

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Evaluación de una unidad piloto para la producción de una bebida con  
propiedades nutraceuticas

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

Fernando André Zea Villón

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2023

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres, por su esfuerzo que me ha permitido llegar a donde estoy hoy en día.

A mi hermano, por su apoyo y ejemplo que me han convertido en la persona que soy hoy en día.

A Arlette, por su compañía y ayuda durante estos años.

Finalmente, a quienes me han acompañado en este camino, durante todos estos años, llevándome a ser mejor cada día.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre y padre, por los posibles e imposibles para que me formase profesionalmente.

Agradezco a mi hermano, por su confianza que me ha impulsado a superarme en cada momento.

Agradezco a Arlette, por su presencia y ánimo en los momentos difíciles.

Agradezco a mis profesores, por el conocimiento que me ha formado como futuro profesional. En especial, a la PhD. Yris González y el Dr. Ing. Christopher Varela, por permitirme poner a prueba mis capacidades y habilidades en investigación científica.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Fernando André Zea Villón* y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

Fernando André Zea Villón

# EVALUADORES

NADIA MAGALY  
FLORES  
MANRIQUE

Firmado digitalmente por  
NADIA MAGALY FLORES  
MANRIQUE  
Fecha: 2023.03.15 11:24:24  
-05'00'



Firmado electrónicamente por:  
YRIS KENELMA  
GONZALEZ TRIANA

---

**Mgtr. Nadia Flores Manrique**  
PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Ph.D. Yris González Triana**  
PROFESOR TUTOR

# RESUMEN

El objetivo principal del desarrollo de procesos es aumentar el volumen de producción hasta llegar a la escala industrial. Para esto es necesario realizar un escalamiento a partir de la información disponible del proceso a una escala menor (laboratorio o miniplanta). Actualmente, un centro investigativo dispone de una patente para producir a escala de miniplanta, una bebida nutracéutica a base de *Ilex guayusa*, *V. patens* y cáscaras de granos de cacao. Este proyecto busca escalar el proceso a nivel industrial mediante la evaluación de unidades piloto presentes en la producción de la bebida nutracéutica. La valoración del proceso propuesto se realizó mediante la comparación de experimentación y simulación. La bebida nutracéutica se preparó a escala piloto según las especificaciones del centro investigativo. Posteriormente, se simuló el proceso experimental y se comparó con los resultados obtenidos durante la prueba piloto. Se logró producir una bebida nutracéutica con una concentración experimental promedio de compuestos antioxidantes igual a 97.39 mg de equivalentes de ácido gálico (mgGAE/L). Por último, mediante la comparación de los resultados de las unidades piloto experimentales y las simuladas, se determinó que la simulación representa la operación apropiadamente.

**Palabras clave:** Desarrollo de procesos, nutracéuticos, escalamiento, simulación.

# ABSTRACT

*The principal goal of process development is to increase the volume of production up to the industrial scale. For this, it's necessary to scale-up the process from available information on a smaller scale (laboratory or mini-plant). Currently, a research center possesses a patent to produce, on a mini-plant scale, a nutraceutical drink based on Ilex guayusa, V. patens and cocoa bean shells. This project seeks to scale the process at an industrial level through the evaluation of pilot units present in the production of the nutraceutical drink. The evaluation of the process was carried out by comparing experimentation and simulation. The nutraceutical drink was prepared on a pilot scale according to the specifications of the research center. Subsequently, the experimental process was simulated and compared with the results obtained during the pilot test. It was possible to produce a nutraceutical drink with an average experimental concentration of antioxidant compounds equal to 97.39 mg of gallic acid equivalents (mgGAE/L). Finally, by comparing the results of the experimental and simulated pilot units, it was determined that the simulation represents the operation with good agreement.*

**Key words:** *Process development, nutraceuticals, scale-up, simulation.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	5
1.4 Marco teórico .....	5
1.4.1 Nutraceuticos .....	5
1.4.1.1 Ilex guayusa.....	6
1.4.1.2 Vernonanthura patens .....	8
1.4.1.3 Cáscara de granos de cacao .....	9
1.4.1.4 Escalamiento .....	11
1.4.1.5 Simulación .....	13
1.4.1.6 Proceso de producción de bebida nutraceutica a nivel de laboratorio ....	14
1.4.1.7 Simulación del proceso de producción de bebida nutraceutica .....	14
CAPÍTULO 2.....	16
2. METODOLOGÍA.....	16
2.1 Diseño de diagrama de flujo .....	19
2.2 Selección del simulador .....	21
2.3 Simulación del caso base .....	22
2.3.1 Registro de componentes.....	22
2.3.2 Suposiciones previas a simulación .....	24
2.4 Experimentación .....	25
2.4.1 Pretratamiento.....	25
2.4.1.1 Localización .....	25
2.4.1.2 Materiales, equipos y reactivos .....	25
2.4.1.3 Procedimiento.....	25



2.4.2 Obtención de bebida nutracéutica .....	26
2.4.2.1 Materiales, equipos y reactivos .....	26
2.4.2.3 Procedimiento .....	26
2.5 Validación del proceso propuesto .....	28
CAPÍTULO 3.....	29
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	29
3.1 Resultado y análisis de la selección del simulador .....	29
3.2 Resultado y análisis de la simulación del caso base .....	30
3.3 Resultado y análisis de la obtención experimental de la bebida nutracéutica .....	32
3.3.1 Resultado y análisis del pretratamiento de las materias vegetales .....	33
3.3.2 Resultado y análisis de la producción de la bebida nutracéutica.....	41
3.4 Resultado y análisis de la validación del proceso propuesto .....	43
3.4.1 Resultado y análisis de la etapa de secado simulada .....	46
3.4.2 Resultado y análisis de la etapa de extracción simulada .....	47
3.5 Resultados de la validación del proceso a escala piloto .....	48
3.5.1 Unidad piloto experimental .....	48
3.5.1.1 Secado .....	48
3.5.1.2 Extracción .....	49
3.5.2 Unidad piloto simulada .....	49
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	50
4.1 Conclusiones .....	50
4.2 Recomendaciones .....	52
REFERENCIAS .....	53
APÉNDICE .....	61
A.1 COMPONENTES PUROS REQUERIDOS PARA SIMULACIÓN.....	61
A.2 INGRESO DE NUEVOS COMPONENTES EN SPD V.13 .....	62
A.3 COEFICIENTES PARA CÁLCULO DE LA DENSIDAD EN SPD V.13 OBTENIDOS MEDIANTE ASPEN PROPERTIES V.12.....	66
A.4 PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE COMPONENTES PUROS REGISTRADOS EN SPD V.13 OBTENIDAS MEDIANTE ASPEN PROPERTIES V.12 .....	67
A.5 RESULTADOS POR CORRIENTE DE LA SIMULACIÓN FINAL.....	70
A.6 RESULTADOS DEL SECADO EXPERIMENTAL .....	76
A.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS FOLIN-CIICALTEU.....	76
A.8 TAMIZ DE MESA VIBRATORIA UTILIZADO DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN.....	77
A.9 MATERIAS PRIMAS DURANTE LA ETAPA DE LAVADO.....	77
A.10 SECADOR DE BANDEJAS UTILIZADO DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN.....	78
A.11 EXTRACTOR UTILIZADO DURANTE LA EXPERIMENTACIÓN .....	79

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Flores, hojas y tallos de ilex guayusa .....	7
Figura 1.2 Arbusto de vernonanthura patens .....	8
Figura 1.3 Cáscaras de granos de cacao.....	10
Figura 1.4 Esquema del proceso de producción de bebida nutracéutica simulado en aspen plus .....	14
Figura 2.1 Flujograma propuesto para diseño y simulación del proceso productivo de bebida nutracéutica.....	17
Figura 2.2 Flujograma propuesto para producción experimental de la bebida nutracéutica .....	18
Figura 2.3 Diagrama de flujo propuesto para la producción de la bebida nutracéutica a escala piloto.....	19
Figura 3.1 Ventana de ingreso de componentes del SPD V.13.....	29
Figura 3.2 Diagrama de flujo del caso base simulado en SPD V.13.....	30
Figura 3.3 Materias primas utilizadas en el proceso de obtención de la bebida nutracéutica .....	33
Figura 3.4 Diagrama de flujo del pretratamiento propuesto para las materias primas.....	34
Figura 3.5 Contenido de humedad residual con respecto a la posición de las bandejas dentro del secador .....	38
Figura 3.6 Contenido de humedad residual con respecto a la posición de las bandejas dentro del secador en base al tipo de bandeja y alimentación.....	40
Figura 3.7 Configuraciones de alimentación a las bandejas.....	40
Figura 3.8 Diagrama de flujo del proceso para obtención de bebida nutracéutica simulado en SPD V.13.....	45

