UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

Simulación de una planta multipropósito de la miel y azúcar no centrifugada granulada a partir de caña de azúcar en Pastaza

AUTOR:

Reni Danilo Vinocunga Pillajo

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Amaury Pérez Martínez

Puyo-Pastaza-Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	**100/100**	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	**X**
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**100**

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MONICA PAULINA ECHEVERRIA GUEVARA

Dra. Paulina Echeverría, PhD.
PAR CIEGO

Dado en la ciudad de Puyo, a los **05** días del mes de **agosto** de **2022**

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple con lo requerido.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple con lo requerido.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con lo requerido.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple con lo requerido.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumple con lo requerido.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple con lo requerido.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple con lo requerido.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple con lo requerido.
VALORACIÓN TOTAL	100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	x
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
JOSSELYN PAULINA PICO POMA

Josselyn Paulina Pico Poma
1724332117

Dado en la ciudad de Puyo, a los 11 días del mes de agosto de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Puyo, 02 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Reni Danilo Vinocunga Pillajo, con C.I. 1600789851, con el Tema: "Simulación de una planta multipropósito de la miel y azúcar no centrifugada granulada a partir de caña de azúcar en Pastaza.", de la carrera de Agroindustria. Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular, Dr. Amaury Pérez Martínez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 3%, Informe generado con fecha 2 de agosto de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
AMAURY
PEREZ

Dr. Amaury Pérez Martínez

Docente-tutor del Trabajo de Integración Curricular

Document Information

Analyzed document	TIC-VINOCUNGA PILLAJO DANILO RENNY.docx (D142607868)
Submitted	2022-08-02 16:49:00
Submitted by	
Submitter email	agi2017122@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	amperez.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROYECTO PARCIAL DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIA PANELERA 12.01.2022.docx
Document PROYECTO PARCIAL DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIA PANELERA 12.01.2022.docx (D124722880)
Submitted by: ba.gaonal@uea.edu.ec
Receiver: pmaerez.uea@analysis.urkund.com
6

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROYECTO PARCIAL DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIA PANELERA.docx
Document PROYECTO PARCIAL DISEÑO DE PLANTAS INDUSTRIA PANELERA.docx (D124544262)
Submitted by: ba.gaonal@uea.edu.ec
Receiver: pmaerez.uea@analysis.urkund.com
1

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Gestión Ambiental Parcial II Gaona Bella.pdf
Document Gestión Ambiental Parcial II Gaona Bella.pdf (D129384950)
Submitted by: ba.gaonal@uea.edu.ec
Receiver: vcerda.uea@analysis.urkund.com
1

Entire Document

Simulación de una planta multipropósito de la miel y azúcar no centrifugada granulada a partir de caña de azúcar en Pastaza
Reni Danilo Vinocunga Pillajo 11 agi2017122@uea.edu.ec
Amaury Pérez Martínez 21 amperez@uea.edu.ec
Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agroindustrial (1)

Simulación de una planta multipropósito de la miel y azúcar no centrifugada granulada a partir de caña de azúcar en Pastaza

Reni Danilo Vinocunga Pillajo 1[1]
agi2017122@uea.edu.ec

Amaury Pérez Martínez 2[1]
amperez@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Agroindustrial (1)

Resumen

En la actualidad, la tendencia es diseñar procesos multipropósitos donde se puedan producir más de un producto. En la región amazónica del Ecuador existen procesos multipropósitos que producen de forma artesanal la miel de caña (MC) y la azúcar no centrifugada granulada (PG). Pero estos procesos no fueron concebidos inicialmente para obtener estos dos productos. Por lo que conlleva a que sean procesos de calidad no estandarizada e ineficiente desde el punto de vista técnico y económico. La simulación de procesos se ha convertido en una herramienta imprescindible mejorar los procesos tecnológicos con la utilización de muy pocos recursos y para la toma de decisiones relativas a sistemas complejos. El presente trabajo tuvo como objetivo simular un proceso multipropósito de miel de caña y azúcar no centrifugada granulada a partir de caña como estrategia para el diseño asistido por computadora. La metodología utilizada contiene etapas secuenciales que inician con el análisis de los productos hasta el análisis técnico económico y ambiental y que con el apoyo del Octave se simularon diferentes condiciones de producción. Los modelos matemáticos empleados (económicos, de balance de masa y energía, de diseño del equipamiento y de calidad) permitieron obtener las mejores condiciones de capacidad (60 % PG y 40 % MC), parámetros de operación en la MC (3,5-4,5 de pH, 74-78 de °Brix) y en la PG (concentrador: 5,5-7 de pH, 89-93 °Brix, cristalizador: 5,5-7 de pH, 90-94 de °Brix), estabilidad en los atributos de calidad y económicos (VAN de $ 141 014,59 y TIR de 45,80 %) para ambos productos.

***Palabras Clave**:* calidad; diseño de proceso; factibilidad económica; simulación

Abstract

Currently, the trend is to design multipurpose processes where more than one product can be produced. In the Amazonian region of Ecuador, there are multipurpose processes that produce cane honey (CH) and non-centrifuged granulated sugar (NCS) in an artisanal way. But these processes were not initially conceived to obtain these two products. Therefore, it leads to non-standardized and inefficient quality processes from the technical and economic points of view. Process simulation has become an essential tool to improve technological processes with the use of very few resources and for Decision-making related to complex systems. The objective of the present work was to simulate a multipurpose process of cane syrup and non-centrifuged granulated cane sugar as a computer-aided design strategy. The methodology used contains sequential stages that start with the analysis of the products up

to the economic and environmental technical analysis and that with the support of Octave, different production conditions were simulated. The mathematical models used (economic, mass and energy balance, equipment design, and quality) allowed obtaining the best capacity conditions (60 % NCS and 40 % CH), operating parameters in the CH (3.5-4 .5 pH, 74-78 °Brix) and in the NCS (concentrator: 5.5-7 pH, 89-93 °Brix, crystallizer: 5.5-7 pH, 90-94 °Brix), stability in quality and economic attributes (NPV of $ 141,014.59 and IRR of 45.80 %) for both products.

***Keywords**:* quality; process design; economic feasibility; simulation

1 INTRODUCCIÓN

Los modelos de simulación se han convertido en herramientas imprescindibles en casi cualquier proceso de toma de decisiones relativas a sistemas complejos, como es el caso de los sistemas de manufactura. El diseño de una planta industrial se refiere a un conjunto de procesos en los cuales se combinan máquinas, herramientas, energía, información y trabajo humano, siguiendo una secuencia de operaciones para transformar materiales en productos de mayor valor, para ser comercializados posteriormente (Enriquez & Kolodzie, 2018). El diseño multipropósito representa un conjunto de procesos de tomas de decisiones con el objetivo de asignar los recursos existentes en tareas específicas. La principal problemática en el diseño multipropósito es la determinación del tamaño del lote de la producción. El tamaño de lote está relacionado con el tamaño de la orden de producción, aspecto que requiere la necesidad de desarrollar algoritmos eficaces y eficientes que garantice la calidad del producto (Peña-Arenas & López-Castro, 2016). El diseño industrial debe incluir ideales de anticipación, reflexividad, inclusión y capacidad de respuesta. A su vez, implica que los profesionales instituciones del diseño deben desarrollar capacidades anticipatorias, participativas e integradoras (Hernandez & Goñi, 2020).

La simulación multipropósito es aquella en donde se produce más de un solo bien en un proceso tecnológico. Se debe considerar cómo afectan los cambios en el precio de uno de sus productos a la demanda de los demás, especialmente cuando se tratan de bienes complementarios o sustitutivos (Techane-Bosona, 2021). La empresa multipropósito pueden fijar los precios de cada producto de forma conjunta o según cada división, fijando el precio dependido del producto (Cerón-Palma, 2008). En la actualidad existe una necesidad de instalaciones de procesamiento flexibles para producir más de un producto, el problema de planificación de plantas multipropósito es cada vez más importante. La planificación de estas plantas implica procedimientos y procesos de asignación de equipos disponibles en un período de tiempo para realizar una serie de tareas necesarias para fabricar uno o más productos (Király et al., 2014). La principal ventaja de una planta multipropósito es la flexibilidad que permite a un sistema de producción realizar variaciones a través de cambios en las conexiones entre sus elementos, de esta forma se pueden llevar a cabo diferentes procesos entre los distintos equipos en los que se realizan determinadas operaciones básicas (Rauch, 2006).

En la mayoría de las fábricas paneleras se obtiene panela en bloque muy escasamente miel

de caña (MC) y azúcar no centrifugada granulada (Panela granulada, PG). La agroindustria de PG y MC es de tipo rural, tradicional y artesanal en todo el mundo, caracterizándose por una producción poco organizada, en la cual no se controlan las condiciones de proceso ni las características del producto terminado (Virginia et al., 2008). El proceso de planificación y programación de diseño en la producción a mediana escala o artesanal no está acompañado de herramientas que permitan eficiencia y eficacia en el desarrollo de sus operaciones, por lo tanto, existe una errónea programación diseño lo cual conlleva efectos importantes en pérdida de eficiencia, productividad y aprovechamiento de la materia prima, incidiendo directamente en los costos de producción. Es necesario que las empresas empiecen el camino hacia la mejora continua implantando un correcto sistema de programación de la producción (Ortiz-Triana & Caicedo-Rolón, 2015). La correcta implementación de ingeniería de sistemas de proceso proporcionaría una planta agroindustrial autosostenible económicamente y una planta respetuosa con el medio ambiente. Además, mejoraría el ingreso y calidad de vida de los habitantes de bajos ingresos.

