UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

"DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA TENIENDO EN CUENTA EL COLOR COMO ATRIBUTO DE CALIDAD"

AUTOR:

Shiram Estefany Ujukam Buñay

DIRECTOR DEL PROYECTO:

Víctor Rodrigo Cerda Mejía

CODIRECTOR DEL PROYECTO:

Amaury Pérez Martínez

PASTAZA-ECUADOR

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe Shiram Estefany Ujukam Buñay con C.I. 1725517237, hace constar que es autora del Proyecto de Investigación titulado: **"PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA TENIENDO EN CUENTA EL COLOR COMO ATRIBUTO DE CALIDAD"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Víctor Rodrigo Cerda Mejía. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Taisha a los 11 días del mes de septiembre del 2020.

Ujukam Buñay Shiram Estefany

C.I. 1725517237

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación de proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: ***"PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA TENIENDO EN CUENTA EL COLOR COMO ATRIBUTO DE CALIDAD".***

Abreu Naranjo Reinier

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---	---
Bernal Gutiérrez Regla María	Cárdenas Bonifa Miryam Janeth
SECRETARIA DEL TRIBUNAL	**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Oficio No. 223-SAU-UEA-2020

Puyo, 31 de agosto de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a la egresada UJUKAM BUÑAY SHIRAM ESTEFANY con C.I. 1725517237, con el Tema: **"DISEÑO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PANELA GRANULADA TENIENDO EN CUENTA EL COLOR COMO ATRIBUTO DE CALIDAD"**, de la carrera, Ingenieria Agroindustrial. Director del proyecto Dr. Pérez Martínez Amaury, PhD., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 4%, Informe generado con fecha 31 de agosto de 2020 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA -.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, guiando mi camino, bendiciéndome y dándome fuerzas en los momentos de debilidad, para continuar con mis metas planteadas sin decaer y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres German Ujukam y Margarita Buñay por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado ayudándome a ser una mejor persona y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis hermanos Pawer y Angely por encaminarme a ser un ejemplo para ellos y llenar mis días de amor y alegría cuando más lo he necesitado.

A mis tíos Marco Chuji, Mercedes Ujukam, Claudio Ujukam y Gladis Tsamaraint por haberme apoyado en los buenos y malos momentos, por su paciencia y motivación a seguir adelante con mis estudios.

A mis abuelitos Martin Ujukam e Isabel Kawarim por haberme ayudado cuando más lo necesite, por compartirme sus experiencias, por darme sus consejos y por haberme enseñado el significado de la vida.

A Joher, por haber estado dispuesto a ayudarme cada vez que lo necesité, por acompañarme en los momentos difíciles y por motivarme a culminar con éxito este Proyecto de Investigación.

A Reny por haberme ayudado con el asistente matemático Octave.

A mis profesores que con toda la paciencia me impartieron sus conocimientos, en especial a mis tutores por haberme otorgado su confianza y por estar siempre dispuestos a ayudarme ante cualquier dificultad que se me presentara.

Shiram Ujukam

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madrecita querida Margarita Buñay, quien me dio la vida, quien nunca dejo de creer en mí, quien sin importar las circunstancias siempre estuvo apoyándome en todo momento, gracias a su sacrificio y esfuerzo he logrado alcanzar una meta más en mi vida.

A mi abuelito Martín Ujukam, aunque ya no se encuentra con nosotros físicamente siempre estará presente en mi corazón, por haberme apoyado y creído en mi hasta el último momento.

Shiram Ujukam

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diseñar el proceso de producción de panela granulada implementando el modelo de predicción del color en el asistente matemático para lograr disminuir la variabilidad y mejorar su calidad. Para ello en la materia prima se establecieron valores fijos de pH y °Brix de 5,35 y 12,55 respectivamente, en la etapa de concentración se generaron valores aleatorios entre 5,5-7 de pH, 89-93 de °Brix y 20-30min de tiempo de concentración, mientras que para la etapa de cristalización se generaron valores aleatorios entre 5,5-7 de pH, 90-94 de °Brix, 10-20min de tiempo de agitación y 40-60°C de temperatura. A partir de estos parámetros generados aleatoriamente para 10 lotes equivalente a un día, para 120 lotes equivalente a un mes y para 1560 lotes equivalente a un año, se determinó como es el comportamiento de los parámetros de diseño y operaciones, tanto para la etapa de concentración como para la etapa de cristalización, el nivel sigma, el atributo de calidad (color), dimensionamiento de equipo y por último se realizó un detallado análisis económico. Una vez realizada la modelación y simulación del proceso se determinó que entre el rango de color ICUMSA 9000-11000 con los valores de pH y °Brix de 6,12 y 92,04 respectivamente para 10 lotes, valores de pH y °Brix, 5,98 y 91,29 respectivamente para 120 lotes y valores de pH y °Brix, 6,03 y 91,40 respectivamente se logra alcanzar un nivel Sigma superior a 3.

Palabras clave: modelación matemática, simulación, concentración, cristalización, panela, nivel sigma, granulada.

ABSTRACT

The objective of this work was to design the granulated panela production process by implementing the color prediction model in the mathematical assistant to reduce variability and improve its quality. For this, in the raw material, fixed values of pH and ° Brix of 5.35 and 12.55 respectively were established, in the concentration stage random values between 5.5-7 of pH, 89-93 of ° Brix and 20-30min of concentration time, while for the crystallization stage random values between 5.5-7 of pH, 90-94 of ° Brix, 10-20min of stirring time and 40-60 ° C of temperature were generated . From these parameters randomly generated for 10 lots equivalent to a day, for 120 lots equivalent to a month and for 1560 lots equivalent to a year, it was determined how the design and operations parameters behave, both for the stage of concentration as well as for the crystallization stage, the sigma level, the quality attribute (color), equipment sizing and finally a detailed economic analysis was carried out. Once the modeling and simulation of the process had been carried out, it was determined that between the ICUMSA 9000-11000 color range with the pH and ° Brix values of 6.12 and 92.04 respectively for 10 batches, pH and ° Brix values, 5 , 98 and 91.29 respectively for 120 batches and pH and ° Brix values, 6.03 and 91.40 respectively, it is possible to reach a Sigma level higher than 3.

Keywords: mathematical modeling, simulation, concentration, crystallization, panela, sigma level, granulated.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 1

2. OBJETIVOS 1

2.2.1. Objetivo General 1

2.2.2. Objetivos Específicos 1

3. JUSTIFICACIÓN 1

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 3

2.1. PANELA, TIPOS, PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍAS 3

2.1.1. Tipos de Panela 3

2.1.2. Producción a nivel mundial, nacional y provincial 4

2.1.3. Tecnologías utilizadas 5

2.1.3.1. Tecnologías para la obtención de panela en bloque 5

2.1.3.2. Tecnologías para la obtención de panela granulada 5

2.2. CALIDAD DE LA PANELA 6

2.3. ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE PROCESOS 7

2.3.1. Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos 8

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 9

3.1. LOCALIZACIÓN 9

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 9

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 9

3.3.1. Modelación matemática 9

3.3.2. Simulación 10

3.3.3. Validación del modelo 11

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS 12

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y DE LOS FENÓMENOS QUE OCURREN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA GRANULADA 12

4.2 DESARROLLO DE LOS MODELOS 13
4.3 DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES DE APLICACIÓN 19
4.4 SIMULACIÓN DEL PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA GRANULADA 19
4.4.1 Primer caso de estudio..... 19
4.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS. 29
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 32
ANEXOS..... 34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procedimiento de trabajo para la simulación..... 11
Tabla 2. Modelos matemáticos para los balances de materia y energía..... 13
Tabla 3. Modelos matemáticos para el cálculo de indicadores ambientales..... 14
Tabla 4. Modelos matemáticos para el análisis económico..... 14
Tabla 5. Modelos matemáticos para el atributo de calidad de la panela granulada..... 16
Tabla 6. Modelos matemáticos para cálculo del nivel Sigma y los DPMO..... 17
Tabla 7. Selección de las mejores simulaciones para el primer caso de estudio..... 19
Tabla 8. Comparación de los datos obtenidos con los datos bibliográficos..... 29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pasos para la simulación matemática..... 9
Figura 2. Diagrama de bloque del Proceso de producción de la panela granulada..... 12
Figura 3. Estructura de los scripts para 1 caso de estudio..... 18
Figura 4. Valores del atributo de calidad en el rango de color ICUMSA 7000-9000.(A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 20
Figura 5. Valores del atributo de calidad en el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 21
Figura 6. Valores del atributo de calidad en el rango de color ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 22
Figura 7. Comportamiento del nivel sigma en relación con el color final. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 22
Figura 8. Valores de los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) en el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 23
Figura 9. Valores de los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) en el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 23
Figura 10. Valores de los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) en el rango de color ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 24
Figura 11. Valores del nivel Sigma en el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 24
Figura 12. Valores del nivel Sigma en el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes..... 25

Figura 13. Valores del nivel Sigma en el rango de color ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. 25
Figura 14. Comportamiento de las áreas de transferencia de calor en la etapa de concentración y cristalización entre el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes, (D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes. 26
Figura 15. Comportamiento de las áreas de transferencia de calor en la etapa de concentración y cristalización entre el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes, (D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes. 27
Figura 16. Comportamiento de las áreas de transferencia de calor en la etapa de concentración y cristalización entre el rango de colores ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes, (D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes. 28
Figura 17. Comportamiento del VAN entre el rango de color ICUMSA de 7000-9000 ((A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes), de 9000-11000 ((D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes) y de 11000-13000. ((G): 10 lotes, (H): 120 lotes, (I): 1560 lotes. 29

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de la incertidumbre de la panela granulada 34
Anexo 2. Nivel Sigma 34
Anexo 3. Balances de masa del proceso de obtención de panela granulada 35
Anexo 4. Indicadores ambientales 36
Anexo 5. Dimensionamiento de los equipos 37
Anexo 6. Costos de inversión 38
Anexo 7. Costos de producción 39
Anexo 8. Indicadores económicos 41

NOMENCLATURA

ABREVIATURAS	SIGNIFICADO	UNIDADES
MSNM	Metros sobre el nivel del mar	m
P	Presión	Pa
TSat	Temperatura de saturación	ºC
JCSEvap3	Jugo de caña que sale de la evaporación 3	kg
BrixJCSEvap3	Brix jugo de caña que sale de la evaporación 3	ºBrix
PerdTCEvap3	Perdida de trasferencia de calor en la evaporación 3	%
TempJCSEvap3	Temperatura jugo de caña que sale de la evaporación 3	ºC
JCSEvap4	Jugo de caña que sale de la evaporación 4	kg
BrixJCSEvap4	Brix jugo de caña que sale de la evaporación 4	ºBrix
BrixJCEEvap4	Brix jugo de caña que entra a la evaporación 4	ºBrix
TempJCSEvap4	Temperatura jugo de caña que sale de la evaporación 4	ºC
IncTEbEvap4	Incremento de temperatura de ebullición evaporación 4	ºC
TpromEvap4	Temperatura promedio evaporación 4	ºC
TSupEvap4	Temperatura de superficie de la evaporación 4	ºC
CpJCEvap4	Calor especifico del jugo de caña de la evaporación 4	KJ/kg*K
TEbEvap4	Temperatura de ebullición de la evaporación 4	ºC
CLEvap4	Calor latente evaporación 4	KJ/kg
VPrEVAP4	Vapor producido en la evaporación 4	kg
FlujVPrEvap4	Flujo del vapor producido en la evaporación 4	kg/s
TiempEvap4	Tiempo de la evaporación 4	S
AreaEvap4	Área evaporación 4	m^2
FlujJCEvap4	Flujo de jugo de caña de la evaporación 4	kg/s
PerdTCEvap4	Perdida de trasferencia de calor en la evaporación 4	%
QcedEvap4	Calor cedido en la evaporación 4	J/s
QgEvap4	Calor ganado en la evaporación 4	J/s

DeltaTEvap4	Variación de temperatura de la evaporación 4	ºC
CoefGlobalTCEvap4	Coeficiente global de trasferencia de calor evaporación 4	W/m^2K
QInterEvap4	Calor intercambiado en la evaporación 4	J/s
densijugEvap4	Densidad del jugo en la evaporación 4	Kg/m^3
VolumenEvap4	Volumen del evaporador	m^3
AltEvap4	Altura del evaporador	m
AnchEvap4	Ancho del evaporador	m
LargEvap4	Largo del evaporador	m
JCSSecdr	Jugo de caña que sale del secador	kg
BrixJCESecdr	Brix jugo de caña que entra al secador	ºBrix
BrixJCSSecdr	Brix jugo de caña que sale del secador	ºBrix
compAireSecoEntSecador	Componente del aire seco que entra al secador	
compAireSecoSalSecador	Componente del aire seco que sale del secador	
compAireSecoEntSecador	Componente de aire seco que entra al secador	
compAireSecoSalSecador	Componente de aire seco que sale del secador	
HaAirSecSecdr	Humedad absoluta del aire seco del secador	gr agua/kg aire seco
HaAirHumSecdr	Humedad absoluta del aire húmedo del secador	gr agua/kg aire seco
CpJCSecdr	Calor especifico del jugo de caña del secador	kJ/kg*K
FlujJCSecdr	Flujo de jugo de caña del secador	kg/s
FlujAirSecSecdr	Flujo de aire seco del secador	kg/s
TempJCSSecdr	Temperatura jugo de caña que sale del secador	ºC
QcedSecdr	Calor cedido en el secador	J/s
QgSecdr	Calor ganado en el secador	J/s
PerdTCSecdr	Perdida de trasferencia de calor en el secador	%
deltaT1	Delta de la temperatura 1	ºC
deltaT2	Delta de la temperatura 2	ºC
TempAirHumSecdr	Temperatura del aire húmedo del secador	ºC
TempAirSecSecdr	Temperatura del aire seco del secador	ºC
deltaTmlSecdr	Variación de la temperatura media logarítmica del secador	ºC

CoefGlobalTCSecdr	Coeficiente global de trasferencia de calor secador	W/m^2K
QInterSecdr	Calor intercambiado en el secador	J/s
AreaSecdr	Área del secador	m^2
Pestatica	Presión estática	Pa
Pdinamica	Presión dinámica	Pa
Pentrada	Presión de entrada	Pa
Psalida	Presión de salida	Pa
Pambiente	Presión ambiente	Pa
Tambiente	Temperatura ambiente	°C
PTotal	Presión total	Pa
densi	densidad	Kg/m^3
AreaConSal	Área del conducto de salida	m^2
AreaConEnt	Área del conducto de entrada	m^2
Vs	Volumen de salida	m^3
Ve	Volumen de entrada	m^3
Potencia del ventilador	Potencia del ventilador	W
densijugSecdr	Densidad del jugo en el secador	Kg/m^3
VolumenSecdr	Volumen del secador	m^3
AltSecdr	Altura del secador	m
AnchSecdr	Ancho del secador	m
LargSecdr	Largo del secador	m
ConsMP	Consumo de materia prima (Caña)	kg caña/kg panela
ConsJC	Consumo de jugo de caña	kg Jugo de caña/kg panela
ConEnerg	Consumo de energía	J/kg de panela
VRS	Vertimiento de residuos solidos	kg bagazo, bagacillo/kg panela

ResG	Residuos gaseosos	kg vapor/kg de panela
CostoAdqEquiposRef	Costo de adquisición referencial	$
RangFAOCostAdq	Rango de costo de adquisición de equipos según la FAO	$/kg
CostoAdqEquiposRef	Costo de adquisición de equipos referencial	$
IndCostAct	Indicador de costo actual	
IndCostRef	Indicador de costo referencial	
CostInstalac	Costo de instalación	$
PorcientoCostInstalac	Porcentaje del costo de instalación	%
CostInstrum	Costo de instrumentación	$
PorcientoCostInstrum	Porcentaje del costo de instrumentación	%
CostTuber	Costo de tuberías	$
PorcientoCostTuber	Porcentaje del costo de tuberías	%
CostInstalelec	Costo de instalación eléctrica	$
PorcientoCostInstalele	Porcentaje del costo de instalación eléctrica	%
CostEdif	Costo de edificio	$
PorcientoCostEdif	Porcentaje del costo de edificio	%
CostPrepterreno	Costo de preparación de terreno	$
PorcientoCostPrepterreno	Porcentaje del costo de preparación de terreno	%
CostRequerimProces	Costo de requerimientos del proceso	$
PorcientoCostRequerimProces	Porcentaje del costo de requerimientos del proceso	%
CostTerrenos	Costo del terreno	$
PorcientoCostTerrenos	Porcentaje del costo del terreno	%
CostosDirectInvers	Costos directos de inversión	$
CostIngenysupervis	Costos de ingeniería y supervisión	$
PorcientoCostIngenysupervis	Porcentaje del costo de ingeniería y supervisión	%
Gastosconstruct	Gastos de construcción	$
PorcientoGastosconstruct	Porcentaje del gasto de construcción	%
CostosIndirectInvers	Costos indirectos de Inversión	$
Honorarios	Honorarios	$