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Compuestos característicos en extracto acuoso de ilex guayusa.....	7
Tabla 1.2 Compuestos característicos en extracto acuoso de hojas de vernonanthura patens secadas en un horno convectivo .....	9
Tabla 1.3 Compuestos característicos en extracto acuoso de cáscara de granos de cacao .....	10
Tabla 1.4 Métodos de escalamientos aplicados en industria .....	12
Tabla 1.5 Especificaciones de los equipos usados en la simulación.....	15
Tabla 2.1 Especificaciones de operación de equipos utilizados en el proceso de producción de bebida nutracéutica a escala piloto .....	20
Tabla 2.2 Criterios de selección de simulador .....	22
Tabla 2.3 Propiedades requeridas para el ingreso de componentes puros en el simulador .....	23
Tabla 2.4 Configuración de la alimentación dentro del secador de bandejas.....	27
Tabla 3.1 Especificaciones de operación de los equipos utilizados en la simulación del caso base .....	32
Tabla 3.2 Resultados de la etapa de tamizado del pretratamiento .....	35
Tabla 3.3 Descripción de la alimentación de las bandejas del secador .....	36
Tabla 3.4 Resultados de la etapa de secado por bandeja .....	37
Tabla 3.5 Proporciones de materia vegetal por bandeja.....	37
Tabla 3.6 Concentración de polifenoles totales expresados en mg de ácido gálico equivalente por litro de bebida a distintos tiempos de extracción .....	42
Tabla 3.7 Concentración de polifenoles totales expresados en mg de ácido gálico equivalente por litro de bebida a distintas escalas de producción.....	43
Tabla 3.8 Dimensiones del secador de bandejas y extractor requeridas para el redimensionamiento en el SPD V.13.....	44
Tabla 3.9 Comparativa de la tasa de secado simulada y experimental.....	47

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

En el contexto de la riqueza mundial, el dinamismo económico de las industrias productoras de consumibles con beneficios a la salud les permite extenderse a los extremos del éxito y fracaso en ganancias netas. La naturaleza intrínseca del desarrollo de productos requiere de exploración y experimentación. El proceso descrito, pero con particularidades y praxis menos rigurosas, debe aplicarse a la economía de los nutraceuticos. El mercado nutraceutico ecuatoriano presenta oportunidades de inversión, puesto que únicamente los productos a base de tejidos vegetales son significativos en el marco económico nacional (Jarrín, 2020). Sin embargo, estas oportunidades necesitan de investigación y desarrollo tecnológico.

Un centro de investigación se encuentra interesado en este proyecto, ya que cuenta con una patente para la producción de una bebida con propiedades nutraceuticas. Las materias primas son especies vegetales sólidas: *Ilex guayusa*, *Vernonanthura patens* (*V. patens*) y cáscaras de granos de cacao (Quijano-Avilés et al., 2021). El proceso, de escalado a nivel de miniplanta en estudios previos (Patiño & Prado, 2022) consta con las siguientes etapas:

- Secado
- Molienda
- Extracción
- Filtración

El escalamiento realizado en estudios previos presentó inconvenientes debido a problemas con equipos y la simulación. El trabajo previo de Gabela y Villa (Gabela & Villa, 2021) generó resultados con desviaciones en los siguientes equipos:

- Secador de bandejas: El módulo de secado disponible en Aspen Plus es continuo, mientras que el secador usado en el proceso es por lotes.
- Extractor: Este equipo no se encuentra disponible en Aspen Plus y fue representado por el módulo SWash. Este último simula un lavador de una sola etapa en el cual se recuperan componentes disueltos en un líquido presente en una corriente de sólidos (Aspen Technology Inc., 2000).

Estos resultados no son comparables porque los módulos usados en Aspen Plus no representan la operación experimental. Por otro lado, Patiño y Prado recomiendan realizar las etapas de secado y molienda para validar las condiciones de operación, ya que la materia prima que utilizaron fue procesada previamente. Asimismo, sugieren que durante la extracción se emplee mezclado constante en el extractor para asegurar la homogeneidad de las condiciones dentro del equipo. Por último, aconsejan completar la serie de tamices para efectuar el análisis de distribución de partículas (Patiño & Prado, 2022). La falta de resultados contrastables del secador y del tamiz dificultan la comparación con los resultados del simulador.

Los problemas descritos limitan el escalamiento a nivel industrial, ya que los errores extrapolados pueden ser críticos. Los efectos de un mal escalamiento pueden ser severos. No solamente por la inversión de capital adicional requerida, sino por la pérdida de tiempo y confianza de los clientes (Harmsen, 2019c). Además, es necesario tomar en cuenta que los equipos requerirán nuevas dimensiones. Esto conlleva cambios en las medidas de seguridad previstas, consideraciones de reciclaje y enfoque del proyecto (Bonem, 2018).

## 1.2 Justificación del problema

En las últimas décadas se ha observado un aumento en la concientización sobre la importancia nutricional y el rol de las bebidas nutracéuticas para la salud. Estas poseen capacidades hidratantes y son fuente de nutrientes esenciales, vitaminas como la vitamina C, carotenoides y antioxidantes. Los nutracéuticos son aquellos productos cuyas materias primas son naturales y ofrecen algún beneficio a la salud. El desarrollo tecnológico en extracción, aislamiento y purificación hace posible la obtención de productos con altos niveles de pureza. Por tal motivo es posible alcanzar estándares similares a los farmacéuticos combinando productos naturales (Bulman et al., 2021), (Shahidi & Weerasinghe, 2003). Los ecuatorianos están apostando por los nutracéuticos ya que prefieren productos de origen natural que representen una inversión en la mejora de la salud (Galarza & López, 2017).

Actualmente en Ecuador, la *Ilex guayusa* ya se vende en infusiones, como bebida energética o ingrediente en otros productos (García-Ruiz et al., 2017). Esta especie tiene un alto contenido de cafeína, propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Quijano-Avilés et al., 2021). *V. patens* es un arbusto silvestre que crece en algunas provincias del Ecuador (Chóez-Guaranda et al., 2018). Este es usado en áreas rurales del Ecuador por sus bondades analgésicas, antiinflamatorias y anticancerígenas (Manzano et al., 2015). La cáscara de granos de cocoa aporta fibra y un alto contenido de polifenoles, por lo que ha sido estudiado como aditivo en una infusión herbal de *Ilex guayusa* y *V. patens* para la creación de una bebida nutracéutica (Quijano-Avilés et al., 2021).

El proceso propuesto por un centro de investigación para la fabricación de una bebida nutracéutica se ha estudiado con antelación y los avances obtenidos hasta ahora entregan una base para el escalamiento a nivel piloto. Por lo que la necesidad de escalar el proceso, radica en la segura implementación de grandes capacidades de producción

(Gabela & Villa, 2021), (Patiño & Prado, 2022). Además, se busca la reducción de riesgos hasta un nivel aceptable. Conocimientos en modelado y simulación resultan necesarios para la aplicación de esta herramienta (Harmsen, 2019c).

Este proyecto propone la obtención de una bebida nutracéutica a escala piloto y evaluación del proceso productivo utilizando un simulador comercial, confirmando la información disponible. Una vez el procedimiento sea validado, la simulación podrá ser usada para realizar cambios al proceso de producción y analizar como estos cambios afectan a la bebida nutracéutica sin tener que replicar toda la cadena productiva experimentalmente.

