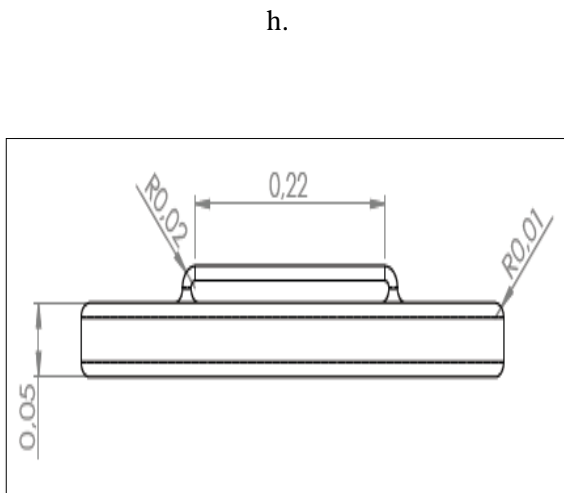
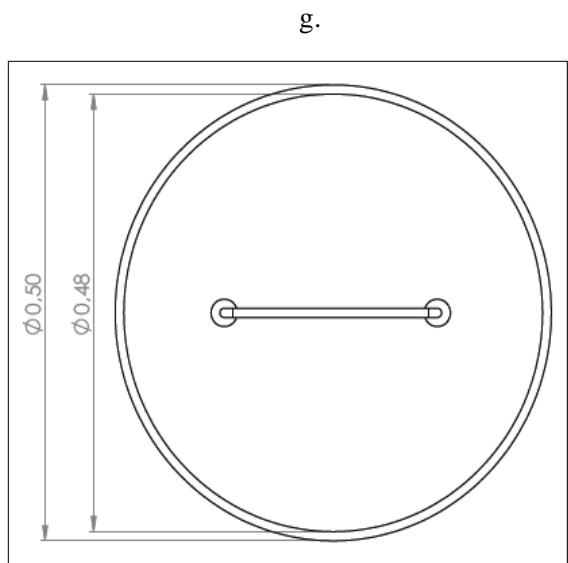
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro</p>	“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”			
a. Vista frontal del tanque clarificador.	Certificado		Por eliminar	ESCALA	FECHA	LÁMINA
b. Vista superior del tanque clarificador.	Aprobado		Por calificar	1:10	2020-08-24	4
c. Vista isométrica del tanque clarificador.	Por aprobar	Información				

Anexo E: Vista frontal, superior e isométrica de la chaqueta del tanque clarificador