La producción y consumo de azúcar no centrifugada en forma de bloque sólido a nivel mundial, se acerca a los 13 millones de toneladas anuales en América Latina y el Caribe, se estima la existencia de cerca de 50 000 trapiches que en conjunto vinculan a más de un millón de personas (Quezada-Moreno et al., 2016). Las tendencias del mercado actual muestran que los clientes potenciales se inclinan por conocer el valor nutricional de los productos que consumen, es por ello que el consumo de productos orgánicos ha aumentado considerablemente en los últimos año (Cerda et al., 2020). Además, esto se debe a que se prefiere comer alimentos que no posean ni aditivos químicos, ni sustancias de origen sintético. Debido al futuro potencial de edulcorantes orgánicos y a la popularidad e importancia de los edulcorantes se abre la alternativa de introducir en el mercado productos sustitutos como la PG y MC en razón que tiene menor cantidad de calorías respecto al azúcar y miel de abeja, además resulta más económica (Cerda et al., 2020). La producción de PG y MC en Ecuador se está convirtiendo en una actividad productiva importante en comunidades rurales, teniendo un gran impacto social y económico, al permitir a familias de escasos recursos poder realizar actividades productivas que le permitan mejorar su calidad de vida, pues los ingresos por las ventas de la PG y MC van directamente al productor (familia) (La Madrid & Santamaría, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue simular un proceso multipropósito de PG y MC a partir de caña de azúcar en Pastaza como estrategia para el diseño asistido por computadora. Se tomaron como criterios para el diseño los atributos de calidad de la azúcar no centrifugada granulada y la miel de caña de azúcar. Adicionalmente, se determinaron las condiciones de operación del proceso tecnológico para diferentes cantidades de producción de ambos productos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1 Criterios metodológicos para el diseño y/o simulación del proceso

La metodología utilizada fue una modificación de la propuesta por Pérez-Martínez et al. (2013). En la Figura 2-1 se muestra el diagrama heurístico propuesto para la simulación multipropósito de PG y MC.



Figura 2-1. Metodología para la simulación multipropósito de MC y PG.

Fuente: Adaptado de (Pérez-Martínez et al., 2013)

Debido a la gran flexibilidad que las plantas multipropósito confieren a las instalaciones de procesamiento, son el modo de producción preferido para una gran cantidad de productos (Fumero et al., 2013). Esta flexibilidad de producción permite respuestas rápidas para satisfacer los requisitos del mercado sujetos a fluctuaciones en el tiempo. En la Tabla 2-1 se muestra la descripción de los pasos secuenciales empleados en la simulación multipropósito.

Tabla 2-1. Descripción de los pasos metodológicos para el diseño del proceso multipropósito

No	Pasos de Metodología	Descripción y aplicación a este estudio.
1	Productos demandados	Determinar los productos 1, 2, n+1 a realizar mediante estudio de mercado previo, cantidad y criterios de calidad, operaciones unitarias involucradas en su producción.

2	Selección de tecnología	El objetivo es seleccionar y determinar las materias primas, además las tecnologías involucradas en la producción de los productos
3	¿Existen operaciones y proceso unitarios en común?	Reconocer e identificar las operaciones y proceso unitarios en común a través de la revisión literaria realizada en la selección de tecnología. Si la respuesta es afirmativa en este paso se procede a un diseño multipropósito, si la respuesta es negativa corresponde un diseño monopropósito.
4	Monopropósito	Diseño industrial de una planta cuya característica es la producción de un solo producto durante el proceso tecnológico.
5	Multipropósito	Diseño industrial de una planta donde se produce más de un producto utilizando o no todas las operaciones unitarias involucradas en el proceso tecnológico.
6	Definición de esquema tecnológico	Definir el esquema tecnológico del proceso, una vez se haya reconocido el tipo de producción multipropósito o monopropósito. Además, en este paso se debe considerar las condiciones de operación y las propiedades asociadas a las corrientes.
7	Estimación de la capacidad	Estimar la capacidad de la planta de los productos 1, 2, n+1 a partir de los indicadores sociales (demanda del mercado). Realizar énfasis en la estimación de capacidad con aquel producto que presente mayor demanda de consumo en el mercado.
8	Macrolocalización	Determinar una adecuada ubicación geográfica para la implementación de la planta el principal factor en este paso es la disminución de costo de transportación de las materias primas y los productos terminados.
9	Balances de masa y energía	El objetivo es determinar el caudal y composición de todas las corrientes involucradas en el proceso (materia prima, intermedia, final), con el fin de aprovechar la energía y los materiales involucrados.
10	¿Consumo de materia prima < disponibilidad de materia prima?	Este paso consiste en la toma de decisión cuyo objetivo es comparar la disponibilidad de las materias primas con el consumo de las materias primas (paso 9). Si el consumo es mayor que la disponibilidad existente, debe retornarse a estimación de capacidad (paso 7) y debe fijarse una capacidad menor.
11	¿Se pueden realizar modificaciones tecnológicas?	Este paso consiste en la toma de decisión cuyo objetivo es elegir entre la posibilidad de realizar modificaciones tecnológicas o seleccionar una nueva tecnología. Si la respuesta es afirmativa se debe regresar a definir el esquema tecnológico (paso 6) por

		el contrario si la respuesta es negativa se regresa a la selección de tecnología (paso 2)
12	¿Ambientalmente compatible?	Comparar las cantidades residuales liquidas, gaseosas y sólidas "análisis de las cantidades de corrientes residuales" con las regulaciones establecidas para el vertimiento de estos residuales. Si los resultados residuales cumplen con los requerimientos ambientes establecidos se prosigue con el paso 13, si la respuesta fue negativa en los requerimientos ambientes se ingresa al paso 11
13	Diseño de equipos y costo de adquisición	Determinación de los parámetros de diseño y capacidad de los equipos, a partir de los resultados obtenidos de los balances de masa y energía. Obtención del costo de adquisición a partir de los parámetros de diseño.
14	Disponibilidad de equipos	Cálculo del número óptimo de equipos redundantes que se debe adquirir e instalar para que la disponibilidad del equipamiento sea máxima y aumentar el tiempo real de operación de la planta.
15	Análisis económico de inversión y producción	Determinar los indicadores económicos entre los más importantes para el diseño óptimo de una planta existen el valor actual neto (VAN), tasa interna de rentabilidad (TIR), el periodo de recuperación (PR) y el margen de ganancias
16	¿Alternativa económicamente factible?	En este paso se valora si la tecnología es factible o no desde el punto de vista económico a través de los indicadores económicos (paso 15). Si los indicadores económicos no son rentables se retorna al paso 11.
17	¿Existen otras tecnologías?	Comparación de las alternativas que resultaron ser económicamente factibles y medioambientalmente compatibles.
18	¿Existen de nuevas capacidades?	Análisis de nuevas capacidades para la mejor alternativa tecnológica, en función de la demanda del producto. En este paso se puede mejorar el nivel de satisfacción de la demanda (indicador social), afectando así la dimensión social.
19	Tecnología multipropósito y capacidad óptima	Selección de la mejor alternativa tecnológica, medioambiental y económica en función de los avances tecnológicos, la competitividad, la productividad, la calidad de los productos y su compatibilidad ambiental.

Fuente: Adaptado de (Albernas-Carvajal et al., 2012; Pérez-Martínez et al., 2013)

Para la predicción del modelo matemático de consumo de materia prima, consumo de jugo de caña, consumo de energía, vertimiento de residuos sólidos y residuos gaseosos se utilizaron los modelos matemáticos propuestos por Cerda et al. (2020). El costo de

adquisición de los equipos se determinó a partir de los parámetros de diseño que los caracterizan. La capacidad se determinó mediante un ajuste de escala y actualización de los costos según lo propuesto por Peters et al. (2003). La simulación se realizó en el programa Octave para el diseño y simulación del proceso. Se elaboró una interfaz de usuario en la toolbox de gui development de Octave con el objetivo de mejorar la interacción entre la simulación multipropósito y el usuario.

2.2 Consideraciones para la simulación y el diseño multipropósito

En el diseño multipropósito se determinó tres tipos de lotes de 10, 120 y 1560 como en el trabajo propuesto por Cerda-Mejía et al. (2016). En donde 10 lotes comprende la producción de un día, 120 lotes equivalen a la producción de un mes y 1560 lotes corresponde a la producción de un año. Los 3 tipos de lotes se dividieron en (20 % PG y 80 % MC), (40 % PG y 60 % MC), (60 % PG y 40 % MC), (80 % PG y 20 % MC), 100 % PG y 100 % MC. Cada lote multipropósito se simuló 5 veces (Tabla 2-2). Las operaciones unitarias en común en el proceso multipropósito se programaron en un script. Las ecuaciones planteadas se agruparon en balances de masa, de energía, diseño de equipamiento, indicadores ambientales, análisis económico, modelos para los atributos de calidad, determinación del nivel sigma, y los lotes defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) (Cerda-Mejía et al., 2021).

Tabla 2-2. Producción multipropósito simulada

Producción	Lote	No. Simulación
100 % de PG y 0 % MC	10, 120 y 1560	5
80 % de PG y 20 % MC	10, 120 y 1560	5
60 % de PG y 40 % MC	10, 120 y 1560	5
40 % de PG y 60 % MC	10, 120 y 1560	5
20 % de PG y 80 % MC	10, 120 y 1560	5
0 % de PG y 100 % MC	10, 120 y 1560	5

Fuente: Elaboración propia

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Productos

La PG es un edulcorante tradicional mínimamente procesado de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*). Es un producto granulado sin refinar con un sabor y aroma característicos, la PG se obtiene por evaporación del jugo de caña de azúcar (Escobar et al., 2018). La sacarosa es el componente más importante (65 % a 85 %), seguido de azúcares reductores (10 % a 15 %), agua (3 % a 10 %) y materias insolubles como grasas, proteínas, minerales, hierro y fósforo (<1 %) (Velásquez et al., 2019). El atributo de calidad en la PG es el color cuya unidad es el color ICUMSA (IU). La Comisión Internacional para Métodos Uniformes de Análisis de Azúcar (ICUMSA) tiene varios métodos para la determinación colorimétrica de azúcar en una concentración conocida. Además, (IU) sirve como estándar internacional para la medición del color en la industria azucarera, lo que facilita el comercio

(Saska, 2000).

La MC resulta de un proceso de hidrólisis. Es un carbohidrato que está constituida principalmente por azúcares invertidos y sacarosa. Es viscosa de color marrón translúcido y claro o brillante, o amarillo ámbar (Quezada et al., 2016). La hidrólisis de sacarosa en azúcar invertido se obtiene por acción de altas temperaturas. La inversión de sacarosa de la caña de azúcar del jugo comienza a 80 °C depende de factores como el pH, la temperatura y la duración de la ebullición (Chungu et al., 2001). Según Quezada et al, (2016) los atributos de calidad organolépticos en la MC son la viscosidad, sabor y presencia de cristales.