La bebida a producir puede tener un impacto significativo en la salud de los ecuatorianos. Sus propiedades antioxidantes ayudarán a mejorar la nutrición de muchas familias. Además, son pocos los productos nutracéuticos que se fabrican a escala industrial, por lo que la validación del proceso productivo asentará precedentes en la escena industrial ecuatoriana.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar unidades piloto presentes en la producción de una bebida con propiedades nutracéuticas mediante experimentación y simulación para la identificación de oportunidades de mejora en los equipos.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Elaborar la bebida nutracéutica a nivel de planta piloto mediante el uso de equipos adecuados para la obtención del producto objeto de estudio.
2. Seleccionar un simulador comercial mediante comparación de propiedades y complejidad de uso para la representación del proceso productivo de la bebida nutracéutica a escala piloto.
3. Comparar los resultados obtenidos en la simulación del secador convectivo, molino y extractor con las propiedades experimentales de las materias primas y de la bebida nutracéutica respectivamente.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Nutracéuticos**

La evidencia epidemiológica muestra que el consumo de vegetales y frutas se asocia con un riesgo reducido de enfermedades crónicas sujetas a envejecimiento. Estas pueden ser afecciones cardiovasculares y varios tipos de cáncer. Los fitoquímicos presentes en frutas y vegetales son responsables de los beneficios a la salud, siendo los componentes antioxidantes (componentes fenólicos y poli fenólicos) de los más importantes (Shahidi & Weerasinghe, 2003).

Aquellos polifenoles encontrados en frutas, vegetales, cereales y bebidas y que poseen rasgos característicos como amargor, astringencia, color, sabor y olor se denominan polifenoles dietéticos (Kesavan et al., 2018). Estos han llamado la atención de expertos por su rol en la prevención de enfermedades degenerativas. Los polifenoles son antioxidantes fuertes que pueden neutralizar radicales libres donando un electrón o un átomo de hidrógeno. Estos suprimen la generación de radicales libres (Tsao, 2010). Los radicales libres son responsables de varias



enfermedades como el cáncer, desórdenes neuronales y complicaciones cardiovasculares (Rangani et al., 2019).

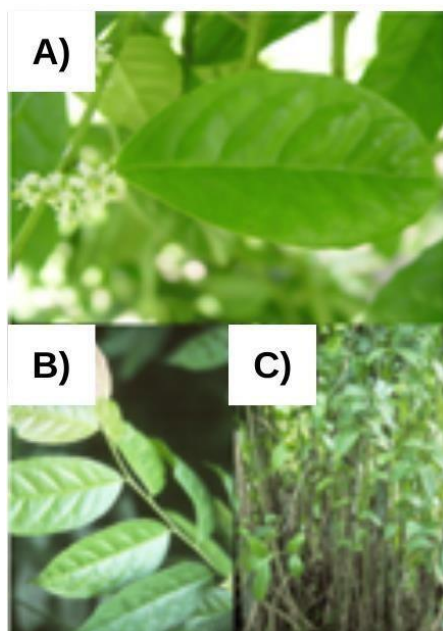
Los compuestos fenólicos presentes en plantas contribuyen a la actividad antioxidante por la presencia de grupos hidroxilos (Rangani et al., 2019). Aparte de propiedades antioxidantes, estos compuestos bioactivos presentan propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas (Quijano-Avilés et al., 2021). Por esto, un centro de investigación ha desarrollado un proceso para la fabricación de una bebida nutracéutica en base a *Ilex guayusa*, *V. patens* y residuos de cáscara de cocoa. Este proceso ha sido escalado hasta nivel de miniplanta (Patiño & Prado, 2022).

#### **1.4.1.1 *Ilex guayusa***

*Ilex guayusa* es un árbol de hoja perenne nativo de Sudamérica (véase la Figura 1.1). Este crece entre el sur de Colombia y el norte de Perú. El árbol puede llegar a medir entre 4 a 15 m de largo con un tronco ramificado de hasta 1 m de diámetro. Las hojas pueden alcanzar una longitud de 15 a 21 cm y alrededor de 5 a 8 cm de ancho, con un peciolo corto de 1 cm (Sequeda-Castañeda et al., 2016). La especie *Ilex guayusa* presenta beneficios a la salud como alivio de diversos dolores y afectaciones al sistema nervioso central. Por esto, ha sido cultivado y los extractos líquidos de sus hojas, consumidos desde tiempo antiguos por tribus indígenas de la amazonia (García-Ruiz et al., 2017).

## Figura 1.1

*Flores, hojas y tallos de Ilex guayusa*



*Nota.* La figura muestra un ejemplar de *Ilex guayusa* en la naturaleza: A) Flores, B) Hojas & C) Tallos. Fuente: (Sequeda-Castañeda et al., 2016).

Los componentes característicos del extracto acuoso de *Ilex guayusa* se muestran a continuación en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1**

*Compuestos característicos en extracto acuoso de Ilex guayusa*

Compuesto	Área pico (%)
p-Etilbenzaldehído	0,09 ± 0,01
Ácido málico	0,24 ± 0,01
2,4-di-t-butilfenol	0,08 ± 0,02
Eritritol	0,10 ± 0,01
Cafeína	0,08 ± 0,01
Inositol	0,08 ± 0,00
Ácido cafeico	0,37 ± 0,06

*Nota:* Datos tomados de (Chóez-Guaranda et al., 2022)

#### 1.4.1.2 *Vernonanthura patens*

*Vernonanthura patens* es un arbusto silvestre (véase la Figura 1.2) que crece en algunas provincias del Ecuador (Chóez-Guaranda et al., 2018), puede llegar a crecer hasta 6m de altura. Sus hojas son láminas simples alternas y esparcidas que crecen entre los 3 a 15 cm de longitud con un ancho de 1 a 2 cm (Rivera, 2018). Este ha sido usado por personas en áreas rurales del Ecuador ya que presenta propiedades antiinflamatorias, anticancerígenas y antileishmaniásico (Manzano et al., 2015).

#### Figura 1.2

*Arbusto de Vernonanthura patens*



*Nota.* La figura muestra un ejemplo de *V. patens* en la naturaleza: A) Hojas & B) Flores.

Fuente: (Idárraga et al., 2016).

**Tabla 1.2**

*Compuestos característicos en extracto acuoso de hojas de Vernonia patens secadas en un horno convectivo*

Compuesto	Area pico (%)
I-treonina	0,11 ± 0,02
Ácido málico	0,7 ± 0,22
Ácido I-treonico	0,69 ± 0,27
I-asparagina	0,79 ± 0,39
Ácido cafeico	0,41 ± 0,12
Ácido heptadecanoico	0,61 ± 0,26
Ácido cis-11-octadecenoico	1,03 ± 0,6
2 α-mannobiosa	0,29 ± 0,17
Ácido hexacosanoico	0,15 ± 0,03
β-amyryn	0,14 ± 0,05

Nota. Datos tomados de (Chóez-Guaranda et al., 2018)

Los compuestos característicos del extracto acuoso de hojas de *V. patens* se muestran en la Tabla 1.2. De los cuales destacan el ácido cafeico y β-amyryn. El primero posee actividades antioxidantes, antiinflamatorias, y anticancerígenas. Estas últimas ha sido detectadas en extractos acuosos con β-amyryn en distintas matrices de plantas (Chóez-Guaranda et al., 2018).

#### **1.4.1.3 Cáscara de granos de cacao**

En 2020, la industria cacaotera plantó alrededor de 590.579 hectáreas de cacao (Sanchez et al., 2022). Las cáscaras del grano (véase la Figura 1.3) se consideran un residuo de esta. Se calcula que unas 700.000 toneladas se generan de este material. Debido a sus características nutricionales (contenido de fibra, polifenoles y perfil de lípidos) ha sido utilizado como aditivo, mejorando la viscosidad de productos lácteos y acentuando el sabor a chocolate (Quijano-Avilés et al., 2021).

Estudios han demostrado que el extracto acuoso de cáscara de granos de cacao presenta una cantidad de fenoles significativa, acompañado de teobromina y epicatequina como componentes principales (Hernández-Hernández et al., 2018).

En la Tabla 1.3, se presenta la composición del extracto acuoso de cáscara de granos de cacao.