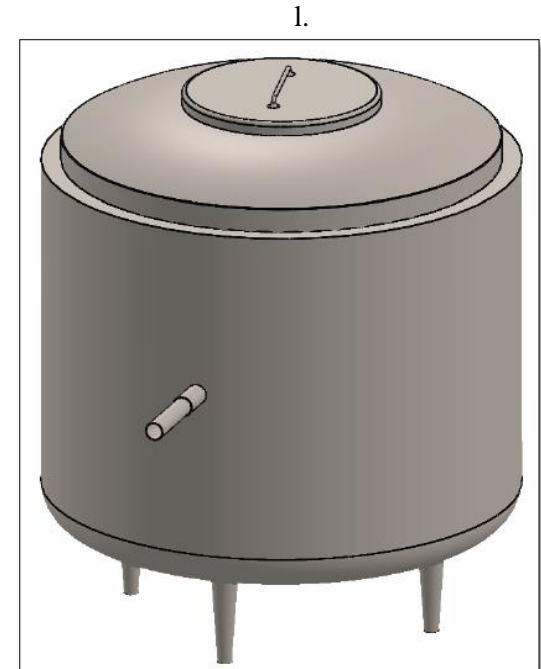
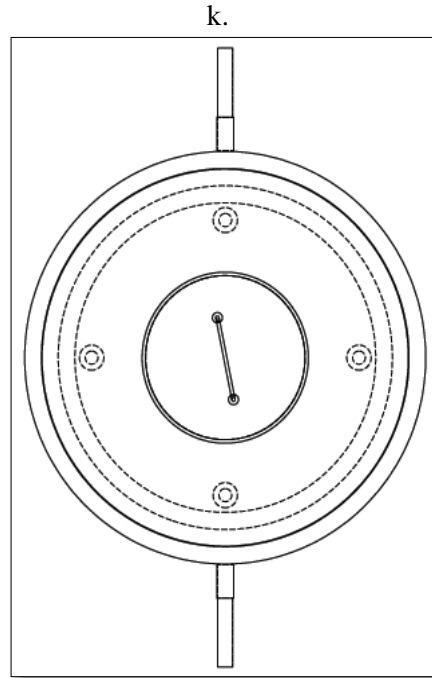
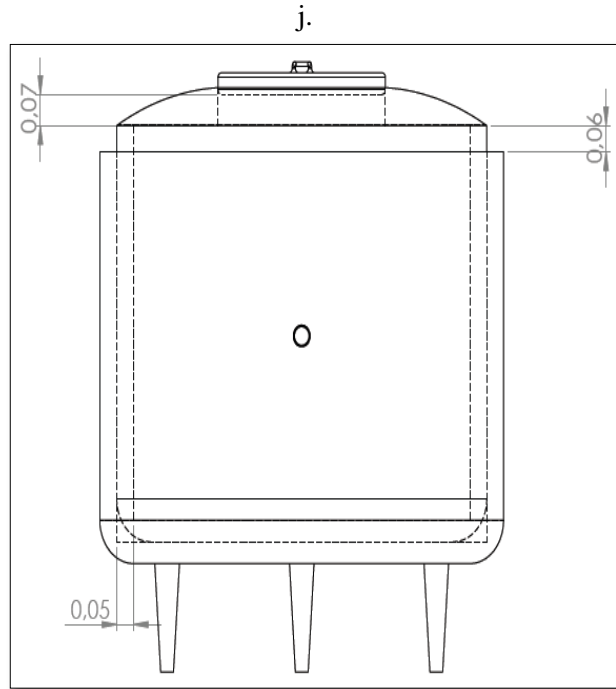
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro</p>	“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”		
d. Vista frontal de chaqueta clarificador.	Certificado	Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
e. Vista superior de chaqueta clarificador.	Aprobado	Por calificar		1:10	2020-08-24	5
f. Vista isométrica de chaqueta clarificador.	Por aprobar	Información				

Anexo F: Vista frontal, superior e isométrica de la tapa del tanque clarificador



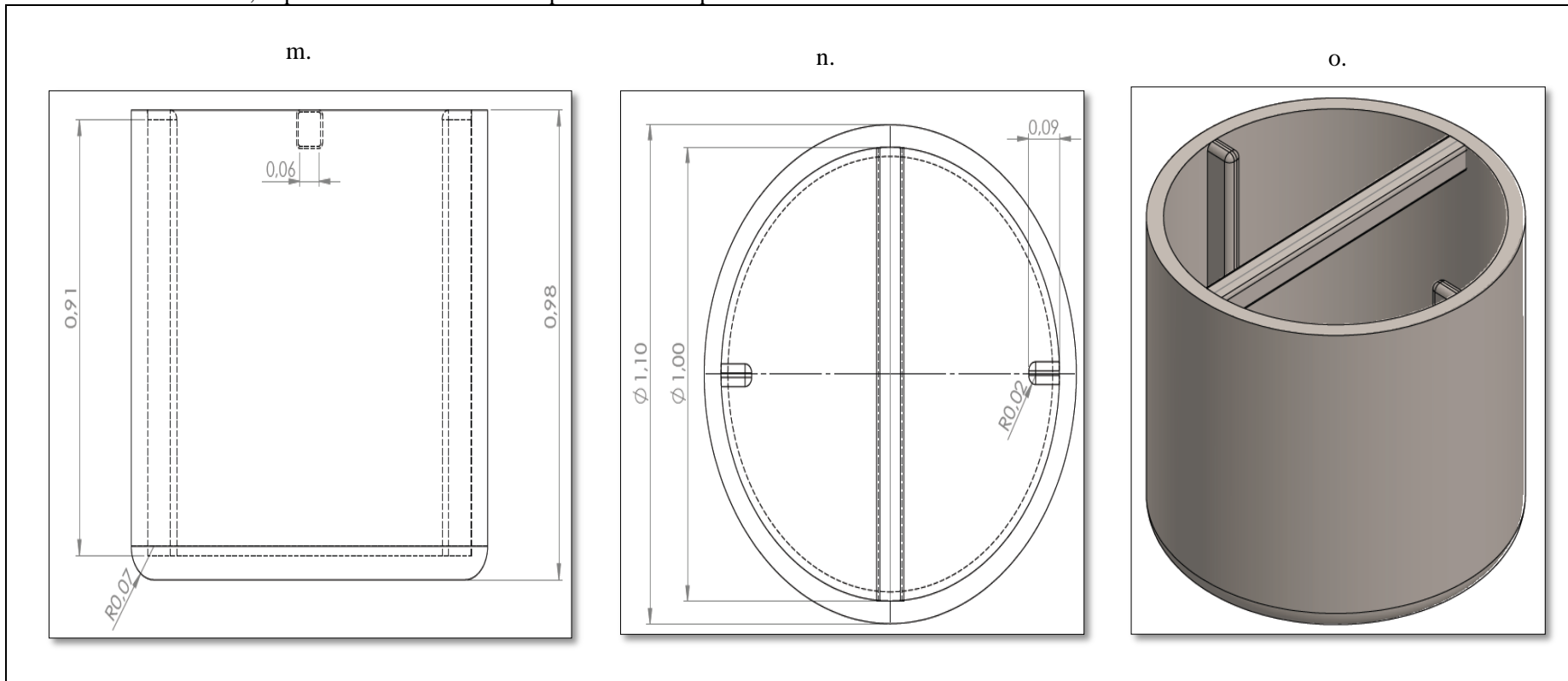
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro</p>	“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
g. Vista frontal de la tapa del clarificador.	Certificado		Por eliminar	1:10	2020-08-24
h. Vista superior de la tapa del clarificador.	Aprobado	Por calificar			
i. Vista isométrica de la tapa del clarificador.	Por aprobar	Información			