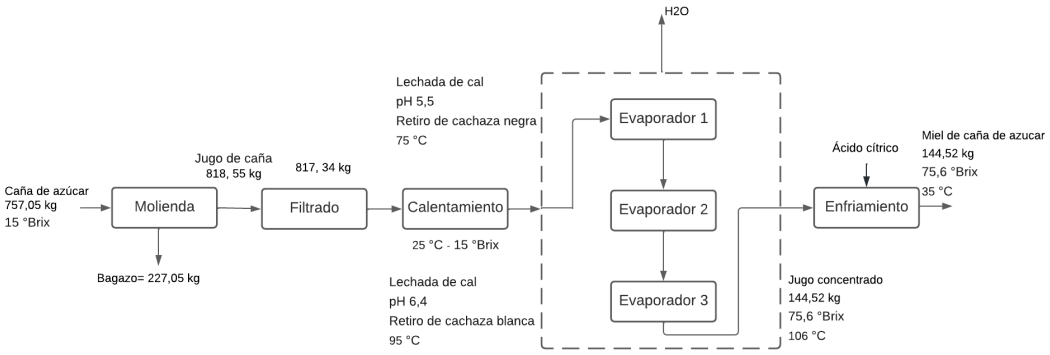
3.2 Selección de la tecnología

Se analizaron las tecnologías propuestas por (Cerda-Mejía et al., 2021) para la producción de MC (Figura 3-1A), mientras para la producción de PG se tomó como referencia la tecnología propuestas por (Cerda-Mejía et al., 2019) (Figura 3-1B).

3.3 ¿Existe operaciones y procesos unitarios en común?

La PG y MC productos son derivados de la agroindustria panelera inician con la molienda de la caña de azúcar (Figura 3-1) con el objetivo de extraer el jugo de caña de azúcar, como subproducto de esta operación unitaria tenemos bagazo, seguidamente, el jugo de caña pasa a un proceso de filtrado donde se retira impurezas y el bagacillo (Quezada-Moreno et al., 2016), a continuación, el jugo filtrado es sometido a un calentamiento. Inmediatamente el jugo pasa por 3 evaporaciones (Cerda-Mejía et al., 2016). Con el objetivo de regular el pH el en jugo de caña se agrega dos tandas de lechadas de cal (Virginia et al., 2008). Los procesos y operaciones unitarias anteriormente descritas son las etapas en común en la PG y MC.

A



B

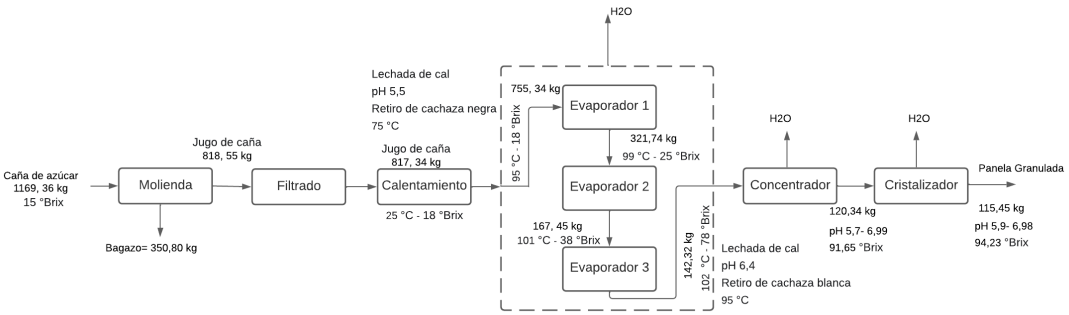


Figura 3-1. Diagrama del proceso de producción de MC (A) y diagrama del proceso de producción PG (B).

Fuente: (Cerda-Mejía et al., 2021; Cerda-Mejía et al., 2019)

3.4 Diseño multipropósito

Se reconoció las diferentes e idénticas operaciones unitarias y procesos en el diseño multipropósito. En la Figura 3-2 se visualiza que durante la producción de MC las operaciones unitarias de enfriamiento y la hidrolisis de la miel con la adición del ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) son intrínsecas de MC. En la producción de PG las operaciones unitarias propias del producto, es la concentración donde alcanzan un contenido de sólidos solubles entre 88 a 92 °Brix (Virginia et al., 2008). Además, de la operación unitaria de cristalización donde presente un rango entre 92 a 94 °Brix (Cerda-Mejía et al., 2019). La molienda, filtrado y evaporación 1, 2 y 3 son operaciones unitarias que comparten la PG y MC.

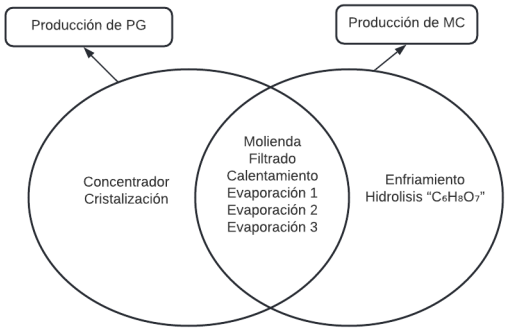


Figura 3-2. Diferencia y similitudes entre la producción de PG y MC.

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Definir el esquema tecnológico

Una vez identificadas las operaciones unitarias se planteó el esquema tecnológico multipropósito (Figura 3-3). Según Albernas-Carvajal et al. (2012), un diseño multipropósito es aquel donde los productos no necesariamente siguen los mismos procesos y operaciones unitarias o requieren de todas las etapas a través del proceso de producción y se obtienen productos distintos al mismo tiempo y un mismo producto puede seguir caminos diferentes

a través del proceso tecnológico.

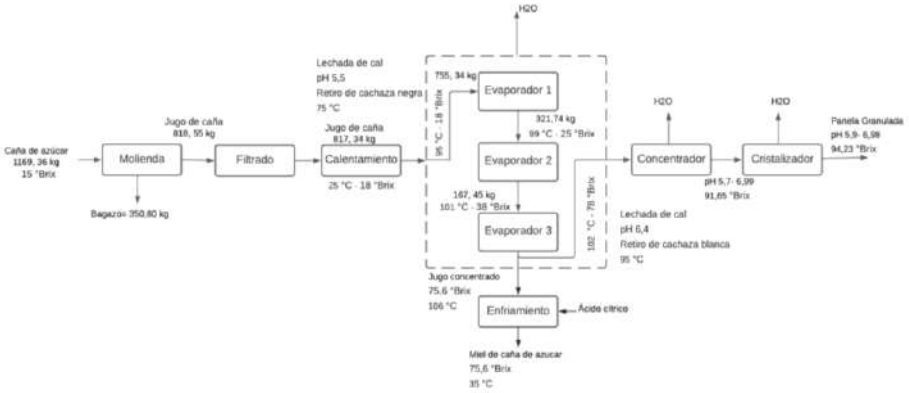


Figura 3-3. Diagrama del proceso multipropósito

Fuente: Elaboración propia

3.6 Estimación de la capacidad

Según Ramírez (2008) por cada hectárea cultivada se obtiene 70 toneladas de caña de azúcar, y por cada tonelada de caña de azúcar se puede obtener entre 58 % a 63 % de rendimiento (FAO, 2014). La provincia de Pastaza produce 2 925 ha exclusivamente para PG y miel (Carvajal-Padilla et al., 2021). Por lo tanto, se tiene (11 8795- 12 9036,6) toneladas de jugo de caña en la provincia de Pastaza. Se estima una capacidad tentativa de producción multipropósito de 2 000 kg

3.7 Macrolocalización

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza (2011), en las parroquias Puyo y Tarqui se producen la mayor producción de caña de azúcar. Las parroquias de Puyo y Tarqui son idóneas para la creación de la planta multipropósito.

3.8 Balance de masa y energía

Se realizaron los balances de masa y energía correspondientes a cada uno de los equipos que conforman la producción multipropósito. En donde se identificó el flujo de caña que ingresa al molino es de 1 155,89 kg con 15 °Brix con una cantidad de bagazo de 346,76 kg. La cantidad de jugo de caña que ingresa al filtrador es de 809,12 kg con un bagacillo de 54,48 kg. El jugo de caña que entra al calentador es de 754,64 kg con un pH de 5,5 posteriormente el flujo en el evaporador 1 es 148,45 kg con 25 °Brix en el evaporado 2 el flujo es de 133,17 kg con 38 °Brix. La cantidad del flujo en el evaporador 3 con 78 °Brix se distribuye según el porcentaje multipropósito simulado (Tabla 3-1). Se puede analizar un eficacia de los equipos similar al trabajo por Cerda-Mejía et al. (2016).

Tabla 3-1. Resultados balances de masa

VARIABLE	100 % PG 0 % MC	20 % PG 80 % MC	40 % PG 60 % MC	60 % PG 40 % MC	80 % PG 20 % MC	0 % PG 100 % MC

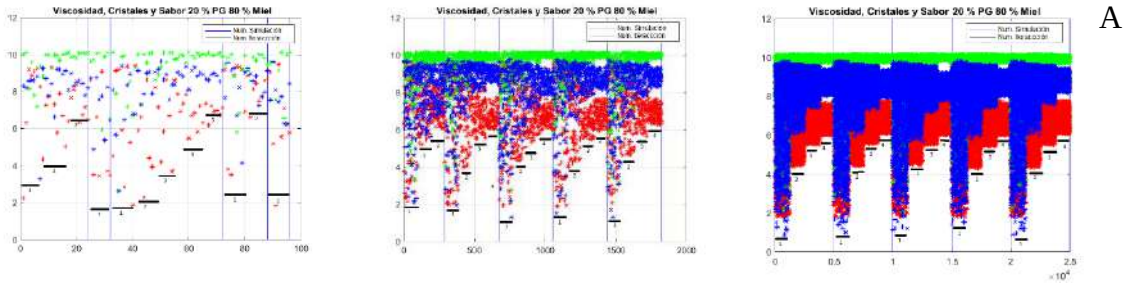
JCSEvap3 (kg)	116,09	116,09	116,09	116,09	116,09	116,09
Miel (kg)	0	92,87	69,65	46,43	23,21	116,09
JCEEvap4(kg)	116,09	23,21	46,43	69,65	92,87	0
JCSSecdr(kg)	101,29	20,38	40,72	61,17	81,31	0