PorcientoHonorarios	Porcentaje de honorarios	%
Imprevistos	Imprevistos	$
PorcientoImprevistos	Porcentaje de imprevistos	%
CapitalTrabajo	Capital de trabajo	$
PorcientoCapitalTrabajo	Porcentaje del capital de trabajo	%
CapitalTotalInvertido	Capital total invertido	$
CostAnuCa	Costo de caña anual	$/año
PrecCa	Precio de la caña	$/kg
MontAnuCa	Requerimiento anual de caña	kg/año
CostLabAnu	Costo anual de mano de obra	$ / año
NumOpPar	Numero de operarios por lote	
NumTurnosTrab	Numero de turnos por trabajador	
CostOpH	Costo de operarios por hora	$/hora
DiasdTrabAnho	Días de trabajo al año	
NumParDia	Número de paradas por días	
CostMatPrimMateriales	Costo de materia prima y materiales	$ / año
MVapEvap1	Masa de vapor en el evaporador 1	kg
MVapEvap2	Masa de vapor en el evaporador 2	kg
MVapEvap3	Masa de vapor en el evaporador 3	kg
LandaVapQced	Calor latente del vapor consumido	KJ/kg
ReqAnuVap	Requerimiento anual de vapor	kg
CostUtilAnuVap	Costo anual de vapor	$ / año
CostUnitVap	Costo unitario de vapor	$/kg
CostTFacAux	Costo de facilidades auxiliares	$ / año
SupOp	Supervisión operativa	$ / año
MantYRepar	Mantenimiento y reparación	$ / año
SuministrOp	Suministros operativos	$ / año
CargLab	Cargos por laboratorio	$ / año
ImpuestPropied	Impuestos por propiedad	$ / año
Seguro	Seguro	$ / año
CargosFij	Cargos fijos	$ / año
PlantSupGen	Planta superior general	$ / año
Admisnitr	Administración	$ / año

CostTProductSinDeprec	Costo total del producto sin depreciación	$ / año
Regalias	Regalías	$ / año
CostVariables	Costos variables	$ / año
CostFabricacion	Costos de fabricación	$ / año
DistribyVents	Distribución y venta	$ / año
InvestyDesarrollo	Investigación y desarrollo	$ / año
Gastgenerales	Gastos generales	$ / año
IngNeg1	Ingresos iniciales	$ / año
EgNeg1	Egresos iniciales	$ / año
FlujCNeg1	Flujo de caja inicial	$ / año
Ing0	Ingresos en el año cero	$ / año
Eg0	Egresos en el año cero	$ / año
FlujC0	Flujo de caja en el año cero	$ / año
Ing1	Ingresos en el año uno	$ / año
Eg1	Egresos en el año uno	$ / año
FlujC1	Flujo de caja en el año uno	$ / año
Ing2	Ingresos en el año dos	$ / año
Eg3	Egresos en el año dos	$ / año
FlujC2	Flujo de caja en el año dos	$ / año
Ing3	Ingresos en el año tres	$ / año
Eg4	Egresos en el año tres	$ / año
FlujC3	Flujo de caja en el año tres	$ / año
Ing4	Ingresos en el año cuatro	$ / año
Eg4	Egresos en el año cuatro	$ / año
FlujC4	Flujo de caja en el año cuatro	$ / año
Ing5	Ingresos en el año cinco	$ / año
Eg5	Egresos en el año cinco	$ / año
FlujC5	Flujo de caja en el año cinco	$ / año
Ing6	Ingresos en el año seis	$ / año
Eg6	Egresos en el año seis	$ / año
FlujC6	Flujo de caja en el año seis	$ / año
Ing7	Ingresos en el año siete	$ / año
Eg7	Egresos en el año siete	$ / año

FlujC7	Flujo de caja en el año siete	$ / año
Ing8	Ingresos en el año ocho	$ / año
Eg8	Egresos en el año ocho	$ / año
FlujC8	Flujo de caja en el año ocho	$ / año
Ing9	Ingresos en el año nueve	$ / año
Eg9	Egresos en el año nueve	$ / año
FlujC9	Flujo de caja en el año nueve	$ / año
Ing10	Ingresos en el año diez	$ / año
Eg10	Egresos en el año diez	$ / año
FlujC10	Flujo de caja en el año diez	$ / año
a	Sumatoria de los flujos de caja	$ / año
VAN	Valor actual neto	$
TIR	Tasa interna de retorno	%/año
Pr	Periodo de recuperación de la inversión (PAYBACK)	Años
FlujCtotal	Flujo de caja total	$ / año
PosA	Posición del período último con flujo acumulado negativo	
A	Período último con flujo acumulado negativo	$ / año
ValFlujCNega	Valor del flujo de caja negativo	$ / año
PosFlujCPos	Posición del flujo de caja positivo	$ / año
ValFlujCPost	Valor del flujo de caja positivo	$ / año
VFlujRecIn	Valor del flujo de caja en donde se recupera la inversión	$ / año
IngTotal	Ingresos totales	$
EgTotal	Egresos totales	$
MargenGanancias	Margen de ganancias	%

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La producción de panela en la Amazonía Ecuatoriana presenta una gran deficiencia de calidad, esto se debe a que no existe un buen control de parámetros operacionales, tecnología adecuada y buenas prácticas de manufactura (Guerrero M, 2015). Es importante que los parámetros de operación sean controlados porque permiten visualizar el comportamiento del pH, Brix siendo los factores que influyen en la calidad del producto final debido a que tiene gran variabilidad en el color (Cobos, Aparicio, Solano, & Gamboa, 2014). El color es un factor predominante en la calidad de la panela y en la India es usado como criterio de clasificación, este factor depende de la concentración y caramelización, que consiste en una oxidación pirolítica de algunos azúcares que genera compuestos coloreados de sabor agradable y la temperatura es un medio para que se origine lo indicado (Quezada, Gallardo, & Torres, 2016).

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo disminuir la variabilidad del color en la producción de la panela granulada desde de la fase de diseño?

2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo General

Diseñar el proceso de producción de panela granulada teniendo en cuenta el color como atributo de calidad para disminuir su variabilidad.

2.2.2. Objetivos Específicos

1. Implementar el modelo de predicción del color de la panela granulada como atributo de calidad en el Asistente matemático.
2. Desarrollar los modelos matemáticos de balance de masa y energía y dimensionamiento de las diferentes etapas del proceso de producción de panela.
3. Simular el proceso de producción de panela granulada incluyendo el color como atributo de calidad.

3. JUSTIFICACIÓN

La producción de panela en la Amazonía ecuatoriana presenta una amplia variabilidad en el atributo color, indicador de calidad esto se debe a que no existe un buen control de parámetros operacionales, tecnología adecuada y buenas prácticas de manufactura. Es importante que los parámetros de operación sean controlados porque permiten visualizar el

comportamiento del pH, Brix, tiempo de concentración, tiempo de agitación y temperatura siendo los factores que influyen en la calidad del producto final, por lo que es necesario el diseño del proceso de producción de la panela granulada teniendo en cuenta el color como atributo de calidad debido a que tiene gran variabilidad. La simulación en el proceso de producción de panela granulada contribuye con la evaluación, análisis y optimización de los procesos lo que conlleva a desarrollar mejores métodos tecnológicos, alcanzando rendimientos aceptables y productos homogéneos de calidad que beneficien económicamente al productor.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. PANELA, TIPOS, PRODUCCIÓN Y TECNOLOGÍAS

La panela es un producto muy conocido y gracias a sus características naturales, es demandado por los mercados europeos, ya que brinda una diferente opción de edulcorante y evita afectar la salud del consumidor puesto que se encuentra exento de componentes químicos (Flores, 2015). La producción de panela es una de las agroindustrias rurales de mayor tradición en América Latina y el Caribe (Villalta, 2012). La elaboración de la panela conlleva un proceso que parte desde el campo, enfocándose en la transformación de la caña de azúcar, requiere de un control de parámetros operacionales para que las características de la panela no varíen tanto en el producto final como en su calidad (CORPOICA, 2007). Hay dos tipos de panela muy conocidas que son la panela en bloque y la panela granulada, las dos son obtenidas por concentración del jugo de la caña de azúcar, tienen tecnologías parecidas pero la diferencia está en la última etapa porque la panela en bloque culmina con el moldeado y la panela granulada culmina con el granulado por batido.

La panela es un producto que se deriva de la caña de azúcar, tiene mucha aceptación entre la sociedad, más que todo porque es una opción sana de edulcorante en comparación con el azúcar blanco. El cliente tiene gustos distintos es por ello que la panela viene en distintas presentaciones entre las más conocidas la panela en bloque y granulada, sus procesos son similares y en la mayoría de los casos son emprendimientos artesanales, por lo tanto, el producto final carece de características sensoriales adecuados.

2.1.1. Tipos de Panela

La panela en bloque y granulada son productos integrales que se derivan de la caña de azúcar, se caracterizan por mantener en su composición todos los elementos nutricionales del jugo de la caña de azúcar, de igual manera son productos orgánicos debido a que durante el proceso de producción no se adiciona sustancias químicas artificiales para proporcionarle el color, sabor o textura (Sáenz, 2013). El incremento en la tendencia del consumo de productos orgánicos, naturales, de altos contenidos nutricionales y bajos contenidos calóricos en el ámbito mundial, ha impulsado el crecimiento de la demanda, promoviendo de esta forma a los pequeños y grandes productores a inclinarse por la diversificación y ampliación de la producción de panela. Una de las principales y selectas opciones para diversificar sus productos es la panela granulada (Chachapoya, 2010).

En nuestro país la agroindustria panelera se encuentra esparcida en las áreas subtropicales del territorio ecuatoriano, dirigido por los cañicultores (Villalta, 2012) y el control que se le da a todo su sistema productivo es condicionado, desde la cosecha de la caña de azúcar hasta el empaque y distribución del producto final (Montoya & Pablo, 2009). Se identifican como productos tradicionales la panela en bloque y granulada, se elaboran de forma artesanal y son consumidas por todos los estratos sociales del país (Villalta, 2012)

La producción de panela granulada se realiza en casi toda la provincia de Pastaza, en especial donde existen vías carrozales. Existen unas 15 fábricas tradicionales de las cuales algunas son mejoradas, tienen una capacidad instalada de 80-100 Kg. de panela por hora y se trabaja 8 a 12 horas diarias. En el mercado local, regional y nacional se constituye un incremento con muy buenas perspectivas. El programa es llevado por La ASOCAP desde su inicio, asistiendo en los últimos años por medio de núcleos conformados en Tarqui y Fátima (ASOCAP, 2020).

La panela en bloque se vende muy bien, pero no se compara con las ventas de la panela granulada ya que se parece a la azúcar blanca y es mucho más fácil de manipular. Hoy en día los clientes son más cómodos, prefieren no complicarse la vida por ello optan por adquirir productos sanos y que sean fáciles de manipular.

2.1.2. Producción a nivel mundial, nacional y provincial

Alrededor de 25 países producen panela; entre los cuales se encuentra la India como el mayor productor, la panela es conocida como Gur y se produce en Dhampur. Colombia ocupa el segundo lugar, con un valor que representó el 10,4% de la producción mundial en 1999. Colombia ocupa el primer lugar con un consumo per cápita de 33,9 kg, cifra que es mayor al promedio mundial que corresponde al 2,5 kg por habitante y de la India el consumo fue de 9,4 kg por habitante (FAO, 2004). La panela es producida en los estribos de la cordillera de las provincias de la Costa Sierra, y Amazonía ecuatoriana en donde la mayoría de los casos los cultivos son pertenecientes a pequeños agricultores. La producción de la caña de azúcar para panela en Ecuador se distribuye en un amplio número de unidades dispersas. Las provincias más se destacan en esta actividad son: Pastaza, Pichincha, Bolívar, Cotopaxi, Orellana, Chimborazo, Imbabura, Santo Domingo de los Tsachilas, Manabí, Guayas, Napo, Morona Santiago y otras en menor cantidad. De manera reiterada la panela granulada de origen ecuatoriano es uno de los productos que tiene mayor aceptación en los mercados de la Unión Europea (Naranjo, 2013). La Provincia de Pastaza, cuenta con una superficie

sembrada de 4500 hectáreas en donde el 40% lo destinan para panela y el 60% para alcohol, esta superficie sembrada representa el 14 % de producción de caña a nivel nacional (ASOCAP, 2020).

La elaboración de la panela granulada a lo largo de los años se ha venido llevando como un proceso artesanal y lo sigue siendo actualmente, lo que se espera a través de los años es llegar a industrializarlo con el fin de alcanzar una mayor producción y explotación de este producto en la Provincia de Pastaza lo que conllevaría a fomentar trabajo y con ello aumentar la economía.

2.1.3. Tecnologías utilizadas

La producción de panela es un proceso que parte desde el campo enfocado en la transformación de la caña de azúcar, por ello es un producto que requiere de un proceso tecnológico y de labores de cultivo, para su elaboración las características pueden variar tanto en el producto final como en su calidad (CORPOICA, 2007).

2.1.3.1. Tecnologías para la obtención de panela en bloque

La primera tecnología propuesta por Montoya and Pablo (2009); plantea la siguiente secuencia: molienda, limpieza, evaporación y concentración, punteo, batido, moldeo, enfriamiento, desmoldeo, empaque y almacenaje.

La segunda tecnología propuesta por Bernal (2010); plantea la siguiente secuencia: preparación de la mezcla, acondicionamiento, cocimiento, enfriamiento, receptor de masa, moldeo, desmoldeo del bloque de panela, almacenamiento, envasado.

La tercera tecnología propuesta por Ordoñez and Rueda (2017); plantea la siguiente secuencia: molienda, pre-limpieza, clarificación, evaporación, concentración, punteo, batido, moldeo, empaque y distribución.

La diferencia entre las tres tecnologías es que no todas tienen completas las etapas del proceso, su orden es distinto, la tecnología más adecuada es la primera porque las etapas del proceso están completas, tienen secuencia y se entiende.

2.1.3.2. Tecnologías para la obtención de panela granulada

La primera tecnología para panela granulada propuesta por Chachapoya (2010); plantea la siguiente secuencia: corte y almacenamiento, extracción, limpieza, evaporación y concentración, punteo, batido, empaque, obtención de la panela granulada.

La segunda tecnología para panela granulada propuesta Mujica, Guerra, and Soto (2008); plantea la siguiente secuencia: Molienda, clarificación, evaporación y concentración, batido y enfriamiento, envasado.

La tercera tecnología para panela granulada propuesta por Fiestas, Santos, Banda, Valdiviezo, and Arellano (2015); plantea la siguiente secuencia: molienda, clarificación, evaporación y concentración, batido y cristalización, obtención de la panela granulada.

La diferencia entre las tres tecnologías es que no todas tienen completas las etapas del proceso, su orden es distinto, la tecnología más adecuada es la tercera porque en ella consta una de las etapas más importantes del proceso de producción de la panela granulada que es la cristalización.

En la tecnología para panela en bloque hay etapas de moldeo y desmoldeo mientras que en la tecnología para panela granulada está la etapa de cristalización, por lo tanto, el producto final es distinto.

2.2. CALIDAD DE LA PANELA

Describir todos los atributos de calidad que influyen en la calidad de los dos tipos de panela. Haciendo énfasis en el color de la panela granulada.

La calidad de un alimento se lo puede definir como la medida en que el conjunto de propiedades y características que ofrecen el producto satisfacen las necesidades de quien lo consume (Lacaze, 2010).

Las categorías de atributos que más se consideran son: los atributos de seguridad que atribuyen certificaciones garantizando el cuidado en el manejo del alimento y su inocuidad; los atributos nutricionales que refleja el bajo contenido en grasas, en calorías o la adición de minerales y vitaminas; los atributos de valor (u organolépticos) que se refiere a la pureza, el tamaño, la apariencia y el gusto; por ultimo los atributos de presentación (o de empaque) que son materiales utilizados para el empaquetado, el etiquetado, la información proporcionada en el envase (Hedo, 2010).