Anexo G: Ensamble del tanque clarificador



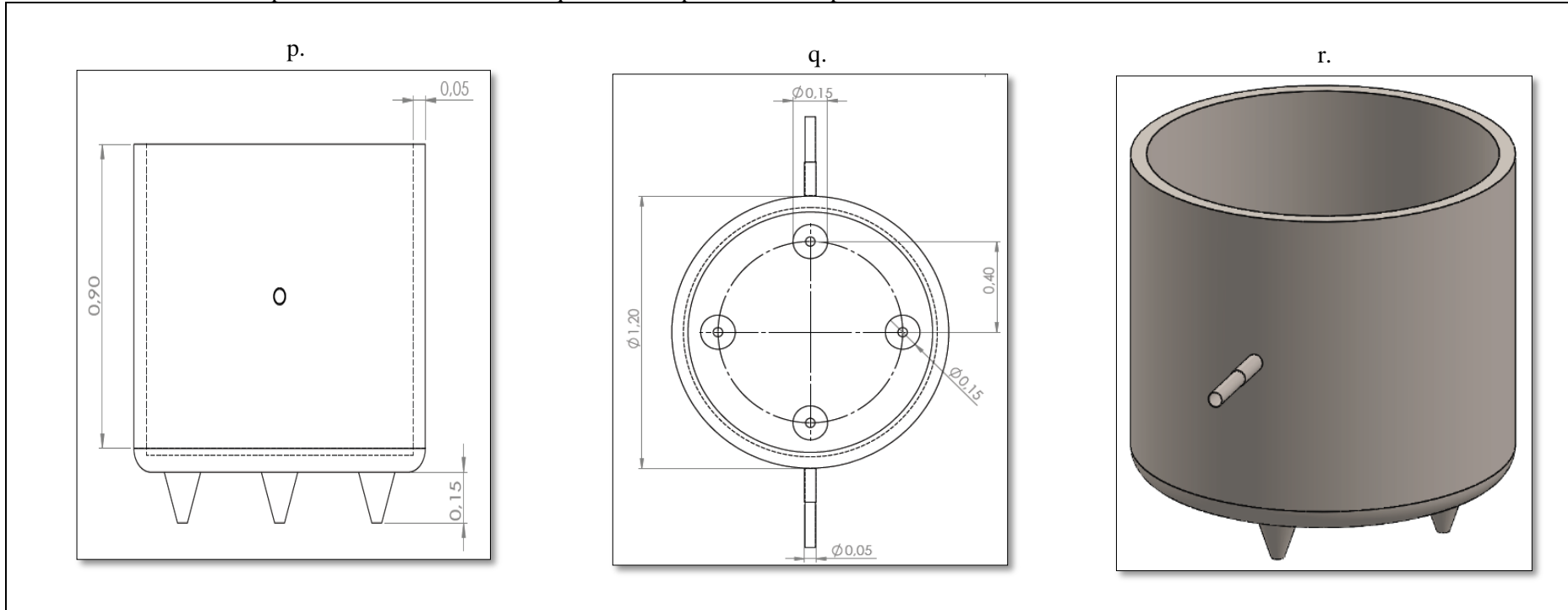
NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro	“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”		
					ESCALA	FECHA	LÁMINA
j.	Vista frontal ensamble clarificador.	Certificado	Por eliminar			1:10	2020-08-24
k.	Vista superior ensamble clarificador.	Aprobado	Por calificar				
l.	Vista isométrica ensamble clarificador.	Por aprobar	Información				