Fuente: Elaboración propia

En donde JCSEvap3: Jugo de caña que sale del evaporador 3, JCEEvap4: Jugo de caña que entra al evaporador 4 y JCSSecdr: Jugo de caña que sale del secador

A partir de los resultados de los balance de masa y energía se determinó la eficiencia de la producción multipropósito, lo cual se realizó mediante el nivel sigma, además permite cuantificar los lotes defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) (Keller, 2011). Las iteraciones durante la simulación en la PG y MC se producen cuando los atributos de calidad no alcanzan un nivel sigma igual o mayor a 3. Se generaron valores aleatorios con distribución Beta en la producción de MC las variables del atributo de calidad fueron la viscosidad, sabor y presencias de cristales. El rango aleatorio fue entre 3,5-4,5 de pH, 74-78 de °Brix (Cerda-Mejía et al., 2021). En la Figura 3-4 se presenta el comportamiento de la presencia de cristales (verde), sabor (azul) y viscosidad (rojo) en la MC. Se puede analizar que los 3 tipos de lotes de 100 % (Figura 3-4 E) de MC requieren varias iteraciones para alcanzar una producción aceptable, por lo tanto, el comportamiento de la producción de 100% de miel será transmitido a los lotes multipropósito. El objetivo de las iteraciones es reducir la incertidumbre de los atributos de calidad de la MC hasta que los valores de los tres atributos permitan que el valor del nivel sigma sea superior o igual a 3. A diferencia de los resultados reportado por Cerda-Mejía et al. (2021), estos no concuerdan con el presente trabajo. Esto se debe principalmente por la naturaleza multipropósito, por consiguiente, las simulaciones de los lotes multipropósito en la producción de PG y MC requieren un elevado número de iteraciones para alcanzar una producción aceptable.

10 120 1560



A

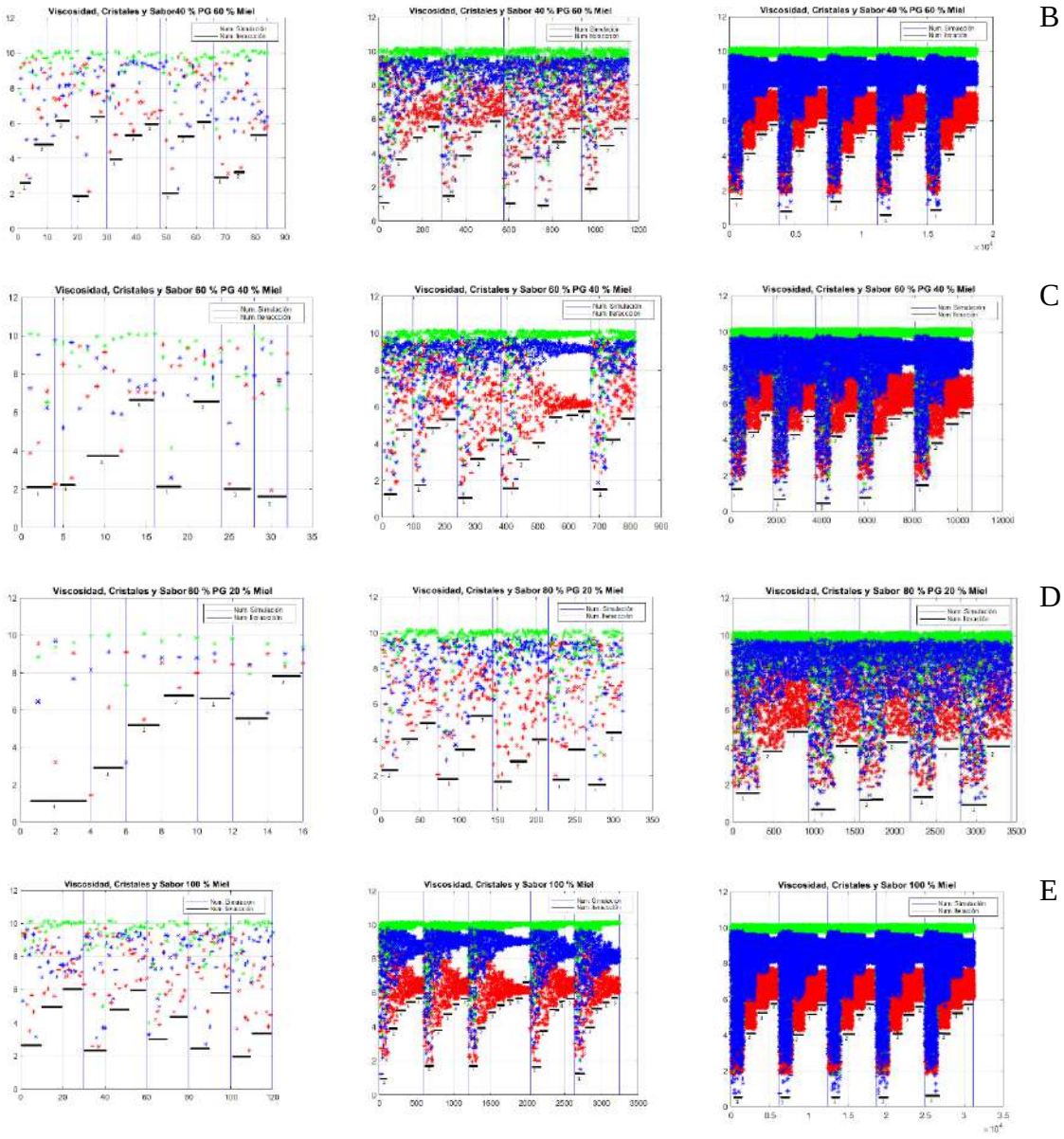
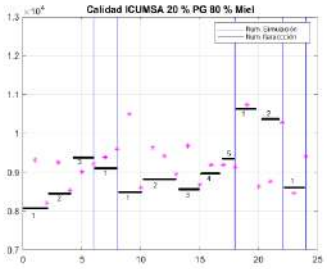
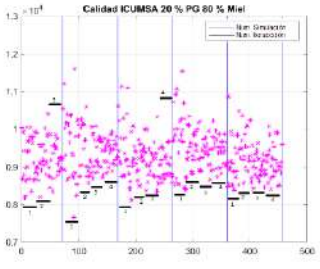
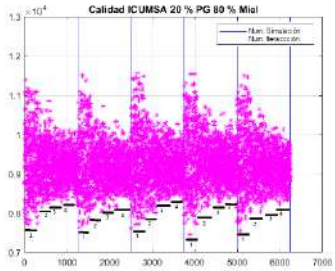
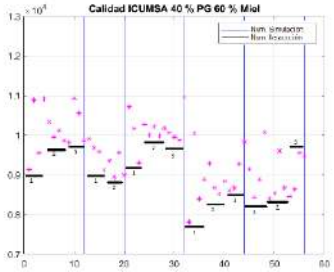
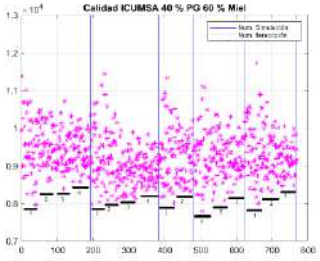
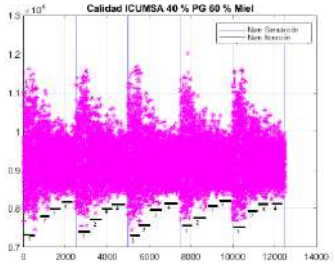
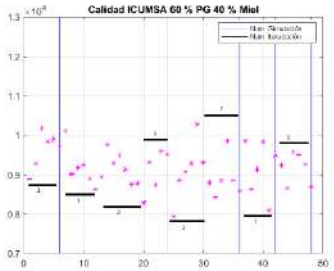
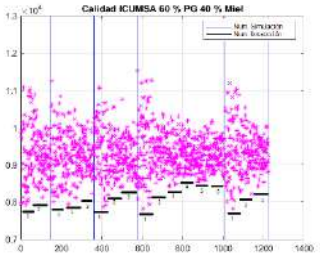
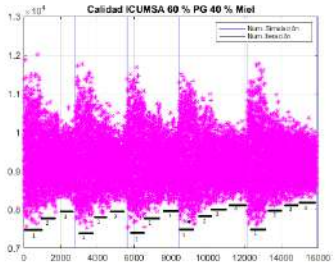
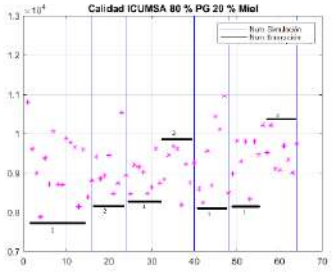
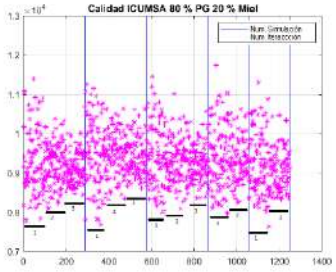
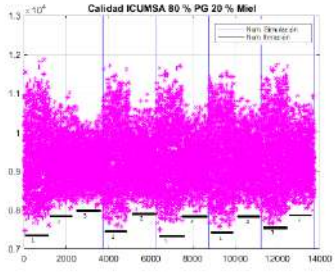


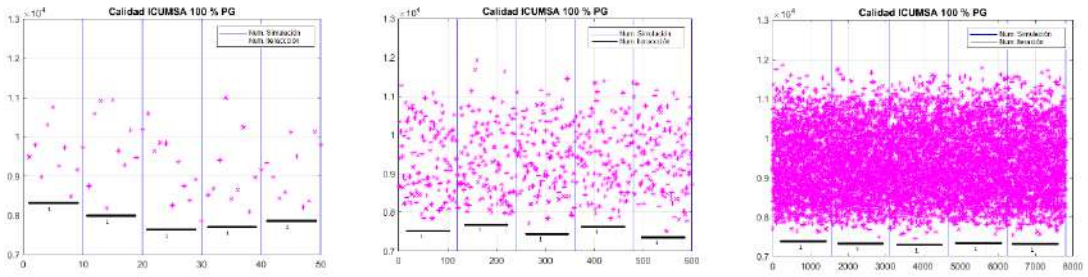
Figura 3-4. Presencia de cristales, sabor y viscosidad 10, 120 y 1560 lotes multipropósito producción en forma creciente.