Las variables que influyen en la calidad de un producto son: las variables de producto afectan directamente a la calidad o presentación del producto; las variables complementarias afectan al producto y al proceso y por ultimo las variables de proceso afectan directamente al proceso (Aguilar & Benalcazar, 2013).

La aceptación de la panela por los consumidores depende en gran medida de los atributos de calidad (°Brix, pH, humedad, azúcares reductores directos y totales, dureza y color) y los parámetros de inocuidad (coliformes totales, mohos y levaduras y la determinación de presencia de (*Salmonella* spp. y *Escherichia coli*). Los aspectos más valorados por los intermediarios son el color y la textura, por el hecho de que no hay una norma de calidad nacional que regule el precio de venta (Galicia, Hernández, Debernardi de la Vequia, Velasco, & Hidalgo, 2017).

En general el público asimila el color con la calidad del producto y este depende de las etapas de empacado y almacenado, ya que la panela es un producto con cualidades higroscópicas, es decir que absorbe o pierde humedad acorde al medio que se encuentre y a la composición del producto llegando a alterar la firmeza, el color, aumentando la presencia de azucares reductores y disminuyendo la cantidad de sacarosa (FAO, 2007). El color de la panela es el parámetro más importante, y es tomado en cuenta para la clasificación del producto, el color preferido por los consumidores es el amarillo dorado claro, por lo tanto, tiene una influencia muy relevante para la obtención de un buen precio (Mujica, 2007).

El color se evalúa conforme a la escala colorimétrica CIE-Lab utilizando el Pantone Palette X-rite, es una herramienta muy útil para el sector panelero y organismos de control con fines de aplicación ejecutiva, ya que sintetiza información en cuanto al color de la panela obtenido por el método natural, permite valorar la calidad del producto en cuanto a la presencia o no de sustancias químicas prohibidas especialmente del hidrosulfito de sodio (Quezada et al., 2016).

El color es un atributo de calidad que influyen mucho en la calidad de la panela, debido a que tiene gran variabilidad. Para obtener un color homogéneo en la producción de panela, debe haber un buen control de los parámetros operacionales en el proceso.

2.3. ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE PROCESOS

El diseño de procesos se refiere al proceso a través del cual se crean procesos. Se realiza aplicando métodos de economía, ingeniería y ciertos principios de la ciencia. El diseño de procesos consiste en crear, elegir y ordenar un grupo de operaciones que sean aptos para trasformar en producto terminado ciertas materias primas (Arce, 2011).

Las estrategias de diseño son dos:

1. La estrategia de programación matemática.

Se da por la formulación de modelos matemáticos y su solución mediante programación matemática. La estrategia de programación matemática comúnmente se utiliza como un problema de programación no lineal mixta entera, a partir de una estructura general que contenga todas las alternativas de diseño. Las variables enteras pertenecen a la existencia o ausencia de los equipos en la solución. Mientras que las variables continuas son los valores de los flujos, las presiones, temperaturas, tamaño de los equipos, etc. Dos dificultades de esta estrategia son la naturaleza no lineal de las ecuaciones y la consideración simultánea de todas las alternativas posibles, lo cual lleva a un conjunto de muchas ecuaciones no lineales.

2. La estrategia de la jerarquía de Douglas.

Procede avanzando por niveles en una jerarquía de decisiones a partir de propuestas simples. Por refinamientos sucesivos se llega al diagrama completo del proceso, la idea es descomponer el problema de diseño en subproblemas. Los niveles planteados por Douglas son: decidir entre proceso en batch o en continuo, definir la estructura de entrada y salida: materias primas e insumos que ingresan y salen del proceso, definir la estructura de reactores y reciclo: se refiere a recuperar o eliminar ciertos componentes de interés, definir la estructura del sistema de separadores: se basa en la recuperación de no menos del 99 % de los componentes valiosos, diseñar el sistema que permita la integración de energía en una red de intercambiadores de calor: integración de las fuentes de calentamiento y enfriamiento (Arce, 2011).

2.3.1. Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos

La selección de la alternativa tecnológica óptima tiene en cuenta criterios técnicos, medioambientales y económicos de forma heurística. Estos criterios tienen la característica de ser cuantificables y posibilitar la toma de decisiones (Pérez et al., 2012).

Los pasos a seguir el procedimiento secuencial del diseño de procesos son: producto demandado, seleccionar la tecnología, definir el esquema tecnológico, estimar la capacidad de la planta, realizar el estudio de macro localización, realizar los balances de masa y energía, constatar la disponibilidad y consumo de la materia prima, comprobar el cumplimiento de las normas medioambientales, determinar la capacidad de los equipos y el costo de adquisición, determinar la disponibilidad de los equipos, realizar el análisis económico, optimizar, valorar si la alternativa es económicamente factible, analizar si existen otras tecnologías, analizar si existen nuevas capacidades, seleccionar la tecnología y capacidad óptima (Pérez et al., 2012).

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

Ante la emergencia sanitaria que se suscitó, la investigación se realizó en la casa ubicada en la provincia de Morona Santiago, cantón Taisha.

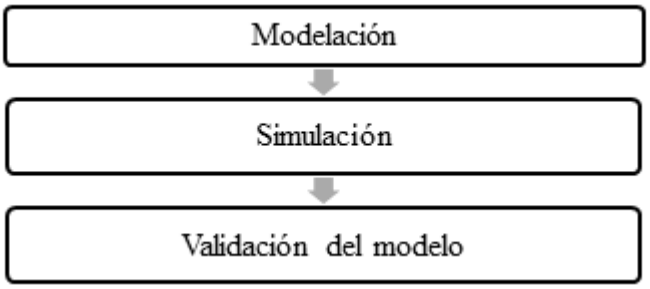
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se desarrolló por medio de una investigación explicativa, con la finalidad de explicar la causa de las situaciones que ocurren, en qué condiciones se presenta y aclarar porqué fue causado, empezando con estudios ya realizados sobre el avance de dicho acontecimiento, para lo cual hubo la necesidad de investigar, describir, comparar, analizar y manifestar sus resultados.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En la figura 1 se muestra los pasos que se emplearon para realizar la simulación matemática.

Figura 1. Pasos para la simulación matemática



Fuente: (Ramos & Millán, 2019)

El procedimiento de trabajo se llevó a cabo por medio de las siguientes fases:

3.3.1. Modelación matemática

La modelación matemática de los procesos de estudio está compuesta por las etapas descritas a continuación:

- Identificación de los fenómenos que ocurren en los procesos de estudio

Existen fenómenos que se presentan en el proceso de producción de panela granulada, entre ellos se encuentran, el fenómeno de transferencia de masa que se lleva a cabo durante la ejecución de todo el proceso, el fenómeno de reducción de tamaño en la molienda, el fenómeno de filtración, mientras que, durante el calentamiento, evaporación, concentración

y cristalización ocurre el fenómeno de transferencia de energía. Al identificar los fenómenos se pudo determinar, el tipo de modelos a emplear y su desarrollo en cada proceso.

- Desarrollo de los modelos

Después de haber identificado los fenómenos que intervienen en el proceso se utilizó, el modelo de la ley de Fick para la transferencia de masa y el modelo de Fourier para la transferencia de energía. Los modelos que se ejecutaron sirvieron para la resolución de las ecuaciones de balances de masa y energía desarrollados en estado estacionario y para las ecuaciones de diseño de equipamiento.

La distribución beta es adecuada para variables aleatorias continuas, por lo que se emplea en el modelo para predecir el color como atributo de calidad de la panela granulada, ya que permite calcular el nivel Sigma y conjuntamente identificar los productos defectuosos y, por consiguiente, proceder a disminuirlos.

3.3.2. Simulación

Para efectuar la simulación primero se definieron los límites de aplicación del modelo.

- Definición los límites de aplicación

Durante el proceso de producción de panela granulada, los límites que se aplicaron en la etapa de concentración fueron los pH, °Brix y tiempo de concentración, mientras que los límites de aplicación para la etapa de cristalización fueron pH, °Brix, tiempo de agitación y temperatura.

- Simulación

Al realizar el procedimiento adecuado se llevó a cabo la simulación, para ello se definieron todas las variables que forman parte del proceso en los distintos modelos que se plantearon, con la finalidad de comprender su comportamiento y evaluar nuevas estrategias dentro de los límites de aplicación mencionados anteriormente. Para la ejecución de los modelos que se establecieron se empleó el asistente matemático Octave, el cual nos permite visualizar los resultados de manera numérica y gráfica.

- Análisis de la incertidumbre

Con el fin de observar cómo afectan los parámetros de operación en la obtención de panela granulada tanto para el rendimiento como para el atributo de calidad que es el color, se efectuaron simulaciones con distintas condiciones. Se generaron variables aleatorias para las

diferentes condiciones de operación y calidad en las etapas de concentración y cristalización, empleando la distribución Beta puesto que es uno de los modelos que tiene mayor fiabilidad en términos industriales.

3.3.3. Validación del modelo

Los resultados que se obtuvieron fueron comparados con datos bibliográficos y por consiguiente se realizaron comparaciones.

En la tabla 1 se muestra el procedimiento de trabajo que se empleó para realizar las simulaciones y comparar los resultados en cuanto a las diferentes condiciones de operación.

Tabla 1. *Procedimiento de trabajo para la simulación*

pH-Brix				
CASO	**MATERIA PRIMA**	**CONDICIONES DE OPERACIÓN**	**CONDICIONES DE OPERACIÓN/ CALIDAD**	**LOTES ALEATORIOS**
PRIMERO	5,35 pH 12,55 °Brix	Concentración: 5,5-7 pH, 89-93 °Brix Cristalización: 5,5-7 pH, 90-94 °Brix	7000-9000	10 (equivalente a un día de trabajo) 120 (equivalente a un mes de trabajo) 1560 (equivalente a un año de trabajo)
	5,35 pH 12,55 °Brix	Concentración: 5,5-7 pH, 89-93 °Brix Cristalización: 5,5-7 pH, 90-94 °Brix	9000-11000	
	5,35 pH 12,55 °Brix	Concentración: 5,5-7 pH, 89-93 °Brix Cristalización: 5,5-7 pH, 90-94 °Brix	11000-13000	

Fuente: Elaboración propia

Las simulaciones que se efectuaron para el primer caso se establecieron con valores fijos de °Brix y pH para la materia prima, valores aleatorios para las condiciones de operación durante la etapa de concentración y cristalización, mientras que para definir la calidad del producto se generaron datos aleatorios entre 7000-9000, 9000-11000 y 11000-13000 teniendo en cuenta una producción de 10 lotes que se asumió que estos corresponden a la producción de un día, de 120 lotes que corresponden a un mes y de 1560 lotes que corresponde a un año.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA Y DE LOS FENÓMENOS QUE OCURREN EN LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA GRANULADA

El proceso de producción de la panela granulada inicia con la molienda de la caña de azúcar, donde el jugo es extraído y se obtiene bagazo como residuo, a continuación, el jugo pasa a un proceso de filtrado donde se retira impurezas y el bagacillo presente, posteriormente se realiza un calentamiento en donde se agrega óxido de calcio con el objetivo de regular la acidez del jugo a un valor de pH de 5,8 y retirando la cachaza que se forma. Seguidamente el jugo pasa por 3 evaporaciones aumentando de esta manera la concentración de azúcares en el jugo, donde la miel alcanza entre 65 a 75 °Brix, la etapa de concentración inicia cuando los jugos alcanzan un contenido de sólidos solubles entre 88 a 92 °Brix y finalmente para obtener la panela granulada la meladura pasa por la etapa de cristalización alcanzando valores entre 92 a 94 °Brix (Quezada, 2014). (Figura 2)



Figura 2. Diagrama de bloque del Proceso de producción de la panela granulada. Elaboración propia

Durante el proceso de producción de la panela granulada (Figura 2), se presentan ciertos fenómenos entre los cuales se puede mencionar, el fenómeno de transferencia de masa que se lleva a cabo durante la ejecución de todo el proceso, el fenómeno de reducción de tamaño en la molienda, el fenómeno de filtración, mientras que, durante el calentamiento, evaporación, concentración y cristalización ocurre el fenómeno de transferencia de energía.

4.2 DESARROLLO DE LOS MODELOS

La modelación matemática para el desarrollo de los balances de masa y energía del proceso de obtención de panela granulada se realizó por medio de ecuaciones, basadas en las leyes de Fourier para transferencia de energía y de Fick para transferencia de masa.

En la tabla 2 se muestra la ecuación (1) con la que se llevó a cabo el balance de masa en la etapa de concentración, el balance de energía en la etapa de concentración se realizó con las ecuaciones (2-6) mientras que para el diseño de equipamiento se empleó la ecuación (7).

Para realizar el balance de masa en la etapa de cristalización se empleó la ecuación (8), el balance de energía se realizó con las ecuaciones (9-14) mientras que para el diseño de equipamiento se empleó la ecuación (15).

Tabla 2. *Modelos matemáticos para los balances de materia y energía*

Tipo de Balance	Modelo Matemático	Numeración
	Concentración	
B.M.	$\mathrm{JCSEvap4} = \mathrm{AirSecd} + \mathrm{JCSSecd}$	Ecuación 1
B.E.	$\mathrm{CpJCEvap4} = 4{,}1868 - 0{,}02512 * \mathrm{BrixJCSEvap3}$	Ecuación 2
	$\mathrm{FlujJCEvap4} = \frac{\mathrm{JCSEvap4}}{\mathrm{tiempEvap4}}$	Ecuación 3
	$\mathrm{Qced} = \frac{\mathrm{QgEvap4}}{\mathrm{PerdTCEvap3}}$	Ecuación 4
	$\mathrm{QgEvap4} = \mathrm{FlujJCEvap4} * \mathrm{CpJCEvap4k} * (\mathrm{TempJCSevap4} - \mathrm{TempJCSEvap3})$	Ecuación 5
P.D.	$\mathrm{deltaTEvap4} = \mathrm{TsupEvap4} - \mathrm{TempJCSEvap4}$	Ecuación 6
	$\mathrm{AreaEvap4} = \frac{\mathrm{QgEvap4}}{\mathrm{CoefGlobalTCEvap4} * \mathrm{deltaTEvap4}}$	Ecuación 7
	Cristalización	
B.M.	$\mathrm{JCSEvap4} + \mathrm{AirSecSecdr} = \mathrm{JCSSecdr} + \mathrm{AirHumSecdr}$	Ecuación 8
B.E.	$\mathrm{CpJCESecdr} = 4.1868 - 0.02512 * \mathrm{BrixJCESecdr}$	Ecuación 9
	$\mathrm{FlujJCSecdr} = \frac{\mathrm{JCSSecdr}}{\mathrm{tiempSecdr}}$	Ecuación 10
	$\mathrm{FlujAirSecSecdr} = \mathrm{AirSecSecdr}/\mathrm{tiempSecdr}$	Ecuación 11
	$\mathrm{QcedSecdr} = \frac{\mathrm{QgSecdr}}{\mathrm{PerdTCSecdr}}$	Ecuación 12
P.D.	$\mathrm{QgSecdr} = \mathrm{JCSEvap4} * \mathrm{CpJCESecdr} * (\mathrm{TempJCSSecdr} - \mathrm{TempJCSEvap4S})$	Ecuación 13
	$\mathrm{PotVent} = \mathrm{FlujAirSecSecdr} * \mathrm{PTotal}$	Ecuación 14
	$\mathrm{AreaSecdr} = \mathrm{QInterSecdr}/(\mathrm{CoefGlobalTCSecdr} * \mathrm{deltaTmlSecdr})$	Ecuación 15

B.M. (Balance de Masa), B.E. (Balance de Energía), P. D. (Parámetro de Diseño)

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los indicadores ambientales se emplearon las ecuaciones (16-20), planteadas en la tabla 3.

Tabla 3. Modelos matemáticos para el cálculo de indicadores ambientales

INDICADORES AMBIENTALES	
$\text{ConsMP} = \frac{\text{FCE}}{\text{JCSSecdr}}$	Ecuación 16
$\text{ConsJC} = \frac{\text{JcSFiltr}}{\text{JCSSecdr}}$	Ecuación 17
$\text{ConEnerg} = \frac{\text{QcedCalent} + \text{QcedEvap1} + \text{QcedEvap2} + \text{QcedEvap3} + \text{QcedEvap4}}{\text{JCSSecdr}}$	Ecuación 18
$\text{VRS} = \frac{\text{Bag} + \text{BagcS}}{\text{JCSSecdr}}$	Ecuación 19
$\text{ResG} = \frac{\text{VPrEvap1} + \text{VPrEvap2} + \text{VPrEvap3} + \text{VPrEvap4}}{\text{JCSSecdr}}$	Ecuación 20

Fuente: Elaboración propia

Análisis económico

Para llevar a cabo el análisis económico de la producción de panela granulada, se emplearon las ecuaciones planteadas en la tabla 4, a través de las cuales se determinaron los costos de inversión (ecuaciones 21-39), costos de producción (ecuaciones 40-67), los flujos de caja (ecuaciones 68-103), mientras que los indicadores económicos, se calcularon a través de las ecuaciones (104-109).