Anexo H: Vista frontal, superior e isométrica del evaporador de simple efecto



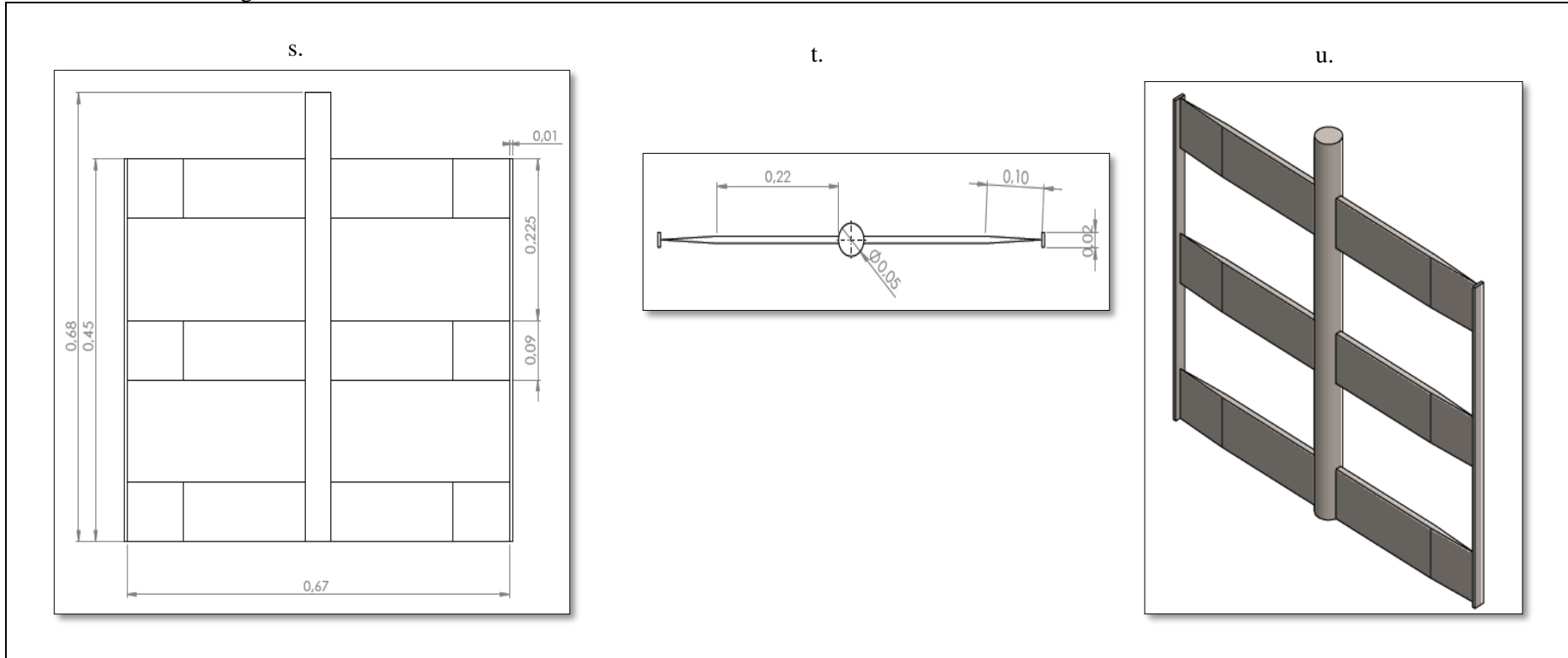
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro</p>	<p style="text-align: center;">“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”</p>		
m. Vista frontal del evaporador.	Certificado Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
n. Vista superior del evaporador o. Vista isométrica del evaporador	Aprobado Por calificar Por aprobar Información		1:10	2020-08-24	8