Fuente: Elaboración propia

En la producción de PG los límites se establecieron en las variables del atributo de calidad ICUMSA. En el concentrador se generaron valores aleatorios con distribución Beta entre 5,5-7 de pH, 89-93 °Brix y 20-30 min de tiempo de concentración, mientras en el cristalizador se generaron valores entre 5,5-7 de pH, 90-94 de °Brix, 10-20 min de tiempo de agitación y 40-60 °C. El rango operacional ICUMSA en el nivel sigma fue de 7 000 a 12 000 ICUMSA. A diferencia de los lotes de 100 % de MC la producción en los tres lotes de PG 100 % (Figura 3-5 E) no requieren de iteraciones para alcanzar una producción aceptable. En cambio, las varias iteraciones de la producción de PG que se observan en la Figura 3-5 se

debe a la producción de MC, ya que los lotes de PG y MC se calcula de manera simultánea hasta alcanzar la producción aceptable. El atributo de calidad ICUMSA están dentro del rango de aceptabilidad según Saska (2000). En el concentrador se presentó un pH de 6,4 y 91,65 °Brix con respecto a la operación unitaria cristalización se encontró un pH de 5,7-6,98 y 94,23 °Brix. Los parámetros operaciones en la producción de PG multipropósito presenta similitud con lo expuesto por Cerda-Mejía et al. (2019).

10	120	1560	
			A
			B
			C
			D



E

Figura 3-5. ICUMSA 10, 120 y 1560 lotes multipropósito producción en forma creciente.

Fuente: Elaboración propia

3.9 Disponibilidad de materias primas

Existe una disponibilidad de (11 8795- 12 9036,6) toneladas de jugo de caña en la provincia de Pastaza (Carvajal-Padilla et al., 2021). El consumo de jugo de caña en el proceso tecnológico es de 809,12 kg de caña de azúcar, por lo tanto, se puede mencionar que existe la disponibilidad de la materia prima pues es mayor para el procedimiento realizado en la simulación.

3.10 Cumplimiento de las normativas medioambientales

Según Ranjan et al. (2021), los efluentes en la industria panelera requieren una gran demanda de bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), además generan en los recursos hídricos sólidos en suspensión. Aunque la principal fuente de contaminación en la región de Pastaza se encuentra en el agua. Una industria azucarera produce en promedio 1.000 litros de aguas residuales por cada tonelada de producto (Vaithiyanathan & Sundaramoorthy, 2017). Las aguas residuales tienen la capacidad de contaminar fuentes de agua superficiales y subterráneas. Los resultados de los indicadores ambientales para los tres tipos lotes de 10, 120 y 1560 son similares. En la Tabla 3-2 se muestran los indicadores ambientales de la producción multipropósito, se puede apreciar que los indicadores ambientales varían en la producción multipropósito.

Tabla 3-2. Indicadores ambientales

	100 % PG 0 % MC	**20 % PG 80 % MC**	**40 % PG 60 % MC**	**60 % PG 40 % MC**	**80 % PG 20 % MC**	**0 % PG 100 % MC**
ConsMP-PG (kg caña/kg PG)	11,41	56,70	28,39	18,90	14,21	0
ConsJC-PG (kg JC/kg PG)	7,45	37,01	18,53	12,34	9,28	0
ConsEnerg-PG (J/kg PG)	2 994,76	14 226,51	72 00,08	4 840,67	3 684,11	0
VRS-PG (kg BB/kg PG)	3,96	19,68	9,85	6,56	4,93	0
ResG-PG (kg vapor/kg PG)	6,40	31,41	15,77	10,53	7,95	0
ConsMP- MC (kg caña/kg MC)	0	12,45	16,59	24,89	49,78	9,96
ConsJC- MC (kg JC/kg MC)	0	8,13	10,83	16,25	32,50	6,50

	0	3 090,44	4	6	12	2
ConsEnerg- MC (J/kg MC)			120,59	180,89	361,77	472,35
VRS-MC (kg BB/kg MC)	0	4,32	5,76	8,64	17,28	3,46
ResG-MC (kg vapor/kg MC)	0	6,88	9,17	13,75	27,50	5,50

Fuente: Elaboración propia

En donde ConsMP: consumo de materia prima, ConsJC: consumo de jugo de caña, ConsEnerg: consumo de energía, VRS: vertimientos de residuos sólidos, ResG: Residuos gaseosos, BB: bagazo-bagacillo y JC; jugo de caña.

Se observa el mayor índice de consumo de jugo de caña se ubica en la producción de (20% PG y 80% MC) y (80% PG y 20% MC) con 56,70 kg caña/kg y 32,50 kg caña/kg respectivamente (Tabla 3-2), por consiguiente, en estas producciones multipropósito se encuentran índices altos de vertimientos de residuos sólidos. El elevado consumo de materia prima se debe a la cercanía de los lotes a la producción de 100 %. Los vertimientos de residuos gaseosos y sólidos perjudican al medioambiente. Los residuos generados en la agroindustria panelera pueden ser tratados según lo expuesto por Ranjan et al. (2021).

3.11 Diseño de los equipos y costo de adquisición

Las áreas de transferencia para los tres tipos de lotes multipropósito se mantuvieron constantes en los equipos. El filtrador posee 0,62 m^2, el calentador 0,97 m^2 y el evaporador 1, 2 y 3 presenta 3,94 m^2, 0,15 m^2 y 0,19 m^2 respectivamente, los resultados obtenidos son similares con lo expuestos por (Cerda et al., 2020). En la Tabla 3-3 a partir del concentrador se observa una variación en las áreas de transferencias. Se analiza un índice creciente desde (20 % PG y 80 % miel) hasta (80 % PG y 20 % miel), por concerniente la producción de 100% PG y CM presenta el mayor índice. Las áreas de transferencias están directamente relacionadas con el costo de adquisición del equipamiento.

Tabla 3-3. Áreas de transferencia según la producción multipropósito

Equipo	**100 % PG 0 % MC**	**20 % PG 80 % MC**	**40 % PG 60 % MC**	**60 % PG 40 % MC**	**80 % PG 20 % MC**	**0 % PG 100 % MC**
Concentrador (Área m^2)	0,54	0,08	0,23	0,32	0,42	-
Cristalizador (Área m^2)	1,18	0,24	0,47	0,71	0,94	-

Fuente: Elaboración propia

3.12 Disponibilidad de los equipos

A partir de los cálculos de balance de masa y energía se obtiene el dimensionamiento de los equipos. El número equipos en el diseño multipropósito es el adecuado debido a factibilidad económica y productividad.

3.13 Análisis económico de la inversión y la producción

Los resultados del costo de inversión se mantuvieron constante en los tres tipos de lotes de 100 %. Las variaciones del costo de inversión se presentaron en la producción multipropósito. Al igual que las áreas de transferencia el costo de adquisición de los equipos el mayor costo se encuentra en la producción 100 % PG, después se muestra un comportamiento creciente a medida que alcanza la producción de 100 % MC (Figura 3-4).

Tabla 3-4. Costo de inversión

Variable	100 % PG 0 % MC	20 % PG 80 % MC	40 % PG 60 % MC	60 % PG 40 % MC	80 % PG 20 % MC	0 % PG 100 % MC
Adquisición de equipos ($)	24 300,52	7 873,76	12 755,28	15 595,72	19 494,77	18 396,8

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-6 se muestran la sumatoria de las variables que conforman el costo de inversión y de operación anual según Peters et al. (2003). Se puede analizar que la producción de 100 % PG requiere el mayor costo de inversión (Figura 3-6), esto se debe a la utilización de dos equipos unitarios más (concentrador y cristalizador) y a la producción de un flujo mayor de producción comparado con la producción multipropósito. El costo de inversión en la producción de 100 % de MC es el segundo más alto, porque se requiere de la utilización de menos equipos tecnológicos en comparación con 100 % PG. Por lo tanto, los costos de inversión proceso multipropósito se encuentran dentro del rango de producción de 100 % de PG y MC.

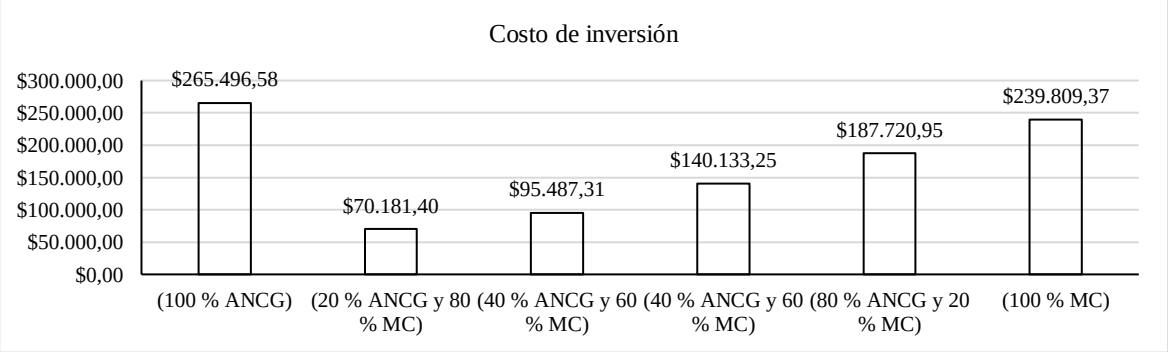


Figura 3-6. Costo de inversión de la producción multipropósito.

Fuente: Elaboración propia

El costo de la producción unitaria fue de 1,10 $ y 0,83 $ para PG y MC respectivamente. Se determinó una ganancia del 17 % con referencia al costo de producción unitaria (Hernández-Ortega, 2011), tanto como para PG y MC. Obteniéndose un costo de venta para la PG de 1,29 $ y la MC de 0,97 $. Dentro del costo de fabricación (Tabla 3-5) se encuentran los costos de etiquetas, recipientes, materia prima y mano de obra. Se puede observar una

distribución decreciente en la producción de PG multipropósito esto se debe al costo de producción unitaria. En cambio, el comportamiento del costo de producción de MC presenta un comportamiento creciente. Este comportamiento se debe a la relación MC que se establece durante la producción PG.