Tabla 4. Modelos matemáticos para el análisis económico

Modelo matemático	Numeración
Costo de Inversión	
$\text{CostoAdqEquiposRef} = \text{RangFAOCostAdq} * \text{JCSEvap3}$	Ecuación 21
$\text{CostoAdqEquipos} = \text{CostoAdqEquiposRef} * \left(\frac{\text{IndCostAct}}{\text{IndCostRef}}\right)$	Ecuación 22
$\text{CostInstalac} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostInstalac}$	Ecuación 23
$\text{CostInstrum} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostInstrum}$	Ecuación 24
$\text{CostTuber} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostTuber}$	Ecuación 25
$\text{CostInstalelec} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostInstalele}$	Ecuación 26
$\text{CostEdif} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostEdif}$	Ecuación 27
$\text{CostPrepterreno} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostPrepterreno}$	Ecuación 28
$\text{CostRequerimProces} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostRequerimProces}$	Ecuación 29
$\text{CostTerrenos} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostTerrenos}$	Ecuación 30
$\text{CostosDirectInvers} = \text{CostInstalac} + \text{CostInstrum} + \text{CostTuber} + \text{CostInstalelec} + \text{CostEdif} + \text{CostPrepterreno} + \text{CostRequerimProces} + \text{CostTerrenos} + \text{CostoAdqEquipos}$	Ecuación 31
$\text{CostIngenysupervis} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCostIngenysupervis}$	Ecuación 32
$\text{Gastosconstruct} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoGastosconstruct}$	Ecuación 33
$\text{CostosIndirectInvers} = \text{CostIngenysupervis} + \text{Gastosconstruct}$	Ecuación 34
$\text{Honorarios} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoHonorarios}$	Ecuación 35
$\text{Imprevistos} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoImprevistos}$	Ecuación 36
$\text{CapitalFijoInvertido} = \text{CostosIndirectInvers} + \text{CostosDirectInvers} + \text{Honorarios} + \text{Imprevistos}$	Ecuación 37
$\text{CapitalTrabajo} = \text{CostoAdqEquipos} * \text{PorcientoCapitalTrabajo}$	Ecuación 38
$\text{CapitalTotalInvertido} = \text{CapitalFijoInvertido} + \text{CapitalTrabajo}$	Ecuación 39

Costos de producción

$$ValTotAnuPanel = PrecMiel * MontAnuPanel$$ Ecuación 40

$$CostAnuCa = PrecCa * MontAnuCa$$ Ecuación 41

$$CostRecipiente = PrecioRecipProduc * MontAnuPanela$$ Ecuación 42

$$CostEtiquetas = PrecioEtiquetas * MontAnuPanela$$ Ecuación 43

$$CostMatPrimMateriales = CostAnuCa + CostRecipiente + CostEtiquetas$$ Ecuación 44

$$CostLabAnu = NumOpPar * NumTurnosTrab * CostOpH * 8 * DiasdTrabAnho$$ Ecuación 45

$$MVap = Qced/LandaVapQced$$ Ecuación 46

$$ReqAnuVap = (MVapEvap1 + MVapEvap2 + MVapEvap2 + MVapEvap3 + MVapEvap4 + MVapConcent) * 5 * 365$$ Ecuación 47

$$CostUtilAnuVap = CostUnitVap * ReqAnuVap$$ Ecuación 48

$$CostTFacAux = CostUtilAnuVap$$ Ecuación 49

$$SupOp = 0.15 * CostLabAnu$$ Ecuación 50

$$MantYRepar = 0.06 * CapitalFijoInvertido$$ Ecuación 51

$$SuministrOp = 0.15 * MantYRepar$$ Ecuación 52

$$CargLab = 0.15 * CostLabAnu$$ Ecuación 53

$$ImpuestPropied = 0.02 * CapitalFijoInvertido$$ Ecuación 54

$$Seguro = 0.01 * CapitalFijoInvertido$$ Ecuación 55

$$CargosFij = ImpuestPropied + Seguro$$ Ecuación 56

$$PlantSupGen = 0.6 * (CostLabAnu + SupOp + MantYRepar)$$ Ecuación 57

$$Admisnitr = 0.2 * (CostLabAnu + SupOp + MantYRepar)$$ Ecuación 58

$$CostTProductSinDeprec = (CostAnuCa + CostLabAnu + SupOp + CostTFacAux + MantYRepar + SuministrOp + CargLab + ImpuestPropied + Seguro + PlantSupGen + Admisnitr)/(1 - 0.01 - 0.05 - 0.04)$$ Ecuación 59

$$Regalias = 0.01 * CostTProductSinDeprec$$ Ecuación 60

$$CostVariables = CostAnuCa + CostLabAnu + SupOp + CostTFacAux + MantYRepar + SuministrOp + CargLab + Regalias$$ Ecuación 61

$$CostFabricacion = CostVariables + CargosFij + PlantSupGen$$ Ecuación 62

$$DistribyVents = 0.05 * CostTProductSinDeprec$$ Ecuación 63

$$InvestyDesarrollo = 0.04 * CostTProductSinDeprec$$ Ecuación 64

$$Gastgenerales = Admisnitr + DistribyVents + InvestyDesarrollo$$ Ecuación 65

$$CostoProducTotal = Gastgenerales + InvestyDesarrollo + DistribyVents + CostFabricacion + CostVariables + Regalias$$ Ecuación 66

$$CostProducUnitario = \frac{CostMatPrimMateriales + CostLabAnu + CostFabricacion}{MontAnuPanela}$$ Ecuación 67

Flujos de caja

$$IngNeg1 = 0$$ Ecuación 68

$$IngNeg1 = 0$$ Ecuación 69

$$EgNeg1 = CapitalTotalInvertido$$ Ecuación 70

$$FlujCNeg1 = IngNeg1 - EgNeg1$$ Ecuación 71

$$Ing0 = (MontAnuPanel * 0.3) * PrecPanel$$ Ecuación 72

$$Eg0 = CostTProductSinDeprec * 0.3$$ Ecuación 73

$$FlujC0 = (Ing0 - Eg0) + FlujCNeg1$$ Ecuación 74

$$Ing1 = (MontAnuPanel * 0.35) * PrecPanel$$ Ecuación 75

$$Eg1 = CostTProductSinDeprec * 0.35$$ Ecuación 76

$$FlujC1 = (Ing1 - Eg1 + FlujC0$$ Ecuación 77

$$Ing2 = (MontAnuPanel * 0.45) * PrecPanel$$ Ecuación 78

$$FlujC2 = (Ing2 - Eg2) + FlujC1$$ Ecuación 79

$$Ing3 = (MontAnuPanel * 0.50) * PrecPanel$$ Ecuación 80

$$Eg3 = CostTProductSinDeprec * 0.50$$ Ecuación 81

$$FlujC3 = (Ing3 - Eg3) + FlujC2$$ Ecuación 82

$$Ing4 = (MontAnuPanel * 0.60) * PrecPanel$$ Ecuación 83

$$Eg4 = CostTProductSinDeprec * 0.60$$ Ecuación 84

	$FlujC4 = (Ing4 - Eg4) + FlujC3$	Ecuación 85
	$Ing5 = (MontAnuPanel * PrecPanel) * 0.70$	Ecuación 86
	$Eg5 = CostTProductSinDeprec * 0.70$	Ecuación 87
	$FlujC5 = (Ing5 - Eg5) + FlujC4$	Ecuación 88
	$Ing6 = (MontAnuPanel * 0.50) * PrecPanel$	Ecuación 89
	$Eg6 = CostTProductSinDeprec * 0.50$	Ecuación 90
	$FlujC6 = (Ing6 - Eg6) + FlujC5$	Ecuación 91
	$Ing7 = (MontAnuPanel * 0.45) * PrecPanel$	Ecuación 92
	$Eg7 = CostTProductSinDeprec * 0.45$	Ecuación 93
	$FlujC7 = (Ing7 - Eg7) + FlujC6$	Ecuación 94
	$Ing8 = (MontAnuPanel * 0.40) * PrecPanel$	Ecuación 95
	$Eg8 = CostTProductSinDeprec * 0.40$	Ecuación 96
	$FlujC8 = (Ing8 - Eg8) + FlujC7$	Ecuación 97
	$Ing9 = (MontAnuPanel * 0.35) * PrecPanel$	Ecuación 98
	$Eg9 = CostTProductSinDeprec * 0.35$	Ecuación 99
	$FlujC9 = (Ing9 - Eg9) + FlujC8$	Ecuación 100
	$Ing10 = (MontAnuPanel * 0.30) * PrecPanel$	Ecuación 101
	$Eg10 = CostTProductSinDeprec * 0.30$	Ecuación 102
	$FlujC10 = (Ing10 - Eg10) + FlujC9$	Ecuación 103
Valor actual neto	$VAN = npv(0.35, a, EgNeg1)$	Ecuación 104
Tasa interna de retorno	$TIR = irr(a, EgNeg1)$	Ecuación 105
Periodo de recuperación	$Pr = (A + [-(ValFlujCNega/VFlujRecIn)])$	Ecuación 106
Ingresos totales	$IngTotal = (Ing0 + Ing1 + Ing2 + Ing3 + Ing4 + Ing5 + Ing6 + Ing7 + Ing8 + Ing9 + Ing10)/11$	Ecuación 107
Egresos totales	$EgTotal = (Eg0 + Eg1 + Eg2 + Eg3 + Eg4 + Eg5 + Eg6 + Eg7 + Eg8 + Eg9 + Eg10)/11$	Ecuación 108
Margen de ganancias	$MargenGanancias = \frac{IngTotal - EgTotal}{IngTotal}$	Ecuación 109

Fuente: Elaboración propia

Las ecuaciones (110-111) de la Tabla 5, propuestas por Ramos (2019) fueron los modelos matemáticos mediante los cuales se determinó el comportamiento del atributo de calidad (color) de la panela granulada.

Tabla 5. *Modelos matemáticos para el atributo de calidad de la panela granulada*

Atributos de calidad	Modelos matemáticos	Numeración
Color inicial	$COLin = -10679.6 + (2069.52 * pHEvap4) + (20.082 * TiempDCEvap4) - (8.9434 * TfEvap4) + (69.2559 * TfEvap3)$	Ecuación 110
Color final	$Colfin = 559.688 + (0.913911 * COLin) - (64.4582 * pHSecdrPanela) + (124.853 * TiempagiSecdrPanela) + (31.2631 * TfSecdrPanela) - (20.039 * TfEvap4)$	Ecuación 111

Fuente: Elaboración propia

Para la generación de los valores aleatorios correspondientes a pH, °Brix y tiempo de concentración del evaporador 4 se emplearon las ecuaciones (112-114), mientras que para

el secador se emplearon los valores correspondientes a pH, °Brix, tiempo de agitación y temperatura se emplearon las ecuaciones (115-118). Estas ecuaciones fueron empleadas para el primer caso, especificado en la figura 3.

En la tabla 6 se muestra la determinación del nivel Sigma del proceso de producción de la panela granulada basado en la ecuación (119) planteada por Abdelhamid (2003). Además, por medio de la ecuación (120) planteada por Keller (2011) se calculan los lotes defectuosos por millón de oportunidades (DPMO), mientras que mediante la ecuación (121) se calcularon los DPU, es decir los lotes que tengan un valor inferior a 6 de la escala hedónica para el atributo (color).

Tabla 6. *Modelos matemáticos para cálculo del nivel Sigma y los DPMO*

Modelo matemático	Numeración
$\mathbf{pHEvap4} = (\mathbf{pHlsuEvap4} - \mathbf{pHlsiEvap4}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{pHlsiEvap4}$	Ecuación 112
$\mathbf{brixEvap4} = (\mathbf{brixlsuEvap4} - \mathbf{brixlsiEvap4}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{brixlsiEvap4}$	Ecuación 113
$\mathbf{TiempDCEvap4} = (\mathbf{TiempDClsuEvap4} - \mathbf{TiempDClsiEvap4}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{TiempDClsiEvap4}$	Ecuación 114
$\mathbf{pHSecdrPanela} = (\mathbf{pHlsuSecdrPanela} - \mathbf{pHlsiSecdrPanela}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{pHlsiSecdrPanela}$	Ecuación 115
$\mathbf{brixSecdrPanela} = (\mathbf{brixlsuSecdrPanela} - \mathbf{brixlsiSecdrPanela}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{brixlsiSecdrPanela}$	Ecuación 116
$\mathbf{TiempagiSecdrPanela} = (\mathbf{TiempagilsuSecdrPanela} - \mathbf{TiempagilsiSecdrPanela}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{TiempagilsiSecdrPanela}$	Ecuación 117
$\mathbf{TfSecdrPanela} = (\mathbf{TflsuSecdrPanela} - \mathbf{TflsiSecdrPanela}) * \mathbf{betarnd}(\mathbf{1}, \mathbf{1.5}, \mathbf{produc}, \mathbf{1}) + \mathbf{TflsiSecdrPanela}$	Ecuación 118
$\mathbf{nivel\ sigma} = \mathbf{1.5} - \mathbf{abs}(\mathbf{norminv}(\mathbf{DPMO} / \mathbf{1000000}))$	Ecuación 119
$\mathbf{DPMO} = \frac{\mathbf{DPU}}{\mathbf{Oportunidades}} * \mathbf{1\ 000\ 000}$	Ecuación 120
$\mathbf{DPU} = \mathbf{length}(\mathbf{unique}(\mathbf{klm}))$	Ecuación 121

Fuente: Elaboración propia

Los diferentes modelos matemáticos propuestos se agruparon en dependencia de los cálculos que se requirieron, es decir, se utilizaron modelos matemáticos para realizar los balances de masa, energía y dimensionamiento de los equipos en cada una de las etapas, dispuestos en scripts diferentes, así como también, se utilizaron modelos para el cálculo de los indicadores ambientales y análisis económico, empleando diferentes scripts para determinar los costos de inversión, costos de producción y flujo de caja, para todo el proceso de producción de panela granulada. También se requirieron modelos para determinar el nivel

Sigma, la incertidumbre, el atributo de calidad de la panela granulada y la generación de números aleatorios, los cuales se encuentran dispuestos en scripts diferentes.

Como se observa en la Figura 3, los scripts se encuentran distribuidos por etapas, según los requerimientos de los cálculos, siendo el script principal el de DatosPanela, donde se encuentran todos los datos necesarios para poder resolver los modelos que están establecidos en los demás scripts. Los modelos empleados para los balances de masa y energía se encuentran es scripts diferentes para la etapa de molienda, filtrado, calentamiento, evaporación 1, evaporación 2, evaporación 3, evaporación 4 y secador relacionándose con los demás según sea necesario. En el primer caso, el secador se relaciona con los scripts de Disprobeta, Calidadmiel, nivel Sigma e Incertidumbre, para la generación de números aleatorios de ºBrix y pH, determinación de los atributos de calidad, determinación del nivel Sigma y reducción del rango de la incertidumbre, respectivamente.