Anexo I: Vista frontal, superior e isométrica de la chaqueta del evaporador de simple efecto



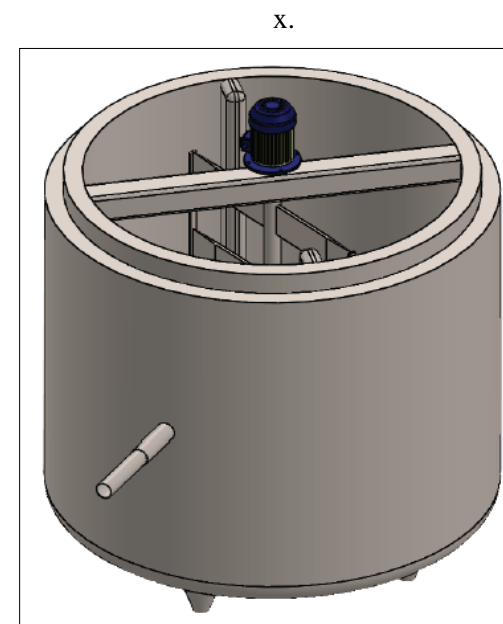
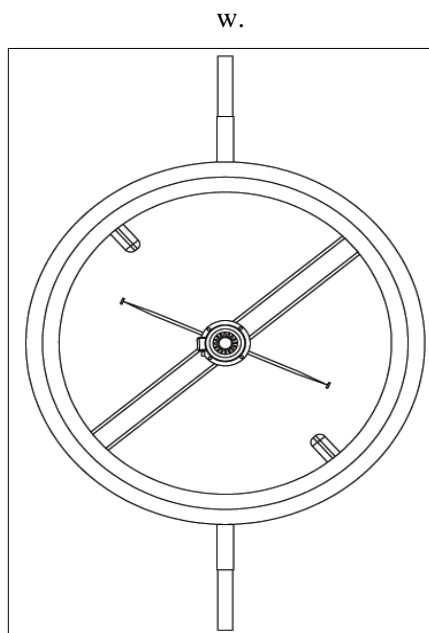
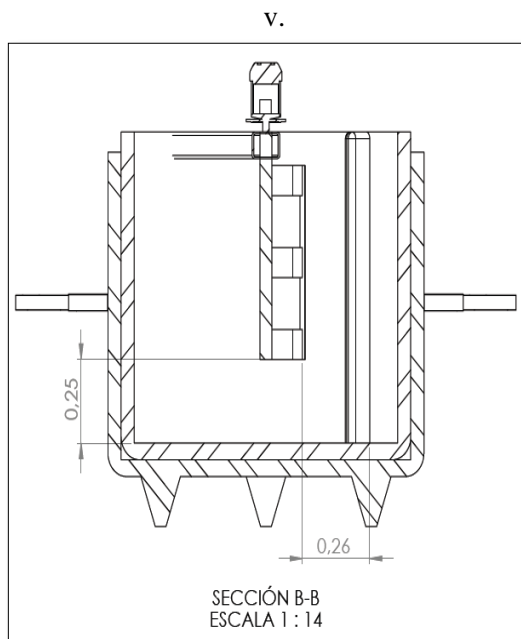
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro</p>	<p style="text-align: center;">“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”</p>			
p. Vista frontal chaqueta del evaporador.	Certificado		Por eliminar	ESCALA	FECHA	LÁMINA
q. Vista superior chaqueta del evaporador.	Aprobado		Por calificar	1:10	2020-08-24	9
r. Vista isométrica chaqueta del evaporador.	Por aprobar	Información				

Anexo J: Sistema de agitación



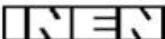
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;"> ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro </p>	<p style="text-align: center;"> “DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA” </p>		
s. Vista frontal del agitador.	Certificado Por eliminar		ESCALA	FECHA	LÁMINA
t. Vista superior de las palas del agitador.	Aprobado Por calificar		1:10	2020-08-24	10
u. Vista isométrica del agitador.	Por aprobar Información				

Anexo K: Ensamble del evaporador de simple efecto y sistema de agitación de palas planas