**Tabla 1.3**

*Compuestos característicos en extracto acuoso de cáscara de granos de cacao*

Compuesto	mg/g de muestra seca
Fenoles (Ác. Gálico)	5,77 ± 0,98
Teobromina	8,47 ± 0,01
Cafeína	Trazas
Catequina	1,65 ± 0,03
Epicatequina	6,93 ± 0,09

*Nota.* Datos tomados de (Hernández-Hernández et al., 2018).

**Figura 1.3**

*Cáscaras de granos de cacao*



*Nota.* La figura muestra las cáscaras de los granos de cacao. Fuente: (Panak Balentić et al., 2018).

#### **1.4.1.4 Escalamiento**

Normalmente cuando un proceso ha sido optimizado y validado a escala de laboratorio, el siguiente paso es aumentar el volumen de producción. Para avanzar a escala industrial un proceso de escalamiento es requerido. El uso del escalamiento permite obtener información sistemática y lógica para llevar el proceso a escalas mayores. También posibilita la comparación con tecnologías competidoras a escala comercial. El plan de escalamiento incluye desde un protocolo de laboratorio hasta una simulación a gran escala (nivel industrial) (Piccinno et al., 2016).

Hoy en día, varios métodos para escalar equipos individuales de procesos son utilizados en industrias. La selección del método de escalamiento dependerá en la información disponible sobre el proceso, especificaciones económicas y objetivos a conseguir. En la Tabla 1.4 se resumen algunos de estos.

**Tabla 1.4***Métodos de escalamientos aplicados en industria*

Método	Descripción
Escalamiento de fuerza bruta	Los equipos usados en el proceso son los mismos empleados en el proceso industrial de referencia, pero reducidos proporcionalmente.
Escalamiento basado en modelo	El escalamiento de las operaciones unitarias se realiza con modelos físicos, químicos, termodinámicos e hidrodinámicos y son validados con información experimental.
Escalamiento empírico	Las operaciones unitarias se realizan en distintas escalas (miniplanta, planta piloto, planta de desarrollo de negocios y plantas demostrativas). Algún parámetro del proceso se ajusta para obtener el rendimiento esperado.
Escalamiento híbrido: modelado-empírico	Modelado y simulación se llevan a cabo para interpretar datos empíricos. El proceso se optimiza para el siguiente paso de escalamiento.
Escalamiento de números adimensionales	En base a un análisis adimensional, todos los parámetros críticos se definen como números adimensionales y se mantienen durante el escalamiento hasta la escala comercial.
Escalamiento directo	Diseño, construcción y arranque de un proceso comercial nuevo sin investigación previa

Nota. Datos tomados de (Harmsen, 2019b).

Cuando un modelo empírico es aplicado al proceso, la miniplanta debe ser diseñada a detalle, construida y operada para determinar el rendimiento. Al escalar a nivel piloto, los documentos de diseños son los mismos de la miniplanta y se basa en los resultados obtenidos en la escala anterior. Los equipos empleados son versiones reducidas de los utilizados en el nivel comercial o industrial. Si estos no están disponibles, un plano comercial debe diseñarse (Harmsen, 2019a).

#### **1.4.1.5 Simulación**

La simulación representa una herramienta esencial para el diseño, escalamiento y optimización de plantas, debido a la fácil manipulación de equipos y descripción de procesos. Además, los paquetes termodinámicos disponibles ayudan a describir las relaciones entre componentes de manera más sencilla y rápida (Tripodi et al., 2017). La exactitud de los resultados obtenidos en un simulador dependerán de las fórmulas matemáticas y herramientas consideradas en el mismo (Arellano-Garcia et al., 2017).

El proceso productivo para la fabricación de la bebida nutracéutica fue simulado en Aspen Plus (Abad & Palacios, 2021), (Gabela & Villa, 2021). Este simulador es de los más usados en el mundo debido a su amplia y completa librería de paquetes termodinámicos (Alvarez et al., 2012). Otros simuladores enfocados en procesos continuos son ChemCAD de Chemstations y PRO/II de SimSci-Esscor. No obstante, procesos biológicos y de procesamiento de alimentos se dan de forma semicontinua o por lotes.

El SuperPro Designer (SPD V.13) es un simulador capaz de representar estos procesos mediante balances de materia y energía. Además, es posible dimensionar y costear equipos, evaluar económicamente el proceso. También, determina el impacto ambiental y elimina cuellos de botella de varios procesos por lotes y continuos (Harrison et al., 2015).



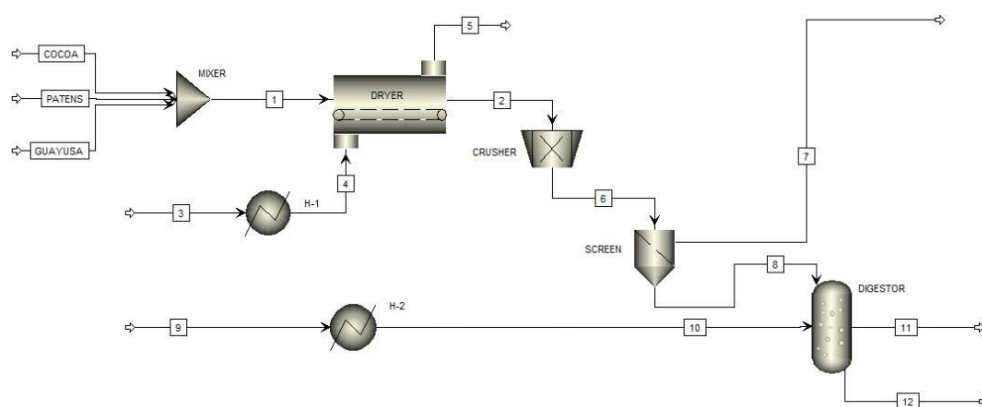
#### 1.4.1.6 Proceso de producción de bebida nutracéutica a nivel de laboratorio

El proceso de fabricación de la bebida nutracéutica a escala de laboratorio diseñado por el centro de investigación empieza con el secado de las materias primas por 24 horas a 45°C en un secador convectivo. Una vez que la humedad es reducida hasta un 12%, estas se pasan por un molino y se tamiza con un tamaño de partícula de 500 micras. Después de esto, en un extractor se alimenta la material vegetal y agua en relación 10:1, se calienta la mezcla hasta 60°C y luego se filtran los sólidos restantes. Adicional, se puede añadir un secador spray para la obtención del producto en forma de polvo (Chóez-Guaranda et al., 2018).

#### 1.4.1.7 Simulación del proceso de producción de bebida nutracéutica

Figura 1.4

Esquema del proceso de producción de bebida nutracéutica simulado en Aspen Plus



Nota. La figura muestra el diagrama de flujo de la simulación del proceso propuesto para la obtención de la bebida nutracéutica. Fuente: (Gabela & Villa, 2021).

El proceso simulado por Gabela y Villa realizado en Aspen Plus (véase la Figura 1.4) comienza con la mezcla de las materias primas en un mezclador (MIXER) para luego ingresar a un secador convectivo de bandejas (DRYER). La materia prima seca pasa por un molino de martillos (CRUSHER), donde se reduce

el tamaño de partícula y siguiente a esto, se tamiza con un tamiz de pantalla (SCREEN). Por último, en un lavador de sólidos de una sola etapa (SWASHER), a modo de extractor sólido-líquido, se produce la bebida nutracéutica (Gabela & Villa, 2021). Las especificaciones de los equipos se muestran en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.5**

*Especificaciones de los equipos usados en la simulación*

Equipo	Especificaciones				
Mezclador	Presión (atm)				
	0				
Secador convectivo	Dirección de flujo	Longitud de bandeja (m)	Tiempo de secado (h)	NTU	Factor de forma de la curva de secado
	Co-corriente	0.85	24	1.5	0.5
Molino de martillos	D50 (mm)		Desviación estándar (mm)		
	2.5		1		
Tamiz de pantalla	Tamaño de corte (mm)		Especificación de arrastre		
	5		Equal-split		
Extractor	Relación líquido-sólido	Eficiencia de mezclado	Presión (atm)	Temperatura (°C)	
	0.1	1	1	60	

Nota. Datos tomados de (Gabela & Villa, 2021).