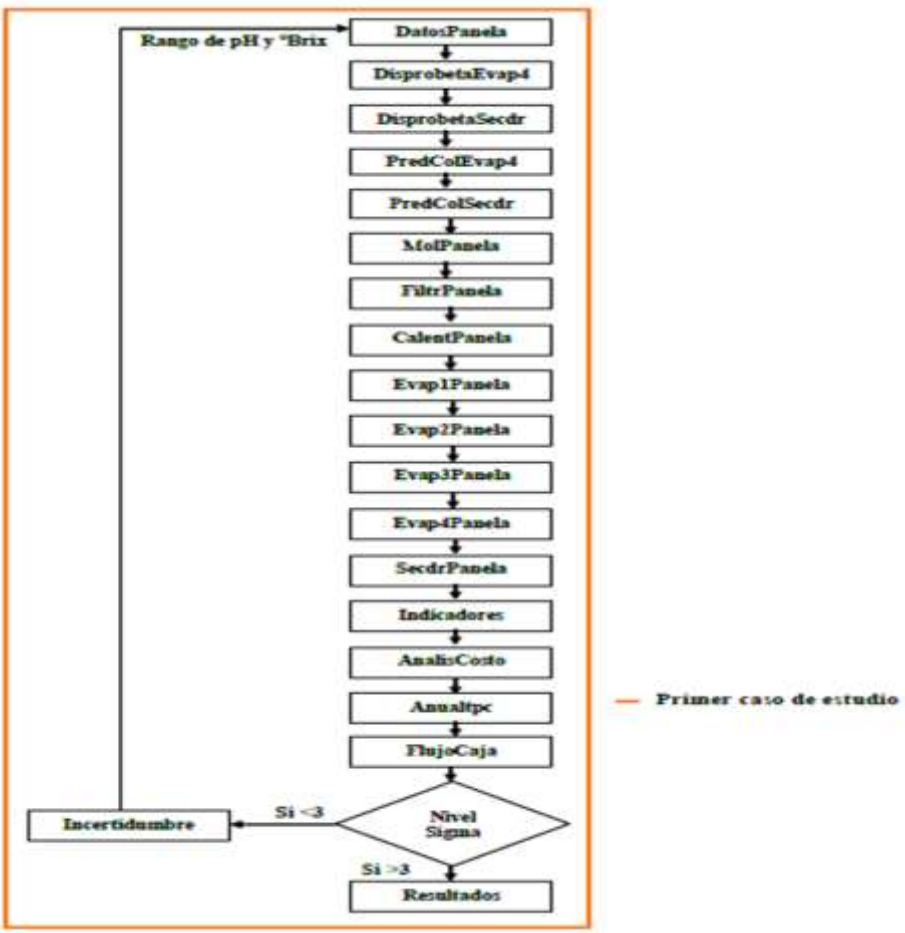


Figura 3. Estructura de los scripts para 1 caso de estudio. Elaboración propia

4.3 DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES DE APLICACIÓN

Para efectuar la simulación matemática, se establecieron previamente los límites de aplicación para el proceso de producción de la panela granulada. Para el primer caso se establecieron valores fijos de pH y °Brix, 5,35 y 12,55 respectivamente para la materia prima, para la etapa de concentración se generaron valores aleatorios entre 5,5-7 de pH, 89-93 de °Brix y 20-30min de tiempo de concentración, mientras que para la etapa de cristalización se generaron valores aleatorios entre 5,5-7 de pH, 90-94 de °Brix, 10-20min de tiempo de agitación y 40-60°C de temperatura.

4.4 SIMULACIÓN DEL PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE LA PANELA GRANULADA

Esta simulación se efectuó con el fin de establecer los valores óptimos de los atributos de calidad (pH, °Brix y color) de cada lote, de manera que se encuentren dentro de los rangos establecidos y por ende no obtener lotes defectuosos.

Durante la ejecución de las simulaciones, se generaron distintas iteraciones, en dependencia del nivel Sigma, es decir que hasta lograr que el nivel Sigma mayor a 3 o igual a 6 se realizaron las iteraciones necesarias.

4.4.1 Primer caso de estudio

Una vez realizadas las simulaciones para el primer estudio del caso se obtuvieron los resultados de los rangos de pH, °Brix, tiempo de concentración, color inicial a la salida de la etapa de concentración, también se obtuvieron los resultados de los rangos de pH, °Brix, tiempo de agitación, temperatura y color final a la salida de la etapa de cristalización, la influencia de la variación de ºBrix en las áreas de intercambio de calor, así como también se muestra que en cada iteración se va alcanzando el nivel Sigma requerido, la reducción del número de productos defectuosos y finalmente se realizó un análisis económico determinando el valor del VAN.

En la tabla 7 se muestran los parámetros de diseño y de operaciones tanto para la etapa de concentración como para la etapa de cristalización, el nivel sigma, y el VAN. Por cada producción respectivamente se seleccionó las mejores simulaciones e iteraciones dependiendo del rango establecido.

Tabla 7. *Selección de las mejores simulaciones para el primer caso de estudio.*

RANGO	PRODUCCIÓN	SIMULACIÓN	ITERACIÓN	PARAMETROS DE DISEÑO Y DE OPERACIONES						NIVEL SIGMA	VAN
				A.EVAP4	pHEvap4	°BrixEvap4	A.Secdr	pHSecdr	°BrixSecdr		
7000-9000	10 LOTES	10	4	1,4299	5,9165	90,5250	1,7018	6,1126	91,6925	2,7816	34154,9438
	120 LOTES	7	5	1,3880	5,8773	90,2331	1,7080	5,9278	91,2786	2,2835	-35499,4232
	1560 LOTES	10	7	1,3670	5,9405	90,1463	1,7098	5,9401	91,1920	1,8905	-113955,6560
9000-11000	10 LOTES	1	1	1,3536	6,1793	90,8415	1,6953	6,1202	92,0396	6,0000	93855,0143
	120 LOTES	2	2	1,4087	6,0845	90,7200	1,7016	5,9789	91,2857	6,0000	93857,9089
	1560 LOTES	5	2	1,3955	6,0489	90,3856	1,7048	6,0290	91,4040	3,8168	87734,5085
11000-13000	10 LOTES	1	1	1,4165	6,2172	90,5149	1,7027	6,0035	91,1926	0,0000	-503173,9542
	120 LOTES	1	1	1,3221	6,0734	90,5162	1,7077	6,0152	92,0508	0,0000	-503168,2058
	1560 LOTES	1	1	1,4298	6,0343	90,4486	1,6999	6,1467	91,5963	0,0000	-498202,3760

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron 12 simulaciones con sus respectivas iteraciones (figura 4), entre el rango de 7000-9000 pretendiendo encontrar el rango óptimo para disminuir la incertidumbre de los parámetros operacionales y lograr que los lotes tengan el atributo de calidad óptimo.

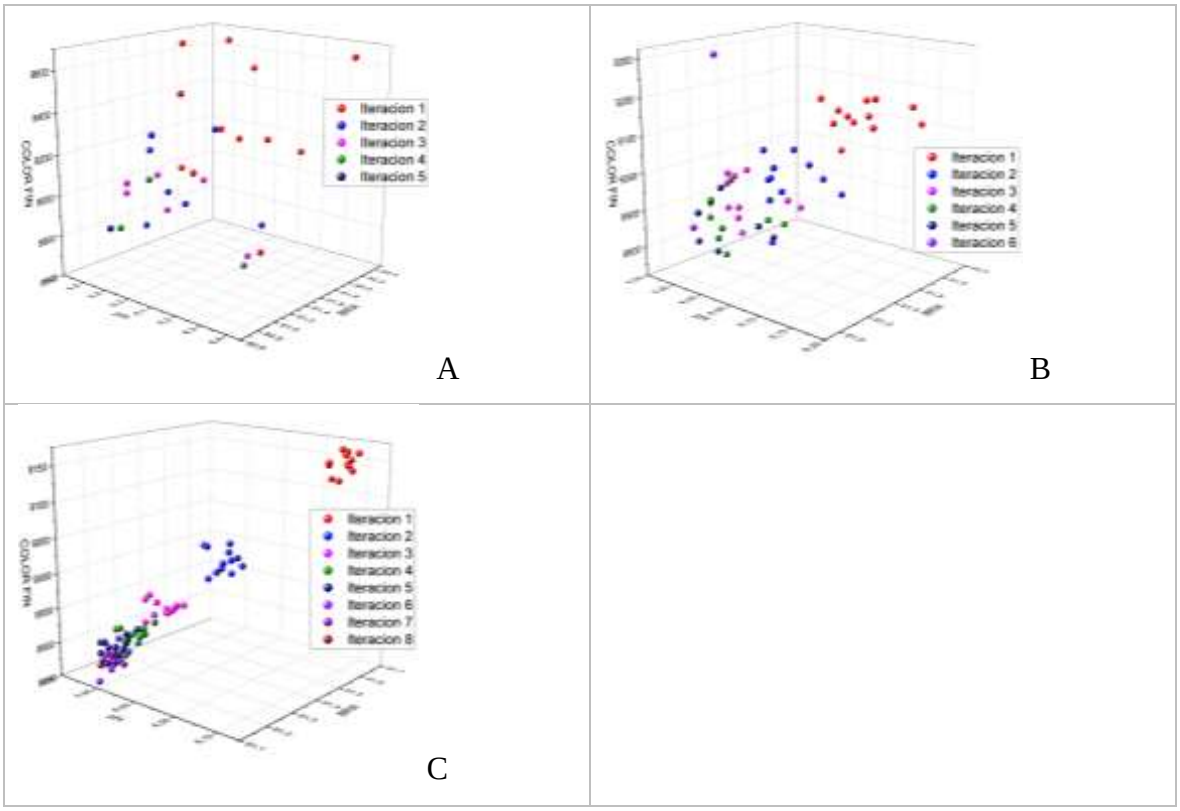


Figura 4. Valores del atributo de calidad en el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la figura 4 se observa que los valores del atributo color se ubican entre el rango 8600-9700, por lo tanto, los lotes no alcanzan el atributo de calidad óptimo (Anexo 1).

Se realizaron 12 simulaciones con sus respectivas iteraciones (figura 5), entre el rango de 9000-11000 pretendiendo encontrar el rango óptimo para disminuir la incertidumbre de los parámetros operacionales y lograr que los lotes tengan el atributo de calidad óptimo.

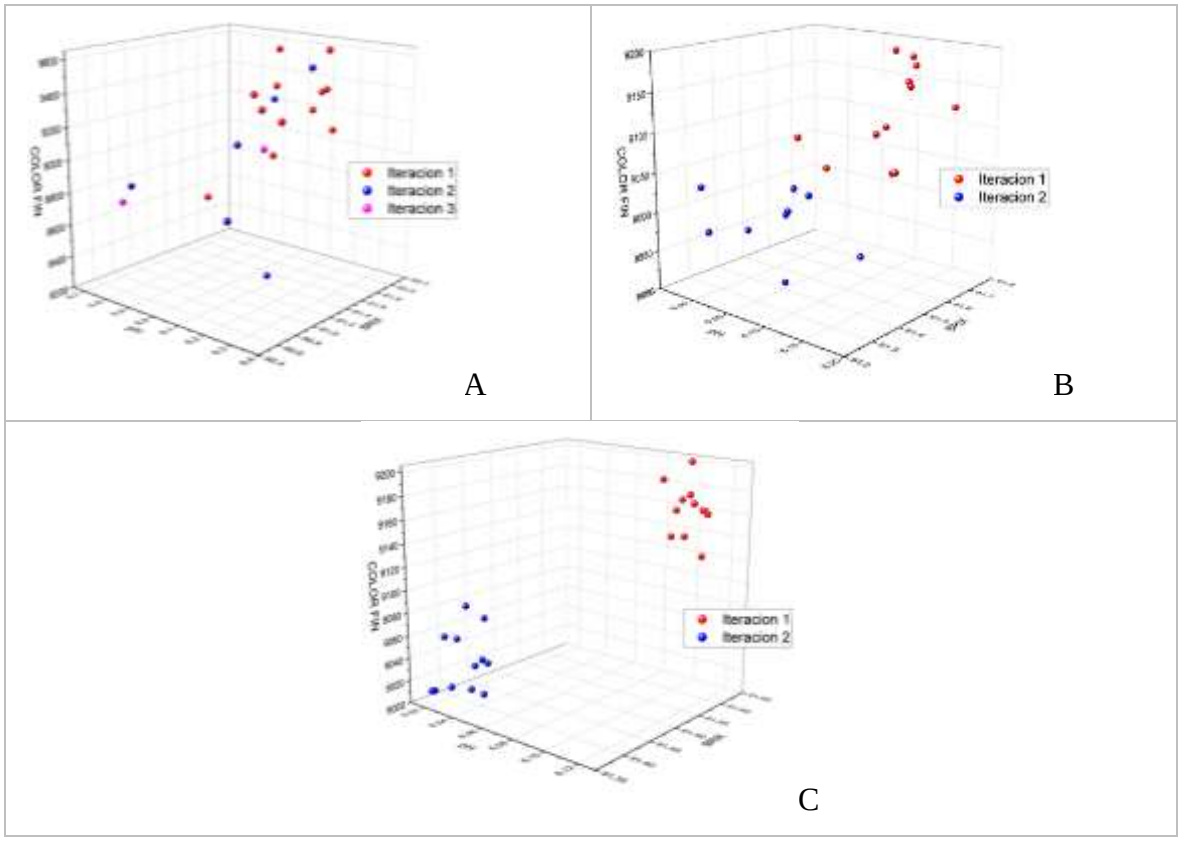
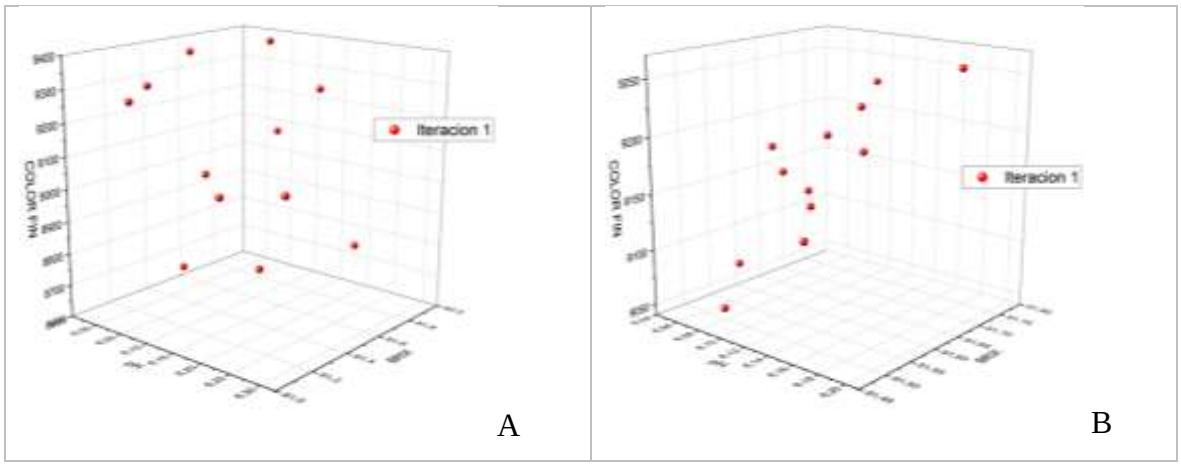
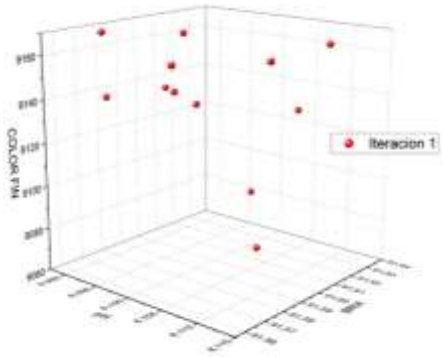


Figura 5. Valores del atributo de calidad en el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la Figura 5 se observa que la mayoría de los valores del atributo color se ubican entre el rango 9000-10000, por lo tanto, los lotes si alcanzan el atributo de calidad óptimo (Anexo 1).

Se realizaron 12 simulaciones (Figura 6), entre el rango de 11000-13000 pretendiendo encontrar el rango óptimo para disminuir la incertidumbre de los parámetros operacionales y lograr que los lotes tengan el atributo de calidad óptimo.



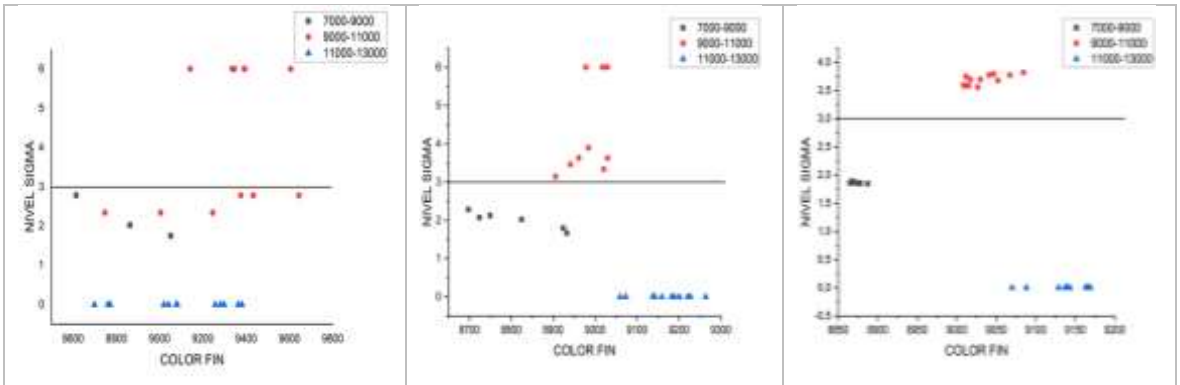


C

Figura 6. Valores del atributo de calidad en el rango de color ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la figura 6 se observa que los valores del atributo color se ubican entre el rango 8000-9400 y están fuera del rango establecido, por lo tanto, los lotes no alcanzan el atributo de calidad óptimo (Anexo 1).