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA Realizado por: Abner Castro	“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE PANELA GRANULADA A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum officinarum</i>) PARA LA ASOCIACIÓN DE CAÑICULTORES DE PASTAZA”		
					ESCALA	FECHA	LÁMINA
v.	Vista frontal del ensamble del evaporador.	Certificado	Por eliminar		1:10	2020-08-24	11
w.	Vista superior del ensamble del evaporador	Aprobado	Por calificar				
x.	Vista isométrica del evaporador	Por aprobar	Información				

Anexo L: NTE INEN 2332:2002.Panela granulada. Requisitos

CDU: 644.14 ICS: 67.180.10		CIU: 3118 AL 02.04-407
Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	PANELA GRANULADA. REQUISITOS	NTE INEN 2 332:2002 2002-04
<p>1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir la panela granulada destinada para consumo humano.</p> <p>2. DEFINICIONES</p> <p>2.1 Caña de azúcar. Es el tallo procedente de cualquier variedad de la planta gramínea <i>Saccharum officinarum</i> L.</p> <p>2.2 Panela granulada. Producto obtenido por concentración de los jugos de caña de azúcar, hasta la obtención de un jarabe espeso permitiendo a continuación que el jarabe se solidifique y granule por batido.</p> <p>2.3 Panela granulada defectuosa. Es la que presenta uno o más de los siguientes defectos: manchas de color diferente al característico de la panela granulada, consistencia blanda (amelcochada), infestada con insectos vivos, presencia de impurezas o materia extraña.</p> <p>3. CLASIFICACIÓN.</p> <p>3.1 De acuerdo al contenido de sólidos sedimentables y tamaño del grano la panela granulada, se clasifica en:</p> <p>3.1.1 Extra;</p> <p>3.1.2 Primera;</p> <p>3.1.3 Segunda.</p> <p>4. REQUISITOS</p> <p>4.1 Requisitos Específicos. La panela debe cumplir con los requisitos que se establecen en las Tablas 1, 2, 3 y los que a continuación se describen:</p> <p>4.1.1 La panela granulada en cualquiera de sus clases debe estar libre de impurezas.</p> <p>4.1.2 El porcentaje máximo de materias inorgánicas: piedras, arena, polvo, debe ser de 0,1 %.</p> <p>4.1.3 La panela granulada debe sujetarse a las Normas Ecuatorianas correspondientes y a la falta de estas por las de FAO/OMS/CODEX ALIMENTARIUS, en cuanto tiene que ver con los límites de recomendación de residuos de plaguicidas, productos afines y metales pesados.</p> <p>4.1.4 La panela granulada debe estar exenta de compuestos azufrados y de otras sustancias blanqueadoras.</p> <p>4.1.5 La panela granulada no debe contener colorantes artificiales.</p> <p>4.1.6 La panela granulada debe estar exenta de residuos de los siguientes plaguicidas: aldrín, dieldrín, endrín, BHC, campheclor, clordimeform, clordano, DDT, DBCP, lindano, EDB, 2-4-5 T, amitrole, compuestos mercuriales y de plomo, tetracloruro de carbono, leptophos, heptacloro, clorobenzilato, metil paratión, dietil paratión, mirex y dinozeb.</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Tecnología de alimentos, azúcar y productos de azúcar, panela granulada, requisitos</p>		
-1- 2001-012		

4.1.7 La panela granulada debe estar exenta de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*. (según NTE INEN 1529-8)

4.1.8 El contenido de proteína será como mínimo 0,5 %, ensayado de acuerdo a lo que se establece en la NTE INEN 543.

TABLA 1. Requisitos de la Panela Granulada

Requisito	Min	Max	Método de ensayo
Color T (550 nm)	30	75	NTE INEN 268
Azúcar Reductor %	5,5	10	NTE INEN 266
Sacarosa %	75	83	NTE INEN 266
Humedad %	--	3	NTE INEN 265
pH	5,9	-	

TABLA 2. Sólidos sedimentables y granulometría

Panela	Sólidos Sedimentables Max g/100 g de panela	Pase el 100% por tamiz	
		Mm de abertura	No.
Extra	0,1	1,40	14
Primera	0,5	1,70	12
Segunda	1,0	2,00	10
Método de ensayo	NTE INEN 388		

TABLA 3. Requisitos microbiológicos para la Panela Granulada

REQUISITO	n	m	M	c	Método de ensayo
Recuento de mohos y levaduras upc/g	3	$1,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	2	NTE INEN 1529-10

En donde:

- n número de muestras a analizar
- m nivel de buena calidad
- M valor máximo permitido
- c Número de muestras aceptadas con M
- upc unidades propagadoras de colonias

4.2 Requisitos Complementarios

4.2.1 Las instalaciones y bodegas deben cumplir con los requisitos establecidos en el Código de la Salud y sus Reglamentos; además, deben estar limpias y desinfectadas tanto interna como externamente, y estar protegidas contra el ataque de insectos y roedores.