# CAPÍTULO 2

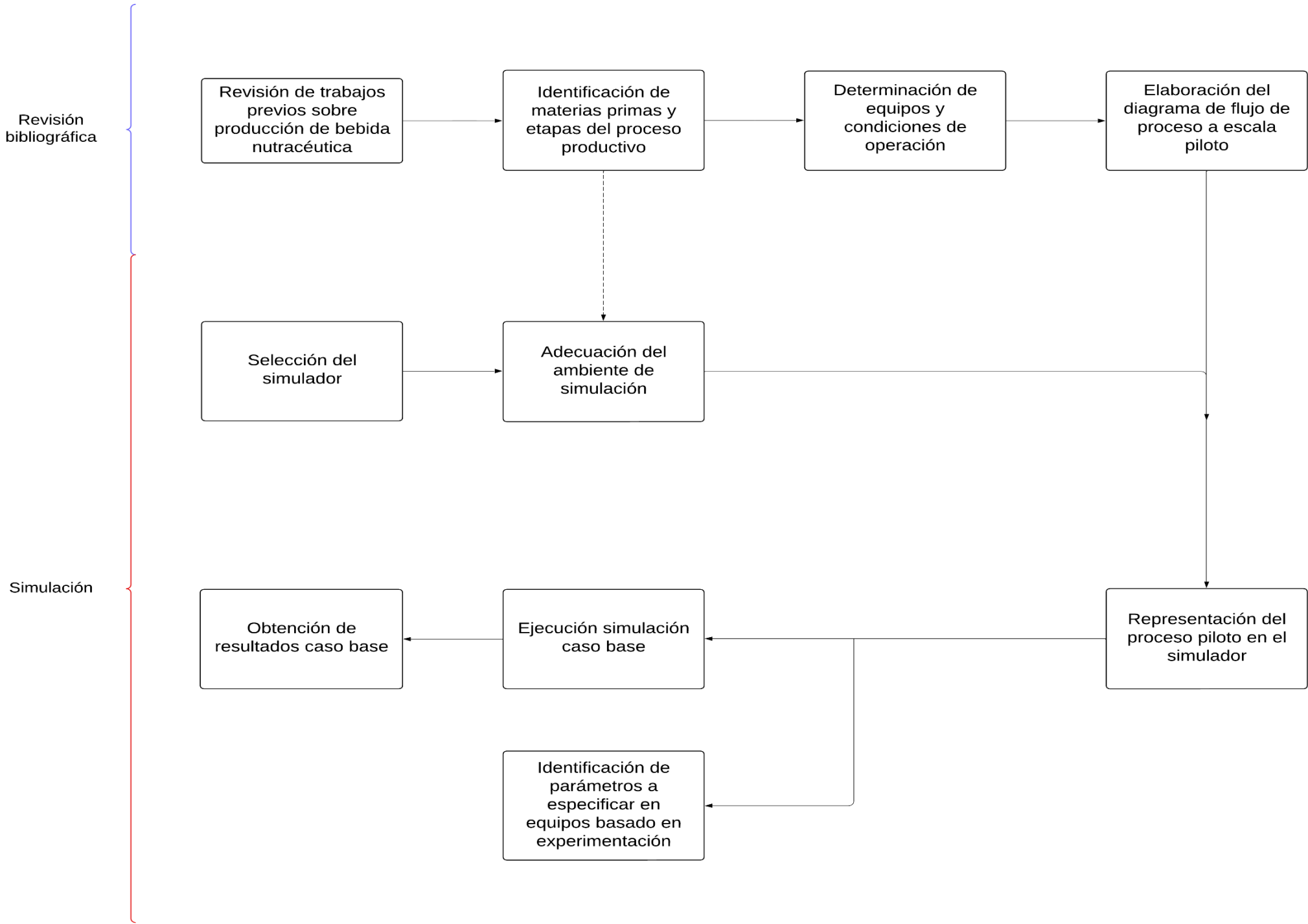
## 2. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para el cumplimiento de los objetivos propuestos en este proyecto consiste en tres etapas:

- 1) Diseño y simulación del proceso productivo de la bebida nutracéutica a escala piloto (véase la Figura 2.1)
- 2) Producción experimental de la bebida nutracéutica a escala piloto (véase la Figura 2.2)
- 3) Modificación y validación de la simulación en base a datos experimentales (véase la sección 2.5)

Figura 2.1

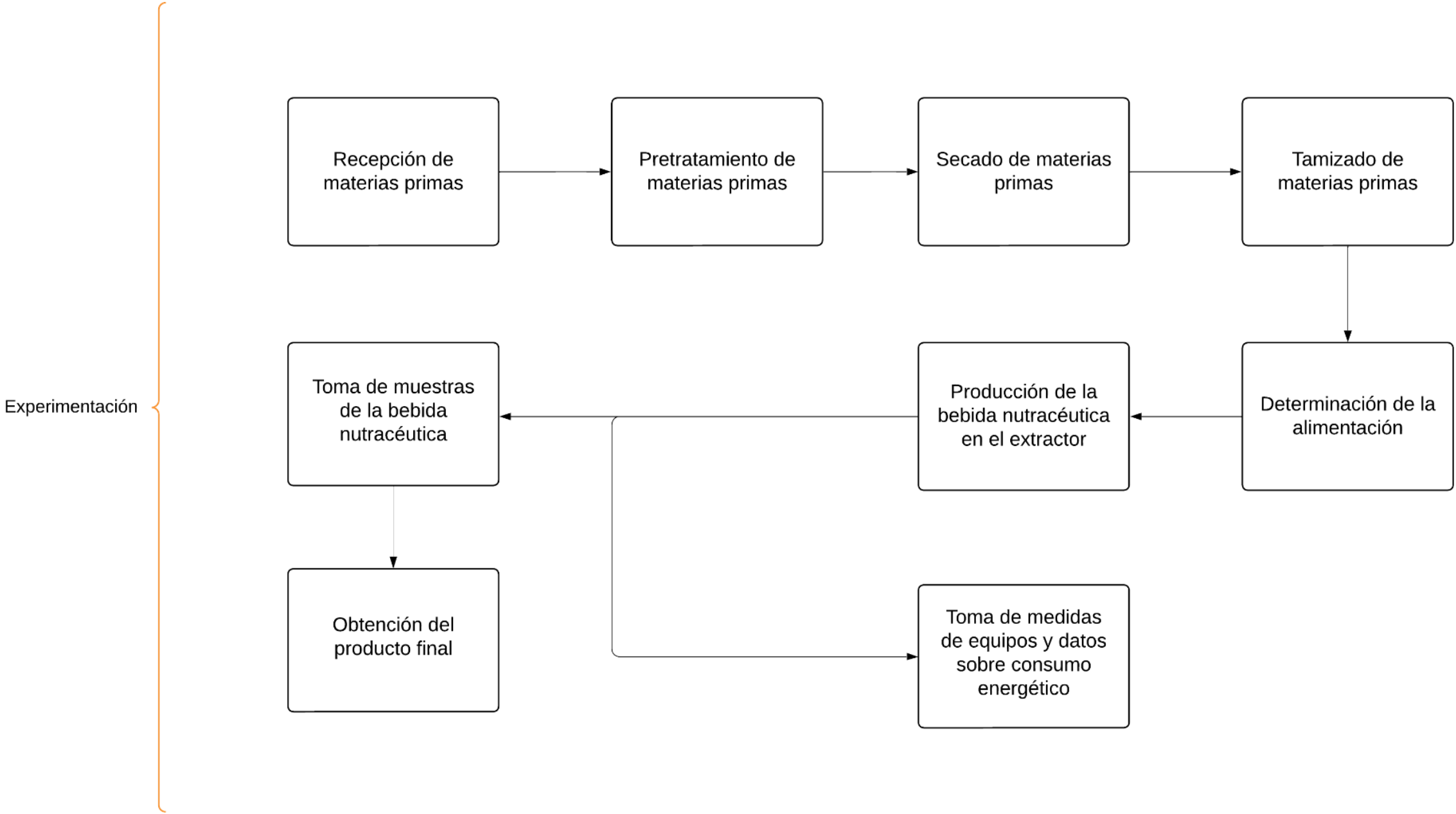
Flujograma propuesto para diseño y simulación del proceso productivo de bebida nutracéutica



Nota. La figura muestra los pasos seguidos durante la primera etapa del proyecto.