Tabla 3-5. Costo de producción multipropósito

Variable ($/año)	100 % PG 0 % MC	20 % PG 80 % MC	40 % PG 60 % MC	60 % PG 40 % MC	80 % PG 20 % MC	0 % PG 100 % MC
Costo total del producto sin depreciación PG	88 940,80	36 592,48	49 695,91	62 772,11	75 858,23	0,00
Costo total del producto sin depreciación MC	0,00	158 456,49	127 144,30	95 804,42	64 474,81	20 0834,64
Costos de fabricación PG	77 916,64	71 003,27	72 744,98	74 464,41	76 191,94	0,00
Costos de fabricación MC	0,00	72 217,58	73 511,04	74 781,34	76 060,23	8 0181,13
Distribución y venta PG	4 447,04	1 829,62	2 484,80	3 138,61	3 223,74	0,00
Distribución y venta MC	0,00	7 922,82	6 357,22	4 790,22	3 792,91	10 041,73

Fuente: Elaboración propia

3.14 Alternativa económicamente factible

En el presente trabajo la determinación de la factibilidad económica y la rentabilidad del proceso tecnológico se realizó a través del valor actual neto (VAN), tasa interna de recuperación (TIR), período de recuperación descontada (PRD) y margen de ganancias (Fajardo et al., 2019). El análisis de los indicadores económicos (Tabla 3-6) muestran las mejores factibilidades económica se encuentran en los 10 lotes multipropósito de (40 % PG y 60 % miel) con un VAN de 135 432,36 $, (80 % PG y 20 % miel) con un VAN de 136 566,51 $ y el lote de 120 multipropósito de (40 % PG y 60 % miel) con un VAN de 141 014,59 $. Este último lote multipropósito representa el mayor índice de rentabilidad económica en la simulación realizada. El rango obtenido del VAN concuerdo con los expuesto por Cerda et al. (2020). Además, se visualiza a un elevado VAN existe un mayor TIR y un margen ganancia por concerniente un menor PRD. A diferencia del comportamiento creciente multipropósito del costo de inversión y áreas transferencia. Los indicadores económicos poseen un comportamiento variado durante la producción multipropósito.

Tabla 3-6. Indicadores económicos del diseño multipropósito.

Lotes	PG (%)	Miel (%)	VAN ($)	TIR (%)	PRD (años)	Margen de ganancias
10	100	0	86 027,72	38,65	1,70	0,15
10	20	80	81 605,27	35,47	1.87	0,21

10	40	60	135 432,36	42,47	1,10	0,27
10	60	40	38 295,04	29,67	2,18	0,18
10	80	20	136 566,51	41,54	1,08	0,25
10	0	100	88 380,09	36,66	1,80	0,15
120	100	0	85 785,10	38,56	1,71	0,15
120	20	80	116 053,27	40,25	1,00	0,22
120	40	60	129 679,39	39,33	1,00	0,26
120	60	40	141 014,59	45,80	1,36	0,30
120	80	20	110 657,20	38,21	1,28	0,23
120	0	100	74 777,58	31,99	1,94	0,13
1560	100	0	85 736,79	38,54	1,71	0,15
1560	20	80	114 084,74	36,64	1,00	0,24
1560	40	60	100 624,91	33,25	1,00	0,21
1560	60	40	71 131,51	22,21	2,65	0,16
1560	80	20	98 685,25	32,20	1,39	0,18
1560	0	100	88 380,09	36,66	1,80	0,17

Fuente: Elaboración propia

3.15 Existen otras tecnologías

En el actual trabajo multipropósito se seleccionaron solamente las tecnologías propuestas (Cerda-Mejía et al., 2019) y (Cerda-Mejía et al., 2021) para la simulación PG y MC respectivamente.

3.16 Existen nuevas capacidades

No se evalúan nuevas capacidades porque los indicadores económicos ambientales y los atributos de calidad son favorables.

3.17 La tecnología y capacidad óptima

La Figura 3-6 y Tabla 3-6 permite comparar los indicadores dinámicos económicos para cada una de los lotes bajo estudio, facilitando la toma de decisiones (Pérez-Martínez et al., 2012), se puede tomar la decisión de invertir en el diseño de una planta multipropósito en la producción 60 % y 40 % de 120 lotes con un VAN de $ 141 014,59, un TIR de 45,80 %, PRD 1,36 año y un costo de inversión 140 133,25 $. Esta producción multipropósito obtuvo la mayor rentabilidad económica. La tecnología y la capacidad seleccionada se consideran óptimas no solo desde el punto de vista económico, sino también desde los puntos de vista técnico y medioambiental.

4 CONCLUSIONES

El procedimiento secuencial implementado, se apoya en criterios económicos, técnicos, calidad y medioambientales que pueden ser cuantificables. Estos criterios permiten obtener un análisis holístico, además, posibilita adaptarse a las demandas cambiantes de los mercados. La principal característica del diseño multipropósito es la posibilidad de producir diferentes productos sin que sea necesario cambiar sustancialmente el sistema.

El proceso de obtención de panela granulada y miel de caña es un ejemplo de proceso multipropósito, donde las operaciones unitarias molienda, filtración calentamiento y evaporación convergen para ambos productos. Las operaciones de enfriamiento e hidrolisis son procesos intrínsecos de la miel de caña. en cambio, la concentración y cristalización son propios de la panela granulada.

La simulación del proceso multipropósito permitió reducir la incertidumbre de los atributos de calidad tanto para la panela granulada como de la miel de caña. para lograr esta reducción se realizó varias iteraciones para cumplir los estándares definidos de nivel sigma y obtener los parámetros operacionales para ambos productos. el análisis sistémico de los indicadores dinámicos a partir de los tres lotes multipropósito permite sugerir la producción de 60 % panela granulada y 40 % miel de caña de 120 lotes un con nivel sigma de 3,8 como la mejor producción multipropósito desde el punto de vista económico, con una producción de 46,43 kg/lote para la miel y 69,65 kg/lote para la Panela Granulada. Además, con un VAN de 141 014,59 $, un TIR de 45,80 %, PRD 1,36 (año) y un costo de inversión 140 133,25 $. La miel de caña presentó un pH de 3,76-4,22 y un °Brix de 76,5-78, en cambio en la panela granulada se encontró un pH de 5,7-6,98 y un °Brix de 92,4-94,23.

REFERENCIAS

Albernas-Carvajal, Y., González-Cortés, M., González-Suárez, E., CorsanoII, G., & Verelst, H. (2012). Procedimiento para la síntesis y diseño óptimo de plantas discontinuas (Parte I). *Tecnología Química*, *Vol.32 No.3*, 204-212. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000300005

Alexandre, C., & Dimian, A. (2014). Integrated Design and Simulation of Chemical Processes. *Computer Aided Chemical Engineering*, *Volume 35*, 35-71.

Artzrouni, M. (2005). Mathematical Demography. *Encyclopedia of Social Measurement*, 641-651. https://doi.org/10.1016/B0-12-369398-5/00360-1

Brito-Vallina, M. L., Alemán-Romero, I., Fraga-Guerra, E., Para-García, J. L., & Arias, R. I. (2011). Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Ingeniería Mecánica*, *14(2)*, 129-139. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000200005

Burcharth, H., & Lamberti, A. (2007). Design tools related to engineering. *Environmental Design Guidelines for Low Crested Coastal Structures*, 203-333. https://doi.org/10.1016/B978-008044951-7/50033-6

Carvajal-Padilla, V. P., Ambuludi-Paredes, R. R., Chele-Yumbo, E. A., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2021). Alternativas de producción más limpias para la destilería “Puro Puyo”, Pastaza, Ecuador. *Revista de I+D Tecnológico*, *17*, 43-56. http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392002002/html/

Cercignani, C. (2005). Stochastic Processes in Physics and Chemistry. In *Encyclopedia of Condensed Matter Physics* (Vol. 5, pp. 40-46). https://doi.org/10.1016/B0-12-369401-9/00623-9

Cerda-Mejía, V., Pérez-Martínez, A., Guardado-Yordi, E., Cerda-Mejia, G., Diéguez-Santana, K., Benítez-Cortés, I., & González-Suárez, E. (2021). Simulation Strategy to Reduce Quality Uncertainty in the Sugar Cane Honey Process Design. *Ingeniería e Investigación, 41, N.1*, 1-11. https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n1.81484

Cerda-Mejía, V., Quezada-Moreno, W. F., Pérez-Martínez, A., Oquendo-Ferrer, H., Torres-Cárdenas, V., Cerda-Mejía, L., & González-Suarez, E. (2016). Influence of the variability of the operational parameters in obtaining cane syrup in sensorial attributes. *Mol2Net*, 1-8. https://doi.org/10.3390/mol2net-02-03897

Cerda-Mejía, V. R., Pérez-Martínez, A., & González-Suárez, E. (2019). El diseño de procesos bajo condiciones de incertidumbre: estrategia para el desarrollo socio-económico en la agroindustria ecuatoriana. *Universidad y Sociedad, 11(5)*, 131-139. http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus

Cerda, V., González, E., Millán, H., Ramos, J., & Pérez, A. (2020). Estudio de viabilidad de la producción de miel de caña, diseño de procesos, aceptabilidad y análisis económico. *Tecnología Química, Vol. 40, No. 3*, 517-533. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000300517

Cerón-Palma, I. (2008). "Producción en empresas multiproducto, multiplanta y multiobjetivo,". *Eseconomía, Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional*, *18*, 103-132. http://yuss.me/revistas/ese/ese2008v03n18a05p103_132.pdf

Chen, Y., & Adams, T. (2011). Optimal design and operation of flexible energy polygeneration systems. *Chemical Engineering, 50, 8*, 4553-4566. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie1021267

Chungu, A., Kimambo, Z., & Bali, T. (2001). *Assessment of village level sugar processing technology in Tanzania* (Vol. 01.4). Research on Poverty Alleviation (REPOA)

Dursun, D., Koulouris, A., & Dalgıç, A. C. (2020). Process Simulation and Techno Economic Analysis of Astaxanthin Production from Agro-Industrial Wastes. *Waste and Biomass Valorization*, *11*(3), 943-954. https://doi.org/10.1007/s12649-018-0439-y