4.2.2 En la zona de manipulación de los alimentos, las estructuras y accesorios elevados deben instalarse de manera que se evite la contaminación directa o indirecta de la panela.

4.2.3 El establecimiento debe disponer de un sistema eficaz de evacuación de efluentes y desechos, el cual deberá mantenerse en todo momento en servicio y buen estado.

4.2.4 El establecimiento debe disponer de vestuarios y retretes adecuados y convenientemente situados.

(Continúa)

- 4.2.5** Los subproductos deben almacenarse de manera que se evite la contaminación de la panela.
- 4.2.6** Debe impedirse el ingreso de todos los animales a las áreas de producción y envasado.
- 4.2.7** En todo momento deben manipularse los envases de forma que se protejan tanto los envases como los cierres contra posibles daños que puedan causar defectos y contaminación de la panela.
- 4.2.8** Los envases conteniendo panela, deben estar almacenados sobre palets (estibas).
- 4.2.9** Las condiciones de almacenamiento, incluida la temperatura, deben ser tales que impidan el deterioro o la contaminación de la panela.
- 4.2.10** Los plaguicidas y productos afines que se utilizan para el control de plagas deben ser los permitidos por la Ley No. 073 (Registro Oficial No. 442 de 1990-05-22)
- 4.2.11** La comercialización de la panela debe cumplir con lo dispuesto en las resoluciones dictadas con sujeción a la Ley de Pesas y Medidas y otras disposiciones legales.
- 4.2.12** En la elaboración de este producto debe cumplirse con las buenas prácticas de manufactura.
- 4.2.13** *Protección del ambiente*
- 4.2.13.1** Los residuos vegetales y otros productos originados durante el proceso y clasificación deben utilizarse o eliminarse de tal manera que no contaminen el ambiente por ejemplo: energía, compost, humus, otros.
- 4.2.13.2** Los residuos de plaguicidas, envases que hayan contenido plaguicidas, envases de plástico no deben eliminarse directamente en el ambiente (cuerpos de agua, alcantarillas, quebradas, otras), podrán ser eliminados, por ejemplo, de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 2 078.

5. INSPECCIÓN Y MUESTREO

- 5.1** El muestreo se efectuará de acuerdo a lo que se establece en la Tabla 4.

TABLA 4. Plan de muestreo para la Panela Granulada

TAMAÑO DEL LOTE UNIDADES	TAMAÑO DE LA MUESTRAS	ACEPTA	RECHAZA
Hasta 25	3	0	1
26 a 90	13	1	2
91 a 150	20	2	3
151 a 280	32	3	4
281 a 500	50	5	6
501 a 1 200	80	7	8
Mayor que 1 201	125	10	11

- 5.2** Si la muestra ensayada no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en esta norma, se rechaza el lote.
- 5.3** En caso de discrepancia se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tales efectos.
- 5.4** Cualquier resultado no satisfactorio en este segundo caso será motivo para rechazar definitivamente el lote.

(Continúa)

6. ENVASADO Y EMBALADO

6.1 La panela podrá ser comercializada en envases que aseguren la protección del producto contra la acción de agentes externos que puedan alterar sus características químicas, físicas, resistir las condiciones de manejo, transporte y almacenamiento; y que salvaguarde las cualidades higiénicas, nutricionales y organolépticas.

6.2 El material del envase debe ser de calidad alimentaria, aprobado por el FDA, inerte y no deberá liberar sustancias tóxicas ni olores o sabores desagradables.

7. ROTULADO

7.1 El rotulado del producto debe cumplir con lo establecido en la NTE INEN 1334-1 y 1334-2.

7.2 No debe contener leyendas de significado ambiguo, ni descripción de características que no puedan ser comprobadas.

(Continúa)





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 01 / 03 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Abner David Castro Nuñez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.
 Firmado electrónicamente por: JHONATAN RODRIGO PARREÑO UQUILLAS
 1-03-2021 0526-DBRAI-UPT-2021