Figura 2.2

Flujograma propuesto para producción experimental de la bebida nutracéutica



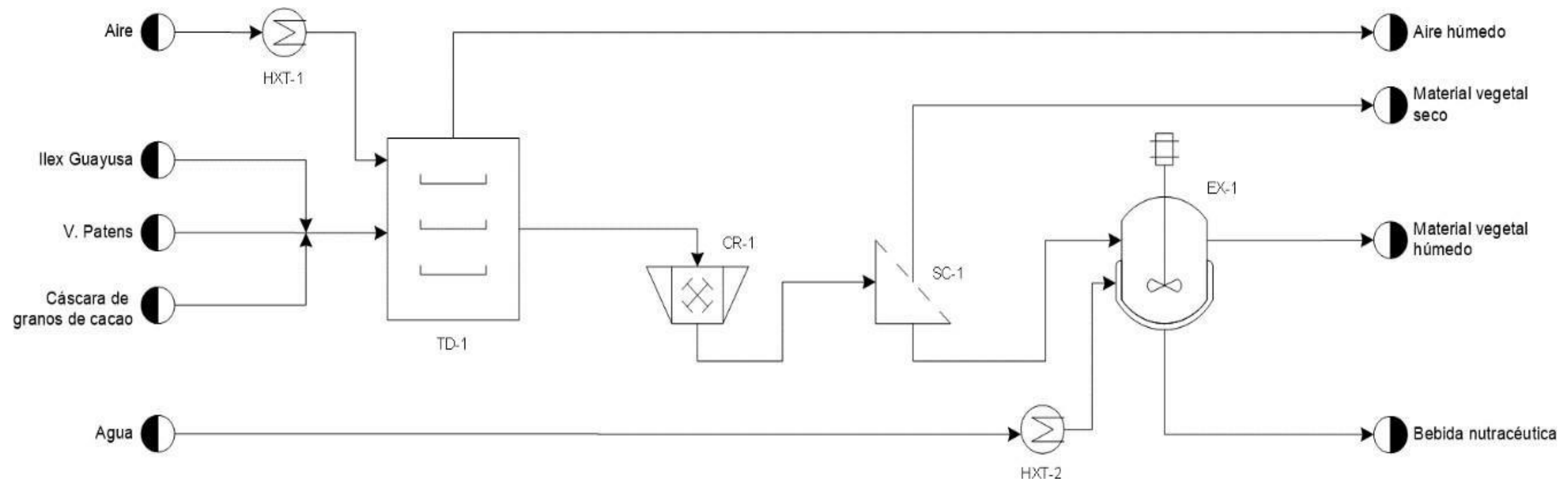
Nota. La figura muestra los pasos seguidos durante la elaboración experimental de la bebida nutracéutica.

## 2.1 Diseño de diagrama de flujo

En base a los trabajos previos de (Hernández-Hernández et al., 2018), (Quijano-Avilés et al., 2021), (Patiño & Prado, 2022) & (Espinoza-Vasquez et al., 2023) se desarrolló el proceso de producción a escala piloto (véase la Figura 2.3) para la obtención de la bebida nutracéutica en base a *Ilex guayusa*, *V. patens* y cáscara de granos de cacao (para una descripción detallada de las materias vegetales revítese la sección 1.4.1).

**Figura 2.3**

Diagrama de flujo propuesto para la producción de la bebida nutracéutica a escala piloto



Nota. La figura muestra un esquema del proceso productivo seguido para el caso base.

La mezcla de las materias primas en proporción 1:1:1 se colocó a un secador de bandejas (TD-1) a 45°C reduciendo el contenido de humedad hasta un 12%. El tamaño de partícula de la materia vegetal seca se redujo en un molino de martillo (CR-1) y se tamizó en un tamiz de mesa vibratoria (VS-1) con un tamaño de poro de 2mm. Finalmente, la mezcla vegetal se alimentó al extractor (EX-1) con agua en relación sólido-líquido igual a 1:10, durante 35 minutos a 60°C. Para una descripción detallada de las condiciones de operación del secador, tamiz y extractor véase la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1**

*Especificaciones de operación de equipos utilizados en el proceso de producción de bebida nutracéutica a escala piloto*

Equipo	Especificación		
Secador de bandejas (TD-1)	Tiempo de secado (h)	Temperatura de secado (°C)	Humedad final (%)
	18	45	12
Tamiz de mesa vibratoria (VS-1)	Tamiz (mm)		
	2		
Extractor (EX-1)	Temperatura de extracción (°C)	Tiempo de extracción (min)	Relación sólido-líquido
	60	35	1:10

*Nota.* Datos tomados de (Gabela & Villa, 2021).

## 2.2 Selección del simulador

De acuerdo con la disponibilidad de simuladores, se realizó una comparación entre dos módulos de AspenTech: Aspen Plus V.12 & Aspen Batch Process Developer V.12; y el SuperPro Designer V.13 de Intelligen Inc.

- **Aspen Plus V.12**

Aspen Plus V.12 es un simulador de diagrama de flujo usado para modelar cuantitativamente un proceso químico, prediciendo su comportamiento usando relaciones básicas ingenieriles. Este simulador usa datos termodinámicos confiables, condiciones de operaciones sensibles y modelos rigurosos de equipos para representar, diseñar e incrementar la rentabilidad de plantas o procesos existentes (Al-Malah, 2016).

- **Aspen Batch Process Developer V.11**

Aspen Batch Process Developer (ABPD) V.11, es una tecnología de modelado basada en recetas, utilizada para desarrollar procesos por lotes y generar documentación requerida, desde etapas iniciales hasta la fabricación a gran escala. ABPD permite el diseño y optimización de plantas por lotes de manera eficiente y eficaz, acelerando el tiempo de comercialización (Aspen Technology Inc., 2017).

- **SuperPro Designer V.13**

SPD V.13 es un simulador de procesos integral que facilita el modelado, análisis de costos, eliminación de cuellos de botella y evaluación del impacto ambiental de productos bioquímicos, farmacéuticos, alimentos, de consumo, minerales, purificación de agua y procesos relacionados (Petrides, 2022). Este simulador es capaz de soportar procesos por lotes y continuos. Además, permite el modelado específico de operaciones unitarias presentes en bioprocesos y otros (Harrison et al., 2015).



Finalmente, en base a los criterios de elección (véase la Tabla 2.2) se escogió el simulador más apropiado para la representación del proceso descrito en la sección anterior.

**Tabla 2.2**

*Criterios de selección de simulador*

Criterio	Descripción	Prioridad
Configuración de operación	El simulador debe ser capaz de representar procesos por lotes	Obligatorio
Estados de materia disponibles	El simulador debe ser capaz de representar operaciones que operen con corrientes sólidas.	Obligatorio
Disponibilidad de componentes	El simulador debe poseer en su base de datos los componentes característicos que se encuentran en las materias primas (refiérase a las tablas 1.1, 1.2 y 1.3)	Opcional
Equipos	El simulador debe contar con los mismos equipos utilizados en la experimentación a nivel piloto (véase la sección 2.1)	Obligatorio

## 2.3 Simulación del caso base

### 2.3.1 Registro de componentes

El simulador escogido solamente dispuso de 2 de los 20 componentes puros requeridos para la simulación (véase Apéndice A.1). No obstante, la versatilidad de este permitió el registro de las especies químicas restantes en base a las propiedades enunciadas en la Tabla 2.3. Estas propiedades se obtuvieron con ayuda de Aspen Properties V.12. Este módulo de AspenTech permite determinar características fisicoquímicas y termodinámicas de alguna especie química, usando

la base de datos de componentes y modelos termodinámicos de Aspen Plus (Aspen Technology Inc., 2000), (Vaquerizo & Cocero, 2018).