Enriquez, H. D., & Kolodzie, S. F. (2018). Simulation optimization of a manufacturing system with economic and environmental criteria. *Ingeniería Industrial*, *17(1)*, 37-54. https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.03

Escobar, J. M., Cerda, V. R., & Tapuy, A. S. (2018). Evaluation of the operation parameters and the process quality of the obtaining of granulated panela in the parish of Tarqui, in the panela industry "El Valle" *International Conference Series on Multidisciplinary Sciences 4*, 1-6. http://sciforum.net/conference/mol2net-04

Fajardo, L., Girón, M., Vásquez, C., Fajardo, L., Zúñiga, X., Solís, L., & Pérez, J. (2019). Valor actual neto y tasa interna de retorno como parámetros de evaluación de las inversiones. *Revista investigación operacional*, *40 (4)* 469-474,. http://www.invoperacional.uh.cu/index.php/InvOp/article/viewFile/693/653

FAO. (2014). Cosecha, poscosecha y producción de panela. *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) en la producción de caña y panela*, *6*, 113-127. https://www.fao.org/3/a1525s/a1525s05.pdf

Fernandez, F., & Lima, S. (1999). Herramientas Computacionales en el Aprendizaje de las Matemáticas. *Asistentes y Tutoriales. Revista de Enseñanza y Tecnologia*, 15–21. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4794511

Franco, I., & Alvarez, F. (2007). Los simuladores , estrategia formativa en ambientes virtuales de aprendizaje. *Revista Virtual Universidad Catolica del Norte*, 11. https://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/167

Fumero, Y., Moreno, S., Corsano, G., & Montagna, J. (2013). A multiproduct batch plant design model incorporating production planning and scheduling decisions under a

multiperiod scenario. *Computer Aided Chemical Engineering*, *32*, 505-510. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63234-0.50085-3.

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza. (2011). Produccion de caña de azucar por parroquias en la provincia de Pastaza. *Departamento de planificacion unidad de ordenamiento territorial 1*, 1. https://pastaza.gob.ec/downloads/mapas/9_produccion_cana_parroquia.jpg

Hernández-Ortega, C. (2011). Cálculo de la relación de margen de contribución en los precios y el surgimiento de la proporción áurea en la estructura de utilidades *Contaduría y Administración*, *235*, 77-98. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39519916005

Hernandez, R. J., & Goñi, J. (2020). Responsible Design for Sustainable Innovation: Towards an Extended Design Process. *Processes*, *8*(12), 1574. https://www.mdpi.com/2227-9717/8/12/1574

IKellner, M., JMadachy, R., & Raffo, D. (1999). Software process simulation modeling: Why? What? How? *Journal of Systems and Software*, *Volume 46*(2–3), 91-105. https://doi.org/10.1016/S0164-1212(99)00003-5

Keller, P. (2011). *Six Sigma Demystified, Second Edition, 2nd Edition*. McGraw-Hill.

Király, A., Farsanga, B., Christidou, M., Karlopoulo, E., & Abonyia, J. (2014). Minimization of Off-Grade Production in Multisite Multiproduct Plants by Solving Multiple Traveling Salesman Problem. *The Italian Association of Chemical Engineering*, *Vol. 39*, 1-6. https://doi.org/10.3303/CET1439282

La Madrid, R., & Santamaría, H. (2013). Evaluación mediante indicadores productivos y energéticos de tres módulos de producción de panela granulada *Innovation in Engineering, Technology and Education for Competitiveness and Prosperity, pp 1-10.* https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.852.4797&rep=rep1&type=pdf

Lehman, E. (2008). Impoundments. *Encyclopedia of Ecology*, 87-110.

McCue, C. (2007). 5-Data. In C. McCue (Ed.), *Data Mining and Predictive Analysis* (pp. 67-92). Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-075067796-7/50027-1

Münch, J., & Armbrust, O. (2019). Software Process Simulation. *Agile Software Product Lines in Automotive*, 1-35. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24291-5_7

Ocampo, M., Gutierrez, L., & Sanchez, O. (2016). Simulación del proceso de refinación de aceite de palma. *Cavitation Technologies Applied to Chemical Processes*, *(Vol. 6, pp. 55-67).* https://www.researchgate.net/publication/300921920

Ortiz-Triana, V., & Caicedo-Rolón, Á. (2015). Procedimiento para la programación y control de la producción de una pequeña empresa. *Ingeniería Industrial*, *14(1)*, 89-104. http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/1917/3235

Peña-Arenas, I. G., & López-Castro, L. F. (2016). Algoritmo genético para solucionar el problema de dimensionamiento y programación de lotes con costos de alistamiento dependientes de la secuencia *Ingeniería y Desarrollo*, *34(1)*, 64-87 https://doi.org/10.14482/inde.34.1.7948

Pérez-Martínez, A., Benítez-Cortés, I., Oquendo-Ferrer, H., Julián-Ricardo, M. C., & Galindo-Llanes, P. (2013). Integración del diseño del sistema de control automático al diseño total de una planta para obtención de alimento animal a partir de residuos de la industria azucarera. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, *47*,

Núm. 2, 42-51. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223128548007

Pérez-Martínez, A., Cervantes-Mendieta, E., Julián-Ricardo, M., González-Suárez, E., Gómez-Atanay, A., Oquendo-Ferrer, H., Galindo-Llanes, P., & Ramos-Sánchez, L. (2012). Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos de la industria azucarera y sus derivados. *Revista mexicana de ingeniería química*, *11*(2), 333-349. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382012000200012&script=sci_abstract

Peters, M. S., Timmerhaus, K., & West, R. (2003). Plant Design and Economics for Chemical Engineers, . *Fifth. New York: McGraw Hill*.

Quezada-Moreno, W. F., Quezada-Torres, W. D., & Gallardo-Aguilar, I. (2016). Plantas mucilaginosas en la clarificación del jugo de la caña de azúcar. *Centro Azúcar*, *Vol 43, pp. 1-11*. http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n2/caz01216.pdf

Quezada, W., González, E., Quezada, T., & Mera, M. (2016). Cane Honey: Process, Quality and Harmlessness. *International Journal of Engineering Research*, *5*, 589-593 http://www.i-scholar.in/index.php/IJER/article/view/159495

Ramírez, M. Á. (2008). Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. *Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV*, *1*, 20. http://www.bibalex.org/search4dev/files/289330/120295.pdf

Ranjan, P., Singh, S., Muteen, A., Biswas, M. K., & Vidyarthi, A. K. (2021). Environmental reforms in sugar industries of India: An appraisal. *Environmental Challenges*, *4*, 100159. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100159

Rauch, J. (2006). Multiproduct Plants. 244 https://www.wiley.com/en-us/Multiproduct+Plants-p-9783527605064

Saska, M. (2000). Method for producing white sugar. *United States*, *6,096,136*(08/733,515), 1-6. https://patentimages.storage.googleapis.com/00/14/4a/d3319dd1794cc7/US6096136.pdf

Techane-Bosona, G. G. (2021). Multipurpose simulation model for pasture-based mobile Automated Milking and Marketing System, Part-I: Pasture, milk yield, and milk marketing characteristics *Computers and Electronics in Agriculture*, *190*, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106212

Vaithiyanathan, T., & Sundaramoorthy, P. (2017). Analysis of sugar mill effluent and its influence on germination and growth of African marigold (Tagetes erecta L.). *Applied Water Science*, *7*(8), 4715-4723. https://doi.org/10.1007/s13201-017-0634-1

Velásquez, F., Espitia, J., Mendieta, O., Escobar, S., & Rodríguez, J. (2019). Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. *Journal of Food Engineering*, *Volume 255, Pages 32-40*. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.009

Virginia, M., Guerra, M., & Soto, N. (2008). Efecto de la variedad, lavado de la caña y temperatura de punteo sobre la calidad de la panela granulada. *Interciencia*, *Vol, 33(8), pp 598-603*. http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0378-18442008000800010&script=sci_arttext&tlng=en

ANEXOS 1. MARCO TEÓRICO

Anexo 1.1. Clasificación de plantas industriales

Una planta industrial por lo general opera de forma discontinua. Esto se traduce que la temperatura, la concentración, la masa entre otras propiedades varían con el tiempo. La mayoría de los procesos a batch, como también se les conoce, se llevan a cabo mediante una serie de etapas a batch y semicontinuas, y a su vez estas etapas semicontinuas operan continuamente con periódicas cargas y descargas o extracciones. De forma general una planta industrial discontinua se puede considerar como un ensamblamiento de equipos de proceso de varios tipos y tamaños; capaz de llevar a cabo una serie de tareas diferentes en modo de operación discontinuo o semicontinuo (Albernas-Carvajal et al., 2012).

Las plantas multiproducto son plantas de proceso que pueden, según la demanda del mercado producir diversos productos. Las plantas multiproducto se utilizan en las industrias química, farmacéutica y afines. Se utiliza el concepto de planta multiproducto para una planta que utiliza un proceso muy similar para la producción secuencial de productos diferentes, pero generalmente similares, pertenecientes a la misma familia de productos. Estas plantas están diseñadas y construidas, en primer lugar, para un número limitado de productos (Rauch, 2006).

Planta multipropósito es aquella industria donde los productos no necesariamente siguen la misma secuencia o requieren de todas las etapas a través del proceso de producción y obtienen productos distintos al mismo tiempo y un mismo producto puede seguir caminos diferentes a través de la planta. La planta multipropósito a su vez puede tener dos clasificaciones: multipropósito secuencial y no secuencial. En la planta secuencial es posible identificar una dirección específica a lo largo de la planta que es seguida por los caminos de producción de todos los productos; los casos restantes son multipropósito no secuencial, como se puede apreciar en la Figura 1A (Albernas-Carvajal et al., 2012).

Multiplanta son plantas con la estructura de dos o más plantas multiproducto operando en paralelo.