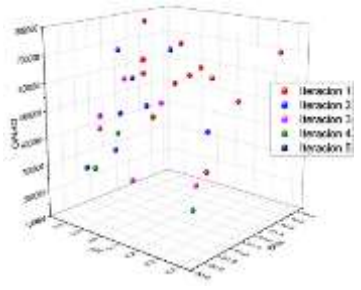
En la figura 7 se observa el comportamiento del nivel sigma en cada rango con relación al color, por lo tanto, el rango de 9000-11000 es el óptimo para que el nivel sigma sea mayor que 3 y la producción sea de calidad.



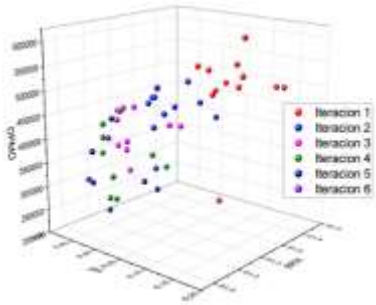
A B C

Figura 7. Comportamiento del nivel sigma en relación con el color final. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

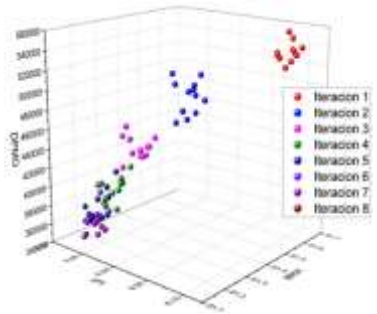
Se cuantificó los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) entre el rango de 7000-9000 (Figura 8), con los datos de la simulación fueron necesarios más iteraciones para que se redujera y conseguir el máximo número de productos aceptados. Mediante este método no solo se buscó disminuir los productos defectuosos sino, que también hallar los rangos de pH y Brix que permitan alcanzar los mejores resultados.



A



B

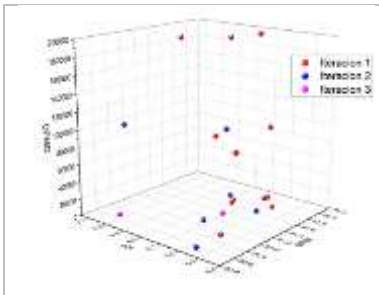


C

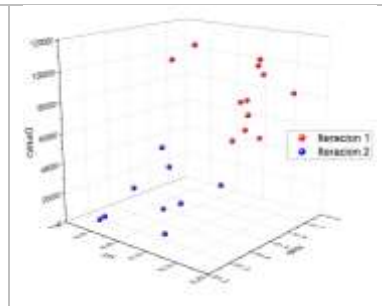
Figura 8. Valores de los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) en el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la Figura 8 se observa que los defectuosos por millón de oportunidades en el rango de 7000-9000 son elevados, por lo tanto, la producción no es aceptable.

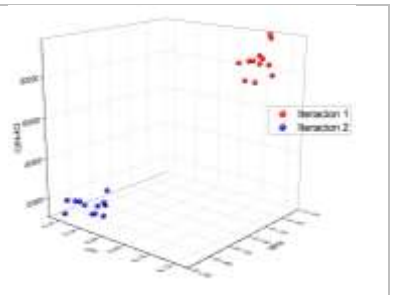
Se observa que los defectuosos por millón de oportunidades en el rango de 9000-11000 se redujeron al máximo, por lo tanto, la producción es aceptable. Se cuantificaron los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) entre el rango de 9000-11000 (figura 9), con los datos de la simulación fueron necesarios más iteraciones para que se redujera y conseguir el máximo número de productos aceptados. Mediante este método no solo se buscó disminuir los productos defectuosos sino, que también hallar los rangos de pH y Brix que permitan alcanzar los mejores resultados.



A



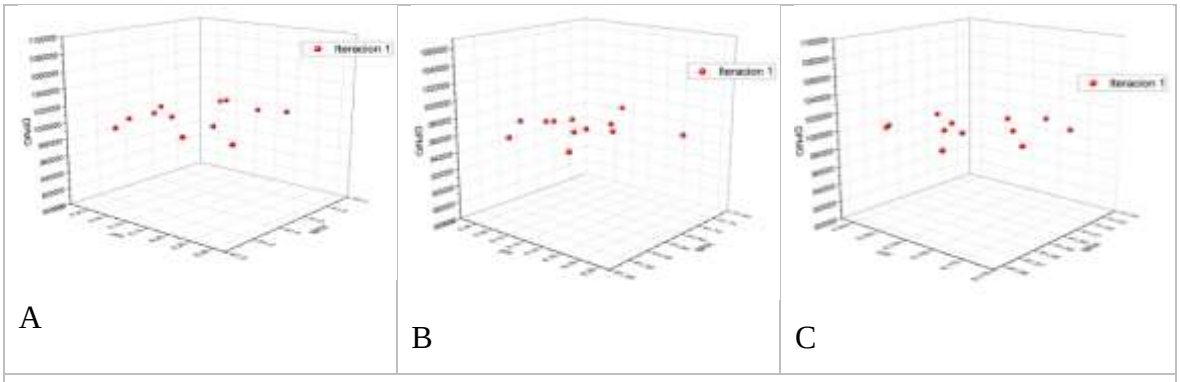
B



C

Figura 9. Valores de los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) en el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la figura 10 se observa que los defectuosos por millón de oportunidades en el rango de 11000-13000 fueron elevados, por lo tanto, la producción no es aceptable. Se cuantificó los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) entre el rango de 11000-13000 (figura 10), con los datos de la simulación no fueron necesarios más iteraciones, porque no se alcanzaron los resultados deseados.

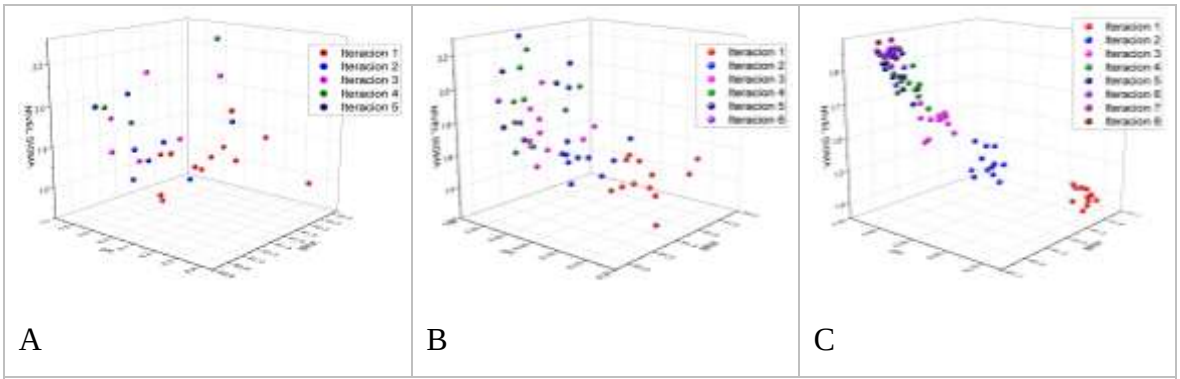


A B C

Figura 10. Valores de los defectuosos por millón de oportunidades (DPMO) en el rango de color ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la figura 11 se observa que después de haberse desarrollado las diferentes iteraciones, el nivel sigma es menor a tres, por lo tanto, no se acepta la producción.

A medida que se van desarrollando las iteraciones entre el rango de 7000-9000, la incertidumbre se reduce hasta alcanzar un nivel Sigma mayor a tres (Figura 11). Esto significa que el número de lotes defectuosos se fue disminuyendo en cada iteración.

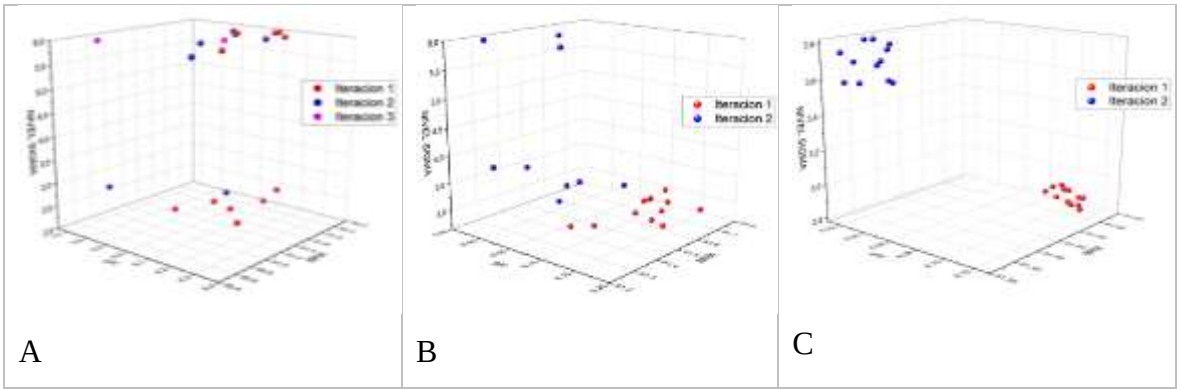


A B C

Figura 11. Valores del nivel Sigma en el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la figura 12 se observa que después de haberse desarrollado las diferentes iteraciones, el nivel sigma es mayor a tres, por lo tanto, se acepta la producción. A medida que se van

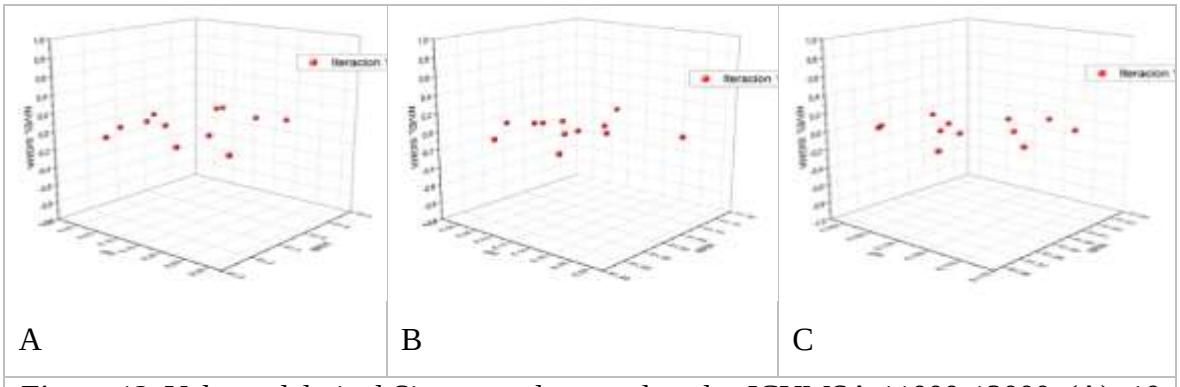
desarrollando las iteraciones entre el rango de 9000-11000, la incertidumbre se reduce hasta alcanzar un nivel Sigma mayor a tres (Figura 12). Esto significa que el número de lotes defectuosos se fue disminuyendo en cada iteración.



A B C

Figura 12. Valores del nivel Sigma en el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

A medida que se van desarrollando las simulaciones entre el rango de 11000-13000, la incertidumbre se reduce hasta alcanzar un nivel Sigma mayor a tres (Figura 13). Esto significa que el número de lotes defectuosos disminuye en cada iteración.



A B C

Figura 13. Valores del nivel Sigma en el rango de color ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la figura 13 se observa que el nivel sigma es igual a cero, motivo por el cual no se realizaron más iteraciones y, por lo tanto, no se acepta la producción.

En la Figura 14 se muestra el área de transferencia de calor en etapa de concentración y cristalización con sus respectivas iteraciones, a través del cual se pretende demostrar sus variaciones en dependencia de las condiciones de operación (Anexo 1).

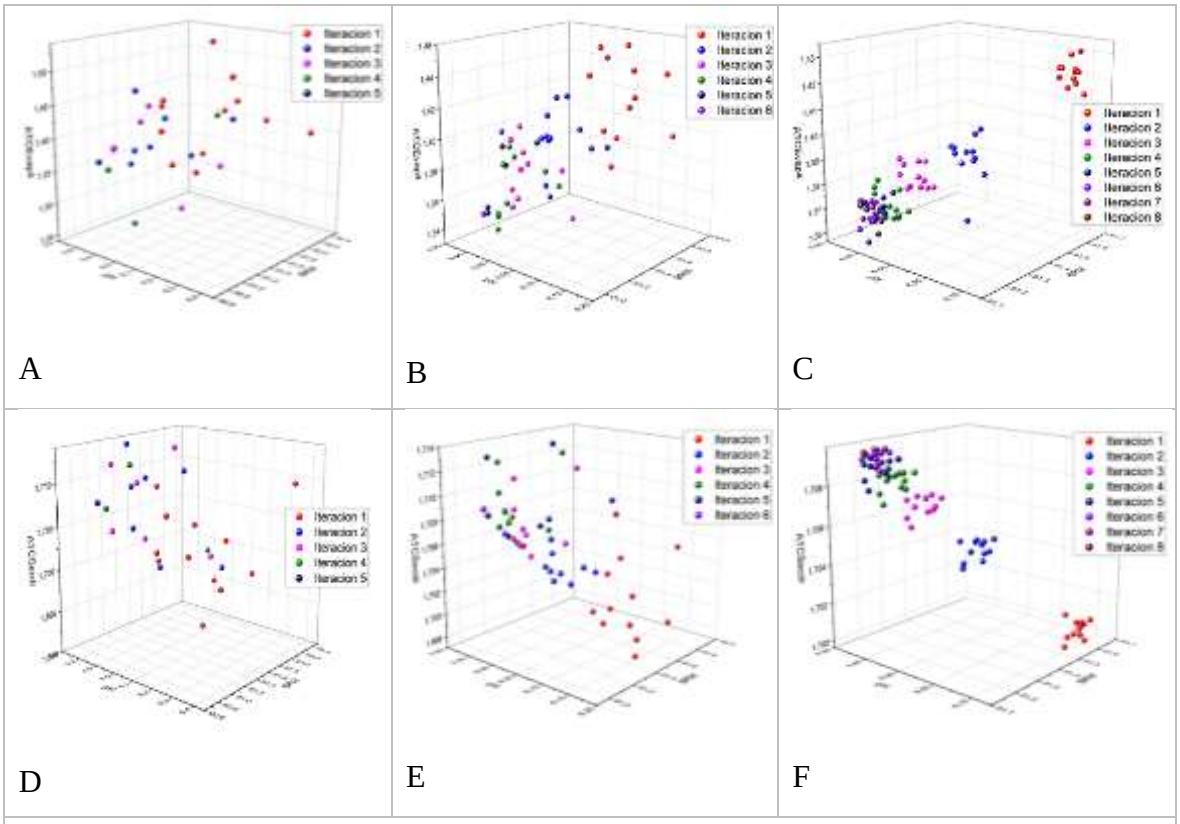
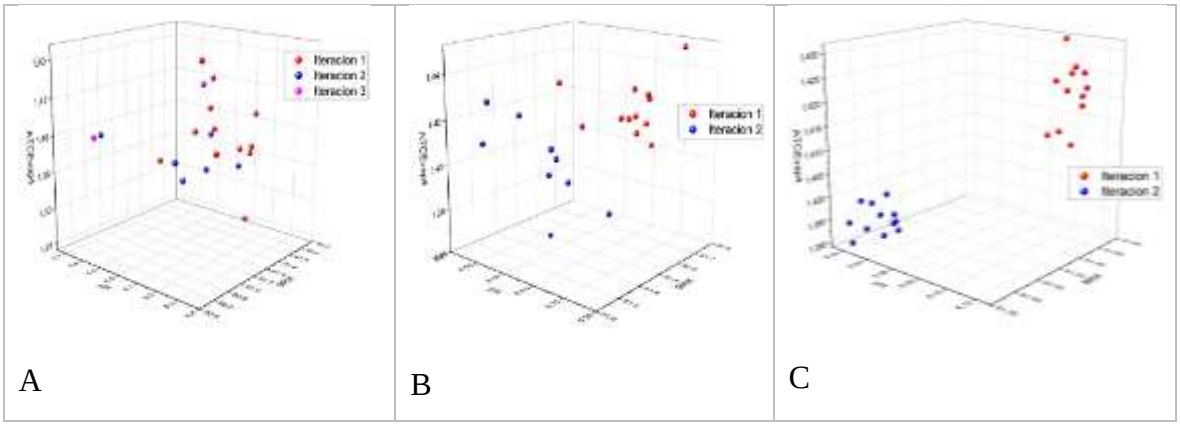
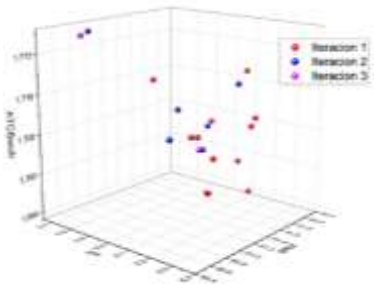


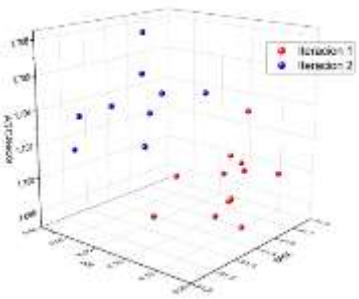
Figura 14. Comportamiento de las áreas de transferencia de calor en la etapa de concentración y cristalización entre el rango de color ICUMSA 7000-9000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes, (D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la Figura 15 se muestra el área de transferencia de calor de calor en etapa de concentración y cristalización con sus respectivas iteraciones, a través del cual se pretende demostrar sus respectivas variaciones en dependencia de las condiciones de operación (Anexo 1).