**Tabla 2.3**

*Propiedades requeridas para el ingreso de componentes puros en el simulador*

Propiedad	Especificación
Peso molecular	Valor en [g/gmol]
Punto normal de ebullición	Valor en [°C]
Temperatura crítica	Valor en [°C]
Presión crítica	Valor en [bar]
Factor de compresibilidad	Valor adimensional
Factor acéntrico	Valor adimensional
Densidad	Densidad en g/L según la ecuación de la forma $a + bT$ con T en Kelvin.
Capacidad calorífica de líquido/sólido	Capacidad calorífica en J/gmol-K según la ecuación de la forma $a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4$ con T en Kelvin
Capacidad calorífica de fase gaseosa	Capacidad calorífica en J/gmol-K según la ecuación de la forma $a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4$ con T en Kelvin
Coeficientes de Antoine	Logaritmo de la presión saturada de vapor en mmHg según la ecuación $a - \frac{b}{(c + T)}$ con T en Kelvin

Las biomásas se definieron en base al componente puro *Biomass* disponible en la base de datos del simulador. Los únicos parámetros requeridos fueron la densidad de la biomasa (g/L) y su capacidad calorífica (J/gmol-K), los cuales fueron tomados de (Espinoza-Vasquez et al., 2023).

### **2.3.2 Suposiciones previas a simulación**

Para cumplir con los grados de libertad (variables especificables que definen la operación) (Dimian et al., 2014) y evitar la sobre especificación (requerimientos de equipos y preferencias de diseño) (Stewart, 2014) del proceso descrito en la sección 2.1 para la obtención de la bebida nutracéutica se realizaron las siguientes suposiciones:

#### **Alimentación:**

- I. Las materias primas poseen un 90% de humedad (Espinoza-Vasquez et al., 2023)

#### **Secador de bandejas:**

- I. El agua es el único componente volátil presente en la alimentación
- II. Se utiliza aire en exceso con velocidad, humedad y temperatura constante
- III. La tasa de evaporación de agua es igual para todas las materias vegetales
- IV. No hay pérdida de alimentación por fuerza del aire dentro del secador
- V. El producto seco alcanza una humedad final del 12% (Quijano-Avilés et al., 2021)

#### **Tamiz de mesa vibratoria:**

- I. La corriente proveniente del molino se separa en fracciones iguales

#### **Extractor:**

- I. El mezclado es perfecto (no hay gradientes espaciales de temperatura y concentración)
- II. No hay pérdidas de energía al ambiente

## **2.4 Experimentación**

El proceso productivo experimental de la bebida nutracéutica consistió en dos etapas:

- 1) Pretratamiento
- 2) Obtención de bebida nutracéutica

### **2.4.1 Pretratamiento**

#### **2.4.1.1 Localización**

El pretratamiento de las materias primas (*Ilex guayusa*, *V. patens* y cáscara de granos de cacao) se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOPU) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), ubicada en Guayaquil-Ecuador. En esta localidad también se llevó a cabo la elaboración de la bebida nutracéutica final.

#### **2.4.1.2 Materiales, equipos y reactivos**

Se usaron los siguientes equipos y materiales, balanza de piso (JAVEDER JW1 3000W) con incertidumbre de  $\pm 0.05$  kg, balanza de mesa (KERN FKB 36KO. 5A) con incertidumbre de  $\pm 0.5$  g, agitador de tamiz grueso (W.S. Tyler RX-812) con una velocidad operacional de 1725 RPM, tamices (Fisher Scientific Company) con tamaño de poro de 2mm, 1mm y 630  $\mu\text{m}$ , baldes plásticos de 20 litros sin tapa y como materia prima se usó, material vegetal seca.

#### **2.4.1.3 Procedimiento**

Primero se tamizaron las materias primas por separado con una serie de tamices en cascada descendente durante 7 minutos, eliminando polvo y material particulado menor a 630  $\mu\text{m}$ .

Posteriormente, las especies vegetales tamizadas se sumergieron en agua a temperatura ambiente y se dejó reposar durante 20 minutos. Seguido a esto, se traspasó el contenido vegetal húmedo a baldes de 20 litros usando el tamiz de 2mm como filtro, eliminando el agua restante.

Finalmente, se pesó la cantidad de muestra pretratada y se cuantificó el porcentaje de humedad adquirido.

## **2.4.2 Obtención de bebida nutracéutica**

### **2.4.2.1 Materiales, equipos y reactivos**

Durante el proceso de obtención de la bebida nutracéutica se utilizaron los siguientes equipos: secador de bandejas con 5 bandejas planas y 5 perforadas, balanza de piso (JAVEDER JW1 3000W) con incertidumbre de  $\pm 0.05$  kg, balanza de mesa (KERN FKB 36KO. 5A) con incertidumbre de  $\pm 0.5$  g, agitador de tamiz grueso (W.S. Tyler RX-812) con una velocidad operacional de 1725 RPM, tamices (Fisher Scientific Company) con tamaño de poro de 2mm y 1mm, extractor con agitación de 1580 RPM y baldes plásticos de 20 litros sin tapa.

### **2.4.2.3 Procedimiento**

#### **Secado**

Se alimentó la materia prima a las bandejas del secador en distintas configuraciones (véase la Tabla 2.4). Las bandejas cargadas se pesaron y colocaron dentro del secador.

**Tabla 2.4**

*Configuración de la alimentación dentro del secador de bandejas*

Configuración	Descripción
Materia vegetal pura	En la bandeja solo se colocó solamente <i>Ilex guayusa</i> , <i>V. patens</i> o cáscaras de granos de cacao.
Combinación separada	En la bandeja se colocaron las tres materias vegetales seccionadas.
Combinación mezclada	En la bandeja se colocaron las tres materias vegetales mezcladas entre sí.

Después de 18 horas de operación a 45°C, el contenido de humedad se redujo hasta un 12%. Una vez finalizado el secado, la materia vegetal reposó durante 5 minutos reduciendo su temperatura. Finalmente, estas se pesaron y clasificaron según su configuración de alimentación en las bandejas.

#### **Tamizado**

Se determinó la cantidad de materia prima a usar en base a la cantidad de bebida requerida y la relación sólido-líquido de 1:10. Luego, se separaron las muestras de materia vegetal pura seca y se tamizó durante 5 minutos, obteniendo material con tamaño de partícula mayor a 2mm.

Por último, se pesó 50g de cada una de las especies vegetales con tamaño de partícula mayor o igual a 2mm y se almacenaron a condiciones ambiente.

#### **Extracción**

Se alimentó 15 litros de agua al extractor y se calentó sin agitación durante 30 minutos. Pasado este tiempo, el agua alcanzó la condición necesaria de 60°C. Seguido a esto, se alimentó la materia vegetal y se dejó en contacto con agua durante 35 minutos con agitación (1580 RPM).

Finalmente, se extrajo la bebida nutracéutica por la parte inferior del extractor y el líquido restante se recolectó en un balde de 20 litros. La materia vegetal se filtró

con un tamiz de 2mm. La bebida fue almacenada en botellas de vidrio y luego trasvasadas en botellas plásticas, las que se refrigeraron a 6°C siguiendo el protocolo de Patiño & Prado (Patiño & Prado, 2022).

## **2.5 Validación del proceso propuesto**

El caso base descrito en la sección 2.1 se modificó en base a datos de dimensión de equipos, especificaciones de flujos, tiempos de operación (obtenidos durante experimentación) y variaciones al proceso (véase secciones 2.4 y 2.5).

Los resultados de la nueva simulación fueron contrastados con los resultados experimentales. El diagnóstico del secado se realizó mediante la comparación del contenido de humedad residual y la tasa de evaporación y la etapa de extracción fue contrastada con los resultados de Gabela & Villa, en base al contenido de compuestos antioxidantes presentes en la bebida nutracéutica.

La caracterización del contenido fenólico de la bebida nutracéutica producida a escala piloto la realizó el cliente, siguiendo la metodología de Patiño & Prado. Los resultados de esta se compararon con el trabajo previamente mencionado, en base a los valores de concentración según las curvas de calibración de cada trabajo.