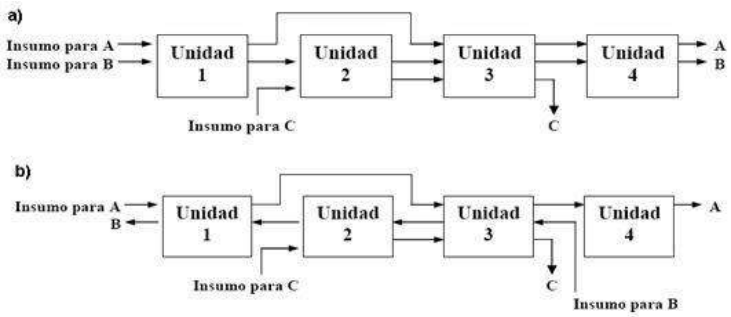


Figura 1A. Clasificación de las plantas multipropósitos atendiendo a la secuencia de las operaciones; a) Multipropósito secuencial, b) Multipropósito no secuencial.

Fuente: (Albernas-Carvajal et al., 2012).

Anexo 1.2. Demandas de flexibilidad de plantas multiproducto

Una característica importante de una planta multiproducto es su flexibilidad para ser adaptado a los requisitos cambiantes. Esto se debe a que se emplean plantas multiproducto cuando la cantidad en la que se requiere el producto deseado es demasiado pequeña para hacer económicamente viable su producción en una monoplanta. Plantas multiproducto también son útiles para producir productos cuyo mercado variable hace que el funcionamiento de una monoplanta inviable y para la producción de varios productos de similar tipo (perteneciente a la misma "familia" de productos) (Rauch, 2006).

Según Rauch (2006), existen tres tipos de flexibilidad en plantas multipropósito:

Flexibilidad estructural. Este es el tipo de flexibilidad que permite a un sistema, a través de cambios en las conexiones entre sus elementos, para adaptarse a las demandas cambiantes en función. De esta forma, se pueden llevar a cabo diferentes procesos si se cambian las conexiones entre los diferentes equipos en los que se realizan determinadas operaciones básicas.

Flexibilidad de surtido de productos. Esta es la capacidad de un sistema para producir diferentes productos sin necesidad de cambiar sustancialmente el sistema. Este tipo de la flexibilidad es especialmente importante para plantas multiproducto que se utilizan para la producción de familias de productos.

Flexibilidad en capacidad. Un sistema de este tipo puede adaptarse a diferentes demandas de capacidad.

Anexo 1.3. Simulación de procesos industriales

Las herramientas de simulación permiten analizar configuraciones tecnológicas y tomar decisiones sobre diferentes procesos industriales (Ocampo et al., 2016). La simulación de procesos es un factor clave para garantizar la excelencia en investigación, desarrollo, diseño y fabricación (Alexandre & Dimian, 2014). En la Tabla 1A se observa la amplia gama de aplicaciones de la tecnología del modelado y simulaciones en el sector industrial.

Tabla 1A. Aplicaciones de simulación de procesos en industrias de procesos químicos

Industrias químicas	Aplicaciones de proceso
Petróleo y gas	Exploración costa afuera, tratamiento de superficies, transporte por tuberías, almacenamiento subterráneo, procesamiento de gas
Refinando	Gasolina y combustibles
Petroquímicos	Productos químicos a base de hidrocarburos, metanol, monómeros

Productos orgánicos básicos	químicos	Intermedios, disolventes, detergentes, tintes
Productos inorgánicos	químicos	Amoníaco, ácido sulfúrico, fertilizantes.

Fuente: (Alexandre & Dimian, 2014).

Anexo 1.3.1. Simulación de procesos agroindustriales

La simulación agroindustrial ha ganado una gran atención para su uso como herramienta para optimizar las operaciones y la economía. La transferencia de tecnología desde la producción a escala de laboratorio a la producción a escala agroindustrial puede facilitarse mediante la simulación de procesos, que se puede utilizar para tomar decisiones de inversión sólidas, optimizar el proceso y mejorar la calidad de los productos. En este contexto, es muy importante que los datos utilizados en la simulación se analicen y verifiquen estadísticamente primero. Esto es especialmente cierto para procesos como la fermentación que pueden verse afectados por muchos factores como el medio ambiente, la mano de obra, el costo, el tiempo y la gestión. Mediante la simulación agroindustrial se pueden obtener e informar los balances de materiales y energía, la programación, la productividad, el rendimiento y el análisis económico del proceso (Dursun et al., 2020).

Anexo 1.4. Clasificación de modelos de simulación según el tipo variable

Discretos

Los datos discretos están asociados con un número limitado de valores posibles. El género o el rango son ejemplos de variables discretas porque hay un número limitado de opciones mutuamente excluyentes. Los datos binarios son un tipo de datos discretos que abarcan información que se limita a dos opciones posibles (por ejemplo, hombre o mujer; sí o no) (McCue, 2007).

Continuos

Las variables continuas pueden tomar un número ilimitado de valores entre los puntos de medición más bajo y más alto. Las variables continuas incluyen cosas como la velocidad y la distancia. Los datos continuos son muy deseables en la estadística inferencial (McCue, 2007).

Estocásticos

Es una variable X que puede tener un valor en un determinado conjunto Ω, generalmente llamado "rango", "conjunto de estados", "espacio muestral" o "espacio de fase," Con una cierta distribución de probabilidad. Cuando se considera un valor fijo particular de la misma variable (Cercignani, 2005).

Determinísticos

Los modelos deterministas asumen que se aplican tasas promedio conocidas sin desviaciones aleatorias a poblaciones grandes. Por ejemplo, si 10,000 individuos tienen cada uno un 95% de posibilidades de sobrevivir 1 año, entonces podemos estar razonablemente seguros de que 9500 de ellos realmente sobrevivirán (Artzrouni, 2005).

Anexo 1.5. Simuladores de procesos

El modelado de simulación de procesos en programas se utiliza cada vez más para abordar una variedad de cuestiones, desde la gestión estratégica del desarrollo de software hasta la mejora de procesos de apoyo y la formación en gestión de proyectos. El alcance de las aplicaciones de simulación de procesos en software abarca desde porciones específicas del ciclo de vida hasta modelos evolutivos de productos a más largo plazo con amplios impactos organizacionales (IKellner et al., 1999). La ingeniería de procesos en software ha comenzado recientemente a descubrir las posibilidades de simulación. Los tres principales beneficios en el desarrollo de simulaciones en software son mejoras en el costo, el tiempo y el conocimiento (Münch & Armbrust, 2019).

Anexo 1.5.1. Simuladores de procesos industriales

Los simuladores son software que contiene paquetes informáticos en donde están desarrollados la simulación de procesos. La ventaja de los simuladores de procesos es que no se desarrolla la modelación de los procesos. Los simuladores de procesos se caracteriza por que estos programas admiten una entrada de datos inicial mediante una interfaz de usuario (Franco & Alvarez, 2007).

Anexo 1.5.2. Asistentes matemáticos empleados en la simulación de procesos

Son software que permiten ingresar la modelación matemática de los fenómenos a través de ecuaciones matemática, cuyos resultados son representados mediante una interfaz de fácil entendiendo. Una gran ventaja que ofrecen los asistentes matemáticos en la modelación de procesos es que se puede modificar las ecuaciones matemática según se requiera (Fernandez & Lima, 1999).

Anexo 1.6. Modelación matemática

Los modelos matemáticos permiten a los científicos expresar procesos complejos en forma de fórmulas concisas. La información incluida en los modelos generalmente se limita a un conjunto limitado de variables seleccionadas para el problema en cuestión. Actualmente no existe un modelo general para todos los propósitos. Por lo general, los modelos más eficaces han sido simples y se han centrado en partes particulares de los sistemas y se aplican solo a uno o un número reducido de sitios (Lehman, 2008).

Los modelos matemáticos se basan en descripciones de fenómenos mediante un conjunto de ecuaciones matemáticas. Luego, las ecuaciones se resuelven numéricamente para los parámetros de interés mediante un modelo numérico, generalmente en un programa de computadora (Burcharth & Lamberti, 2007).

El modelado y la simulación es realmente el método clásico de la ciencia en funcionamiento. El modelo sirve como hipótesis; la simulación y el experimento sirven para probarlo. Por tanto, la mera existencia de un modelo debería conducir finalmente a su obsolescencia. De ello se deduce entonces que, a menos que se puedan establecer experimentos para invalidar un modelo, el modelo debe descartarse o reevaluarse su propósito original (Franco & Alvarez, 2007).

Anexo 1.6.1. Metodología en la modelación de procesos industriales

Según Brito-Vallina et al. (2011), la simulación de procesos industriales presentan las siguientes etapas;

Modelación

La modelación matemática en donde se representa el comportamiento del fenómeno mediante representación matemática es decir ecuaciones matemáticas. En esta etapa también se desarrollan los modelos que según el tema.

Simulación

En esta etapa se simula la modelación matemática creada en la anterior etapa. La simulación se realiza en programas o asistentes de modelación.

Validación del modelo

Se valida o compara la información con fuentes literarias. En la Figura 2A se observa el algoritmo de la simulación de procesos.

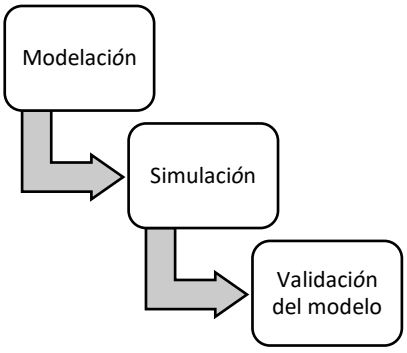


Figura 2A. Algoritmo de simulación de procesos

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 1.7. Simulación bajo incertidumbre

El diseño bajo incertidumbre se relaciona con el acto de crear el diseño de un proceso de simulación teniendo en cuenta que ciertos parámetros o aspectos del proceso son inciertos. Esta incertidumbre puede tomar muchas formas, como la incertidumbre en los modelos utilizados para ayudar en el diseño (que van desde la incertidumbre en la validez del modelo, sus parámetros o los datos en los que se basó), la incertidumbre en cómo se desarrollará el

proceso. utilizado, e incertidumbre en las condiciones socioeconómicas cambiantes que ocurrirán durante la vida del proceso (incluidas las variaciones del mercado, las opiniones públicas cambiantes, las necesidades y la demanda cambiantes de los clientes, o las leyes, impuestos y regulaciones cambiantes) (Chen & Adams, 2011).