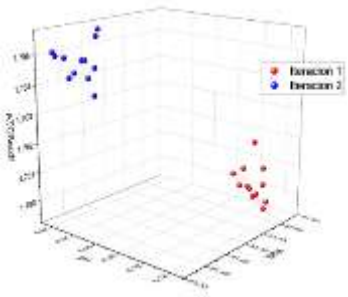




D



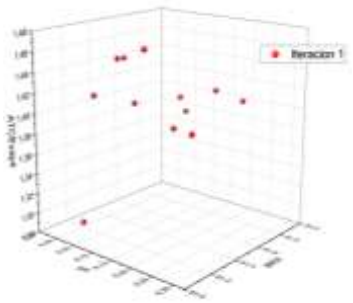
E



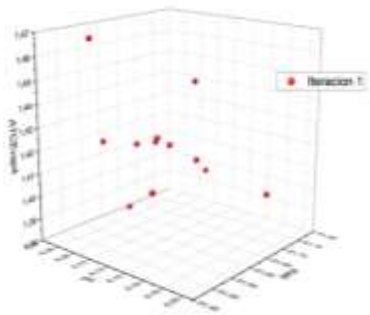
F

Figura 15. Comportamiento de las áreas de transferencia de calor en la etapa de concentración y cristalización entre el rango de color ICUMSA 9000-11000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes, (D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes. Elaboración propia.

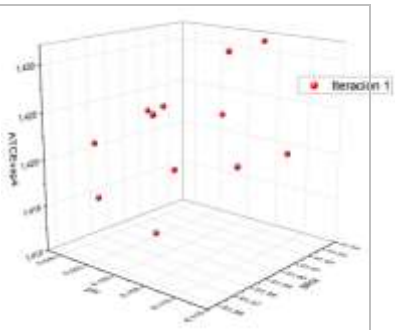
En la Figura 16 se muestra el área de transferencia de calor de calor en etapa de concentración y cristalización, a través del cual se pretende demostrar sus respectivas variaciones en dependencia de las condiciones de operación (Anexo 1).



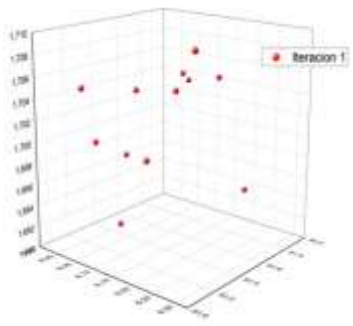
A



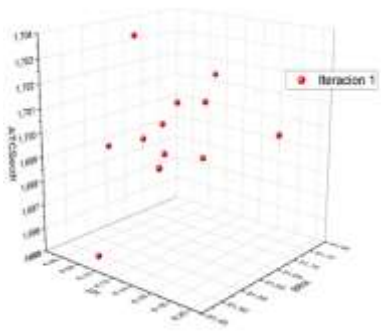
B



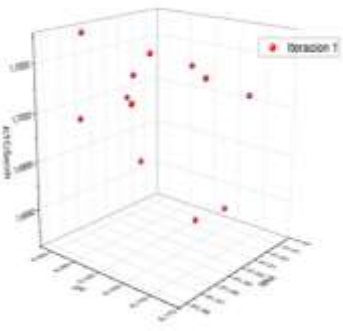
C



D



E



F

Figura 16. Comportamiento de las áreas de transferencia de calor en la etapa de concentración y cristalización entre el rango de colores ICUMSA 11000-13000. (A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes, (D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes. Elaboración propia.

En la Figura 17 se muestra el VAN obtenido durante las diferentes iteraciones. Los rangos de 7000-9000 y 11000-13000 resultaron negativos debido a la alta cantidad de productos defectuosos, mientras que en el rango de 9000-11000 el VAN resulto positivo mostrando incrementos significativos, debido a que los productos defectuosos disminuyeron.

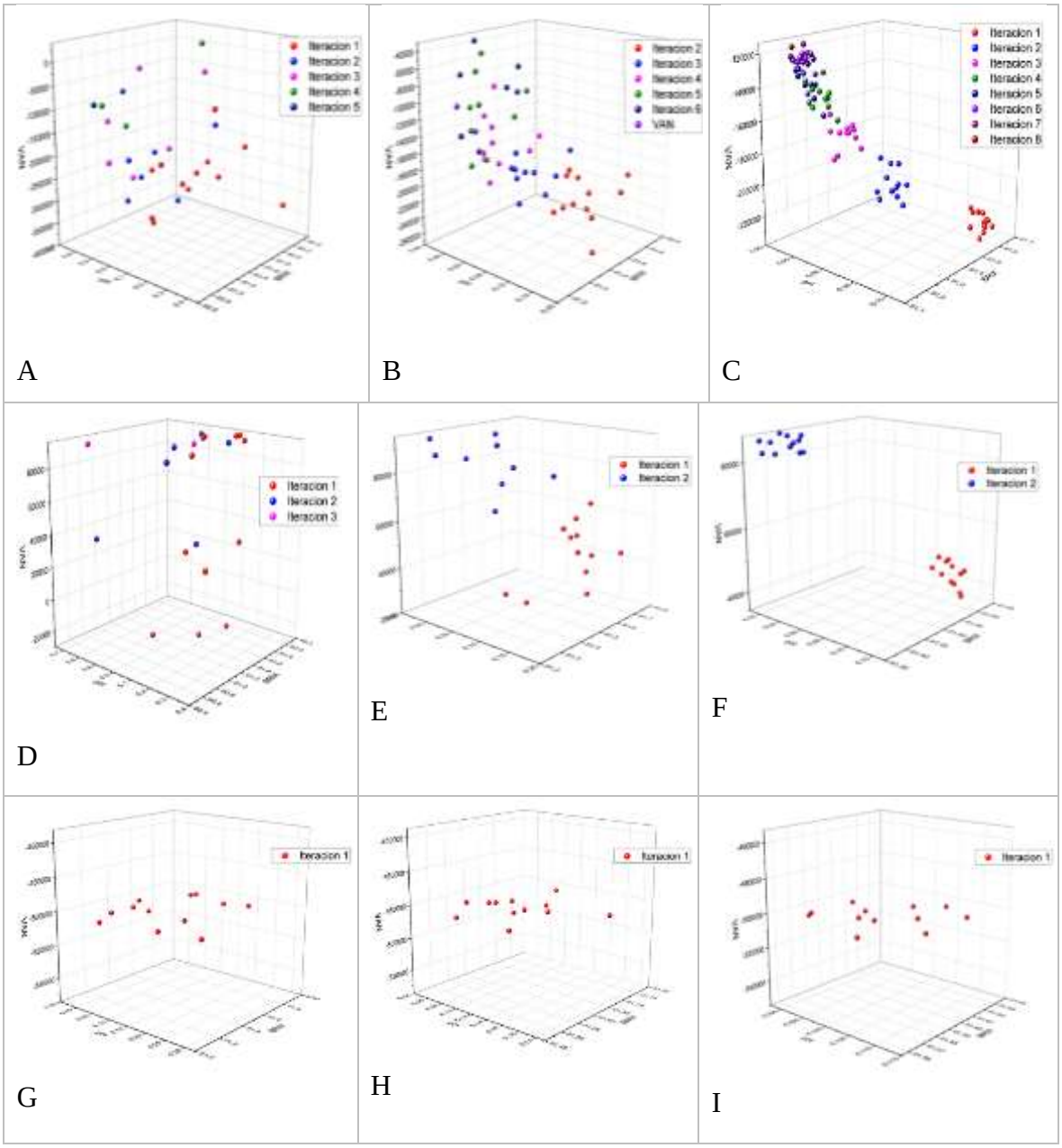


Figura 17. Comportamiento del VAN entre el rango de color ICUMSA de 7000-9000 ((A): 10 lotes, (B): 120 lotes, (C): 1560 lotes), de 9000-11000 ((D): 10 lotes, (E): 120 lotes, (F): 1560 lotes) y de 11000-13000. ((G): 10 lotes, (H): 120 lotes, (I): 1560 lotes. Elaboración propia.

4.5 VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS.

A continuación, los rangos que se obtuvieron en la simulación se compararon con los establecidos en la bibliografía.

Tabla 8. *Comparación de los datos obtenidos con los datos bibliográficos.*

	PARÁMETROS OPERACIONALES	RANGOS BIBLIÓGRAFICOS	RANGOS SIMULACIÓN
PRIMER CASO	pH	6,7-7,1	5,9-6,14
	°Brix	88-94	91,19-92,05

Fuente: Elaboración propia

Los rangos de pH y °Brix propuestos en la tabla 9, se establecieron tomando en cuenta que los rangos que se obtuvieron en el primer caso de estudio se encuentran dentro de estos intervalos. Los rangos bibliográficos utilizados para la comparación fueron establecidos por Granja (2013).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. En el diseño del proceso de producción de panela granulada, el atributo de calidad color depende del control de los parámetros operacionales fundamentalmente (pH y Brix) tanto en la etapa de concentración como en la etapa de cristalización. Siendo que el mejor rango de pH y °Brix es de 5,9-6,12 y 91,4-92,03 respectivamente y como mejor rango de color 9000-11000.

2. El modelo implementado para predecir el color de la panela granulada permitió predecir el comportamiento de este atributo en función de los parámetros operacionales del proceso pH, °Brix, temperatura y tiempo de operación.

3. El desarrollo de los modelos matemáticos en diferentes scripts enlazados a un script principal que tiene los datos necesarios. Este enfoque de trabajo contribuye a encontrar de manera fácil el error que se pudiera presentar en cuanto a los balances de masa y energía, dimensionamiento de equipo, atributo de calidad (color), nivel sigma y análisis económico.

4. Las simulaciones para el primer caso de estudio permitió observar que con valores inferiores a 8000 y superiores a 10000 no se alcanza el nivel sigma óptimo.

Recomendaciones

1. Que se mejore el modelo que permite predecir el color de la panela granulada, analizando panelas de diferentes colores ICUMSA y su relación con los colores CieLab.
2. Que se utilicen otros tipos de modelos como los Surrogate Model para predecir el color de la panela a partir de los parámetros operacionales del proceso.
3. Que se validen experimentalmente los resultados que se obtuvieron en la simulación.
4. Que se experimente con otros valores de los parámetros operacionales para estudiar su influencia en el color de la panela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Abdelhamid, T. (2003). *Six-Sigma in lean construction systems: opportunities and challenges.*, Universidad Estatal de Michigan, Virginia.

Aguilar, D., & Benalcazar, A. (2013). *Evaluación y optimización de la etapa de batido en el proceso de elaboración de panela granulada en la empresa agroindustrial panelera "la gardenia"* (Tesis pregrado), Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Arce, E. (2011). *Introducción al Diseño Básico de los Procesos Químicos* (I. P. Nacional Ed.). México.

ASOCAP. (2020). Agroindustria panelera en la provincia de Pastaza-Ecuador.

Bernal, J. (2010). *Estandarización de la Etapa de Cocimiento en el Proceso de Elaboración de Panela en Bloque en una Industria Azucarera* (Tesis pregrado), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Chachapoya, J. (2010). *Proyecto de factibilidad para la exportación de panela (chancaca) orgánica granulada al mercado Italiano.* (Tesis pregrado), Universidad Tecológica Equinoccial, Quito, Ecuador.

Cobos, L., Aparicio, M., Solano, H., & Gamboa, W. (2014). Diseño de un sistema de instrumentación y monitoreo de las variables en el proceso de dosificación de carbonato de calcio (CaCO3) para la producción de panela. *Revista Matices Tecnológicos, 6*.

CORPOICA. (2007). *Guía tecnológica para el manejo integral del sistema productivo de caña panelera*. Bogotá, Colombia: García, H; Albarracin, L; Toscano, A; Santana, N; Insuasty, O

FAO. (2004). *Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina*. Roma

FAO. (2007). *Manual: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM- en la Producción de Caña y Panela*. Medellín, Colombia: Osorio, G

Fiestas, K., Santos, I., Banda, S., Valdiviezo, W., & Arellano, K. (2015). *Diseño de una línea de producción de panela granulada.* (Tesis pregrado), Universidad de Piura, Perú.

Flores, M. (2015). *Proyecto de prefactibilidad para la exportación de panela.* (Tesis Pregrado), Universidad Tecnológica Equinoccial Quito, Ecuador.

Galicia, M., Hernández, A., Debernardi de la Vequia, H., Velasco, J., & Hidalgo, J. (2017). Evaluación de la calidad e inocuidad de la panela de Veracruz, México. *AGROProductividad, 10*(11), 35-41.

Granja, M. G., J. (2013). *Producción de panela granulada*. Ibarra, Imbabura, Ecuador

Guerrero M, E. J. (2015). Eficiencia técnica de la producción de panela. *Revista de Tecnología, 14*(1), 107-116.

Hedo, J. (2010). *Atributos de calidad de los alimentos. Metodologías de Estimación de la Disposición a pagar de los Consumidores.* (Tesis pregrado), Universidad Nacional de Mar de Plata, Buenos Aires, Colombia.

Panela Granulada, 555 C.F.R. (2002a).

Panela Sólida, (2002b).

Keller, P. (2011). *Six Sigma DeMYSTiFieD* (McGraw-Hill Ed.).

Lacaze, V. (2010). *Universidad Nacional de Mar de Plata.* (Tesis Maestría), Universidad Nacional de Mar de Plata, Buenos Aires, Argentina.

Montoya, C., & Pablo, G. (2009). *Propuesta de diseño de planta de procesamiento de caña para la elaboración de panela.* (Tesis pregrado), Universidad Nacional de Colombia, Yolombo, Antoquia, Colombia

Mujica, M. (2007). *Evaluación de panelas granuladas artesanales y estudio de algunos factores que afectan su calidad.* (Tesis pregrado), Universidad de Simón Bolivar, Quito, Ecuador.

Mujica, 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, 33*, 598-603.

Naranjo, J. (2013). *Estudio de prefactibilidad para el establecimiento de una planta movil para panela granulada* (Tesis prograd), Universidad Central, Quito, Ecuador

Ordoñez, M., & Rueda, L. (2017). Evaluación de los impactos socioambientales asociados a la producción de panela en Santander (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 18*(2), 379-396. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062017000200379&nrm=iso. doi:http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:637

Pérez, A., Cervantes, E., Julián, C., González, E., Gómez, A., Oquendo, H., . . . Ramos, 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. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382012000200012&nrm=iso.

Quezada, W. (2014). *Procedimiento para la intensificación y reconversión de instalaciones paneleras.* Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química.,

Quezada, W., Gallardo, I., & Torres, M. (2016). El color en la calidad de los edulcorantes de la agroindustria panelera. *Afinidad, 73*(573).

Ramos, J., & Millán, H. (2019). *Simulación del proceso de obtención de miel a partir de caña de azúcar.* (Tesis pregrado), Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador.

Ramos , M. (2019). *Influencia de los parámetros operacionales de las etapas de concentración y cristalización en el color de la panela granulada* (Tesis Pregrado), Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

Sáenz, D. (2013). *Industrialización de panela granulada orgánica en una planta de producción* (Tesis pregrado), Universidad de las Américas, Salinas, Ibarra, Ecuador.

Villalta, W. (2012). *Beneficios de la panela producida orgánicamente frente al azúcar blanca.* (Tesis pregrado), Universidad de Cuencua Cuenca, Ecuador

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de la incertidumbre de la panela granulada

RANGO	PRODUCCIÓN	SIMULACIÓN	ITERACIÓN	pH rango	pH media	Incer. pH	°Brix rango	°Brix media	Incer. °Brix
7000-9000	10 LOTES	10	4	6,0301 6,1951	6,1126	0,0825	91,5194 91,8654	91,6925	0,1730
	120 LOTES	7	5	5,9059 5,9496	5,9278	0,0218	91,2159 91,3411	91,2786	0,0626
	1560 LOTES	10	7	5,9322 5,9479	5,9401	0,0079	91,1702 91,2136	91,1920	0,0217
9000-11000	10 LOTES	1	1	5,6696 6,5707	6,1202	0,4505	90,8093 93,2698	92,0396	1,2303
	120 LOTES	2	2	5,7629 6,1948	5,9789	0,2160	90,7731 91,7983	91,2857	0,5126
	1560 LOTES	5	2	5,8216 6,2364	6,0290	0,2074	90,8659 91,94203	91,4040	0,5381
11000-13000	10 LOTES	1	1	5,6718 6,3335	6,0035	0,3308	90,2115 92,7715	91,1926	1,2800
	120 LOTES	1	1	5,6803 6,4672	6,0152	0,3934	90,5575 92,6046	92,0508	1,0235
	1560 LOTES	1	1	5,7197 6,5171	6,1467	0,3987	90,5435 92,6116	91,5963	1,0340

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Nivel Sigma

RANGO	PRODUCCIÓN	SIMULACIÓN	ITERACIÓN	DPU	% aceptados	DPMO	NIVEL SIGMA
7000-9000	10 LOTES	10	4	1	0,9	100000	2,7816
	120 LOTES	7	5	26	0,8	216666,667	2,2835
	1560 LOTES	10	7	543	0,7	348076,923	1,8905
9000-11000	10 LOTES	1	1	0	1	0	6
	120 LOTES	2	2	0	1	0	6
	1560 LOTES	5	2	16	0,99	10256,410	3,8168
11000-13000	10 LOTES	1	1	10	0	1000000	0,0000
	120 LOTES	1	1	10	0	1000000	0,0000
	1560 LOTES	1	1	10	0	1000000	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3. Balances de masa del proceso de obtención de panela granulada

RANGO 7000-9000				
CORRIENTE	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (4)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (7) ITERACIÓN (5)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (7)**	**UNIDAD**
Corriente de Entrada				
Caña	1183,7550	1183,7550	1183,7550	Kg
Corriente de Salida				
Bagazo	355,1265	355,1265	355,1265	Kg
Bagacillo	57,0936	57,0936	57,0936	Kg
Vapor	593,4884	593,4884	593,4884	Kg
Panela Granulada	146,9202	147,3753	147,5112	Kg
RANGO 9000-11000				
CORRIENTE	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (2) ITERACIÓN (2)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (5) ITERACIÓN (2)**	**UNIDAD**
Corriente de Entrada				
Caña	1183,7550	1183,7550	1183,7550	Kg
Corriente de Salida				
Bagazo	355,1265	355,1265	355,1265	Kg
Bagacillo	57,0936	57,0936	57,0936	Kg
Vapor	593,4884	593,4884	593,4884	Kg
Panela Granulada	146,4298	146,9010	147,1371	Kg
RANGO 11000-13000				
CORRIENTE	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	**UNIDAD**
Corriente de Entrada				
Caña	1183,7550	1183,7550	1183,7550	Kg
Corriente de Salida				
Bagazo	355,1265	355,1265	355,1265	Kg
Bagacillo	57,0936	57,0936	57,0936	Kg
Vapor	593,4884	593,4884	593,4884	Kg
Panela Granulada	146,9359	146,9338	146,8606	Kg

(*) Lotes aleatorios al año

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Indicadores ambientales

RANGO 7000-9000				
CORRIENTE	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (4)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (7) ITERACIÓN (5)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (7)**	**UNIDAD**
Consumo de MP	8,0571	8,0322	8,0248	kg caña/kg panela
Consumo de Jugo de Caña	5,2514	5,2352	5,2303	kg Jugo de caña/ kg panela
Consumo de Energía	2170,7318	2157,6894	2152,1365	J/ kg panela
Vertimiento Residual Solidos	2,8057	2,7971	2,7945	kg bagazo, bagacillo/ kg panela
Residuo de Gas	4,2072	4,1908	4,1860	kg vapor/ kg panela.
RANGO 9000-11000				
CORRIENTE	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (2) ITERACIÓN (2)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (5) ITERACIÓN (2)**	**UNIDAD**
Consumo de MP	8,0841	8,0582	8,0453	kg caña/kg panela
Consumo de Jugo de Caña	5,2690	5,2521	5,2436	kg Jugo de caña/ kg panela
Consumo de Energía	2161,5552	2166,8862	2161,7577	J/ kg panela
Vertimiento Residual Solidos	2,8151	2,8061	2,8016	kg bagazo, bagacillo/ kg panela
Residuo de Gas	4,2249	4,2079	4,1994	kg vapor/ kg panela.
RANGO 11000-13000				
CORRIENTE	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	**UNIDAD**
Consumo de MP	8,0563	8,0564	8,0604	kg caña/kg panela
Consumo de Jugo de Caña	5,2508	5,2509	5,2535	kg Jugo de caña/ kg panela
Consumo de Energía	2157,7967	2170,5713	2172,0788	J/ kg panela
Vertimiento Residual Solidos	2,8054	2,8055	2,8069	kg bagazo, bagacillo/ kg panela
Residuo de Gas	4,2066	4,2067	4,2094	kg vapor/ kg panela.

(*) Lotes aleatorios al año

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. Dimensionamiento de los equipos

RANGO 7000-9000						
EQUIPO	**CANT.**	**DESCRIPCIÓN**	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (4)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (7) ITERACIÓN (5)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (7)**	**UNIDAD**
Molino	1	Capacidad de molienda	1183,7550	1183,7550	1183,7550	kg/h
Filtro	1	Área de filtrado	0,6164	0,6164	0,6164	m^2
Calentador	1	Área de calentamiento	0,7337	0,7337	0,7337	m^2
Evaporador 1	1	Área de transferencia de calor	2,3793	2,3793	2,3793	m^2
Evaporador 2	1	Área de transferencia de calor	1,5454	1,5454	1,5454	m^2
Evaporador 3	1	Área de transferencia de calor	0,5479	0,5479	0,5479	m^2
Evaporador 4	1	Área de transferencia de calor	1,4299	1,3880	1,3670	m^2
Secador	1	Área de transferencia de calor	1,7018	1,7080	1,7098	m^2
RANGO 9000-11000						
EQUIPO	**CANT.**	**DESCRIPCIÓN**	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (2) ITERACIÓN (2)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (5) ITERACIÓN (2)**	**UNIDAD**
Molino		Capacidad de molienda	1183,7550	1183,7550	1183,7550	kg/h
Filtro		Área de filtrado	0,6164	0,6164	0,6164	m^2
Calentador		Área de calentamiento	0,7337	0,7337	0,7337	m^2
Evaporador 1		Área de transferencia de calor	2,3793	2,3793	2,3793	m^2
Evaporador 2		Área de transferencia de calor	1,5454	1,5454	1,5454	m^2
Evaporador 3		Área de transferencia de calor	0,5479	0,5479	0,5479	m^2
Evaporador 4		Área de transferencia de calor	1,3536	1,4087	1,3955	m^2
Secador		Área de transferencia de calor	1,6953	1,7016	1,7048	m^2
RANGO 11000-13000						
EQUIPO	**CANT.**	**DESCRIPCIÓN**	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	**UNIDAD**
Molino		Capacidad de molienda	1183,7550	1183,7550	1183,7550	kg/h
Filtro		Área de filtrado	0,6164	0,6164	0,6164	m^2
Calentador		Área de calentamiento	0,7337	0,7337	0,7337	m^2
Evaporador 1		Área de transferencia de calor	2,3793	2,3793	2,3793	m^2
Evaporador 2		Área de transferencia de calor	1,5454	1,5454	1,5454	m^2
Evaporador 3		Área de transferencia de calor	0,5479	0,5479	0,5479	m^2
Evaporador 4		Área de transferencia de calor	1,3632	1,4298	1,4335	m^2
Secador		Área de transferencia de calor	1,7021	1,7020	1,7010	m^2

(*) Lotes aleatorios al año

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6. Costos de inversión

COSTOS DE INVERSIÓN		
ELEMENTOS	**CANTIDAD**	**UNIDAD**
Costos directos	73676,9454	$
Adquisición de equipos	25145,7152	$
Instalación	9806,8289	$
Instrumentación	3268,9430	$
Tuberías	7795,1717	$
Instalación eléctrica	2514,5715	$
Edificio	7292,2574	$
Preparación de terreno	2514,5715	$
Requerimientos del proceso	13830,1433	$
Terreno	1508,7429	$
Total	**147353,8908**	$
Costos indirectos	16596,1720	$
Ingeniería y supervisión	8046,6288	$
Construcción	8549,5432	$
Total	**33192,3440**	$
Capital fijo invertido	103851,8036	$
Honorarios	4526,2287	$
Imprevistos	9052,4575	$
Total	**117430,4898**	$
Capital de trabajo	18607,8292	$
Capital total invertido	122459,6328	$

(*) Lotes aleatorios al año

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Costos de producción

RANGO 7000-9000				
ELEMENTOS	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (4)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (7) ITERACIÓN (5)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (7)**	**UNIDAD**
Materias primas	51473,9483	51474,6583	51474,8703	$/AÑO
Mano de obra operativa	9360,0000	9360,0000	9360,0000	$/AÑO
Supervisión operativa	1404,0000	1404,0000	1404,0000	$/AÑO
Facilidades auxiliares	526,9150	525,6056	524,8684	$/AÑO
Mantenimiento y reparación	6231,1082	6231,1082	6231,1082	$/AÑO
Suministros operativos	934,6662	934,6662	934,6662	$/AÑO
Cargos de laboratorio	1404,0000	1404,0000	1404,0000	$/AÑO
Regalías (si no es en una suma global)	978,2920	978,2853	978,2795	$/AÑO
Costo variable	72083,7343	72082,4182	72081,6753	$/AÑO
Impuestos (propiedad)	2077,0361	2077,0361	2077,0361	$/AÑO
Seguro	1038,5180	1038,5180	1038,5180	$/AÑO
Cargos fijos	3115,5541	3115,5541	3115,5541	$/AÑO
Planta superior, general	10197,0649	10197,0649	10197,0649	$/AÑO
Costo de fabricación	85396,3533	85395,0372	85394,2943	$/AÑO
Administración	3399,0216	3399,0216	3399,0216	$/AÑO
Distribución y venta	4891,4599	4891,4266	4891,3974	$/AÑO
Investigación y desarrollo	3913,1679	3913,1413	3913,1179	$/AÑO
Gastos generales	12203,6495	12203,5895	12203,5370	$/AÑO
Costo total del producto sin depreciación	97829,1982	97828,5322	97827,9487	$/AÑO
RANGO 9000-11000				
ELEMENTOS	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (2) ITERACIÓN (2)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (5) ITERACIÓN (2)**	**UNIDAD**
Materias primas	51473,1834	51473,9184	51474,2868	$/AÑO
Mano de obra operativa	9360,0000	9360,0000	9360,0000	$/AÑO
Supervisión operativa	1404,0000	1404,0000	1404,0000	$/AÑO
Facilidades auxiliares	523,5396	526,0648	525,7243	$/AÑO
Mantenimiento y reparación	6231,1082	6231,1082	6231,1082	$/AÑO
Suministros operativos	934,6662	934,6662	934,6662	$/AÑO
Cargos de laboratorio	1404,0000	1404,0000	1404,0000	$/AÑO
Regalías (si no es en una suma global)	978,2460	978,2822	978,2825	$/AÑO
Costo variable	72080,3129	72082,8743	72082,5341	$/AÑO
Impuestos (propiedad)	2077,0361	2077,0361	2077,0361	$/AÑO

Seguro	1038,5180	1038,5180	1038,5180	$/AÑO
Cargos fijos	3115,5541	3115,5541	3115,5541	$/AÑO
Planta superior, general	10197,0649	10197,0649	10197,0649	$/AÑO
Costo de fabricación	85392,9320	85395,4933	85395,1531	$/AÑO
Administración	3399,0216	3399,0216	3399,0216	$/AÑO
Distribución y venta	4891,2299	4891,4110	4891,4126	$/AÑO
Investigación y desarrollo	3912,9839	3913,1288	3913,1301	$/AÑO
Gastos generales	12203,2355	12203,5615	12203,5643	$/AÑO
Costo total del producto sin depreciación	97824,5979	97828,2203	97828,2513	$/AÑO
RANGO 9000-11000				
ELEMENTOS	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	**UNIDAD**
Materias primas	51473,9729	51473,9696	51473,8554	$/AÑO
Mano de obra operativa	9360,0000	9360,0000	9360,0000	$/AÑO
Supervisión operativa	1404,0000	1404,0000	1404,0000	$/AÑO
Facilidades auxiliares	524,2988	526,9233	527,0110	$/AÑO
Mantenimiento y reparación	6231,1082	6231,1082	6231,1082	$/AÑO
Suministros operativos	934,6662	934,6662	934,6662	$/AÑO
Cargos de laboratorio	1404,0000	1404,0000	1404,0000	$/AÑO
Regalías (si no es en una suma global)	978,2632	978,2923	978,2920	$/AÑO
Costo variable	72080,3129	72082,8743	72082,5341	$/AÑO
Impuestos (propiedad)	2077,0361	2077,0361	2077,0361	$/AÑO
Seguro	1038,5180	1038,5180	1038,5180	$/AÑO
Cargos fijos	3115,5541	3115,5541	3115,5541	$/AÑO
Planta superior, general	10197,0649	10197,0649	10197,0649	$/AÑO
Costo de fabricación	85392,9320	85395,4933	85395,1531	$/AÑO
Administración	3399,0216	3399,0216	3399,0216	$/AÑO
Distribución y venta	4891,3159	4891,4616	4891,4601	$/AÑO
Investigación y desarrollo	3913,0527	3913,1692	3913,1681	$/AÑO
Gastos generales	12203,3903	12203,6524	12203,6498	$/AÑO
Costo total del producto sin depreciación	97826,3187	97829,2311	97829,2016	$/AÑO

(*) Lotes aleatorios al año

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Indicadores económicos

RANGO 7000-9000				
INDICADORES	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (4)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (7) ITERACIÓN (5)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (10) ITERACIÓN (7)**	**UNIDAD**
VAN	34154,9438	-35499,42315	-113955,656	$
TIR	0,1562	0,053253337	894724,9563	%/año
PAYBACK	2,6340	3,597007082	6,081261565	años
MARGEN DE GANANCIAS	0,4690	0,389964205	0,266999015	
RANGO 9000-11000				
INDICADORES	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (2) ITERACIÓN (2)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (5) ITERACIÓN (2)**	**UNIDAD**
VAN ($)	93855,01429	93857,90887	87734,5085	$
TIR (%/año)	0,222472109	0,222475018	0,216264708	%/año
PAYBACK (años)	2,091278572	2,091257296	2,137166207	años
MARGEN DE GANANCIAS	0,522146146	0,522139223	0,517187239	
RANGO 11000-13000				
INDICADORES	***PROD (10 LOTES) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (120) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	***PROD (1560) SIMULACIÓN (1) ITERACIÓN (1)**	**UNIDAD**
VAN ($)	-503170,3769	-498203,4721	-483277,6174	$
TIR (%/año)	896129,582	898779,3664	907184,2678	%/año
PAYBACK (años)	0	0	0	años
MARGEN DE GANANCIAS	0	-56,3435182	-13,33588124	

(*) Lotes aleatorios al año

Fuente: Elaboración propia