# CAPÍTULO 3

## 3. Resultados y análisis

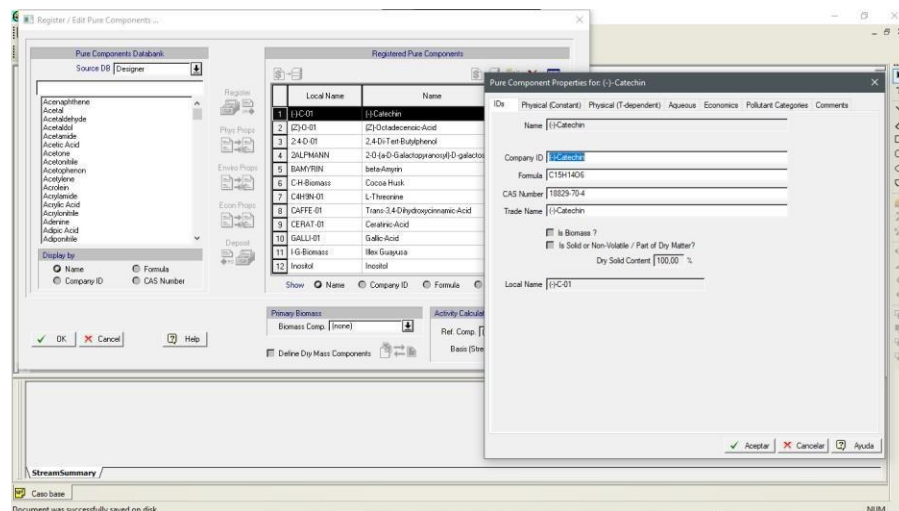
### 3.1 Resultado y análisis de la selección del simulador

Luego de una revisión detallada de los simuladores escogidos (Aspen Plus V.12, APBD V.11 y SPD V.13) según los criterios descritos en la Tabla 2.2, el más destacado del proceso de selección basado en los requerimientos ya explicados fue el SPD V.13.

Aunque APBD V.11 dispone de los equipos necesarios, modos de operación y permite el ingreso de componentes nuevos, la interfaz de usuario y su operabilidad son más complejas que las del SPD V.13, siendo esto un factor importante en su selección. En la Figura 3.1 se presenta la ventana de ingreso de componentes del SPD V.13 y en el Apéndice A.2 se describe paso a paso como ingresar nuevos componentes.

**Figura 3.1**

*Ventana de ingreso de componentes del SPD V.13*



*Nota.* La figura muestra la ventana de componentes puros y la opción de ver y editar las propiedades de estos.

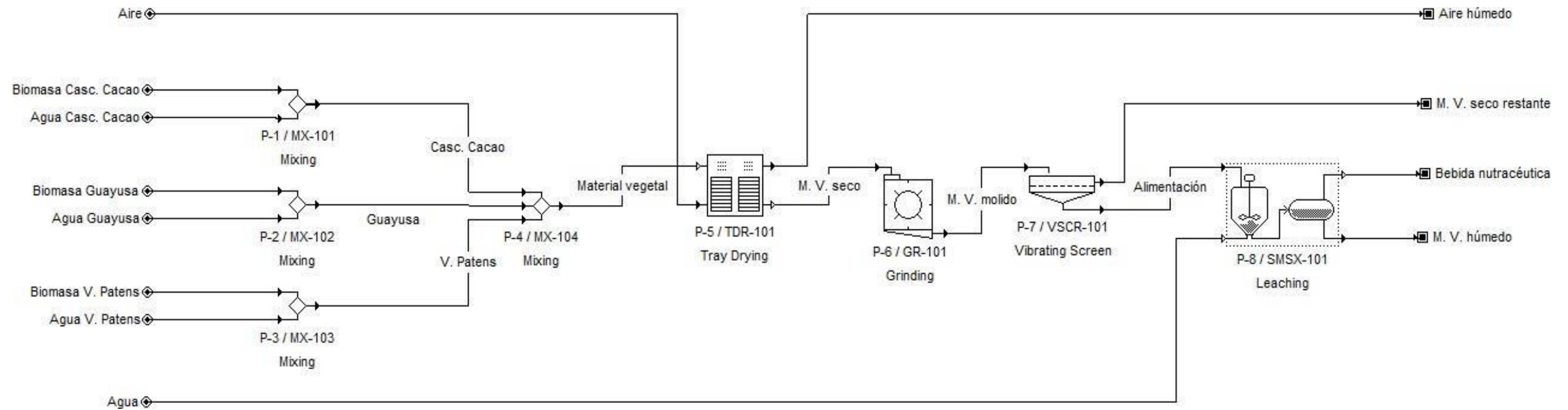


### 3.2 Resultado y análisis de la simulación del caso base

El diagrama de flujo de la simulación del caso base dentro del SPD V.13 según la descripción del proceso descrito en la sección 2.1 se muestra en la Figura 2.2.

**Figura 3.2**

*Diagrama de flujo del caso base simulado en SPD V.13*



*Nota.* La figura muestra el proceso simulado en el SPD V.13

El proceso comienza con las corrientes de biomasa de cáscara de cacao, *Ilex guayusa* y *V. patens* mezclándose en los bloques MIX-101, MIX-102 y MIX-103, respectivamente con agua alcanzando un 90.84% de humedad. Luego, las materias vegetales se combinan en el bloque MIX-104 en proporciones iguales, dando como resultado un flujo de 2.49934 kg/batch.

Posteriormente, la mezcla de materias primas se seca en el secador de bandejas, representado por el bloque TDR-101, durante 18 horas a 45°C reduciendo el contenido de humedad del material vegetal hasta un 11.99%. Para representar el uso de aire en exceso en el secador, se alimentan 700 kg/batch a condiciones ambientales y sin humedad. Por otro lado, el intercambiador de calor (HXT-1) presente el diagrama de flujo ilustrado en la figura 2.3, no es necesario ya que la corriente se calienta hasta dentro del secador.

Después del secado quedan 0.2601 kg/batch de materia vegetal seca, la cual reduce su tamaño de partícula a 2mm en el molino GR-101 y se tamiza en el tamiz de mesa vibratoria VSCR-101 para separar el material particulado menor a 2mm. Al extractor SMSX-101 ingresan 0.1301 kg/batch de mezcla vegetal y 13.07 L/batch de agua a condiciones ambientales, siguiendo la relación 1:10 sólido-líquido.

Dentro del extractor, la mezcla de alimentación de materias primas y agua se agita mecánicamente durante 35 minutos y se calienta hasta 60°C. Al final de la operación, se obtuvieron 11.70 kg/batch de bebida nutracéutica con una composición másica de polifenoles (kg de compuestos antioxidantes/kg de bebida producida) igual al 0.0247%, que equivalen a 0.00288 kg/batch. Finalmente, con respecto a la corriente de residuo vegetal húmedo, se obtuvieron 1.427 kg/batch con un contenido sobrante de polifenoles totales del 0.0105% equivalente a 0.00013 kg/batch.

En la Tabla 3.1 se detallan las condiciones de operación de los equipos principales de la simulación del caso base, las cuales fueron actualizadas posterior experimentación para representar el proceso actual.

**Tabla 3.1**

*Especificaciones de operación de los equipos utilizados en la simulación del caso base*

Equipo	Especificación					
TDR-101	Área de bandeja [m <sup>2</sup> ]	Distancia vertical entre bandejas [cm]	Tiempo de secado [h]	Temperatura final de sólidos [°C]	Humedad final [%]	Número de bandejas
	0.139	25	18	45	12	10
GR-101	Tiempo de operación [min]		Presión de operación [bar]			
	20		1.013			
VSCR-101	Tiempo de operación [min]		Tamaño de tamiz [mm]			
	15		2			
SMSX-101	Volumen del extractor [L]	Tiempo de operación [min]		Temperatura de extracción [°C]		
	0.555	35		60		

### 3.3 Resultado y análisis de la obtención experimental de la bebida nutracéutica

Se receptaron en total 460 g de *Ilex guayusa*, 504 g de *V. patens* y 571.5 g de cáscara de granos de cacao, todas completamente secas. Después de una inspección de las materias primas, se identificó presencia de polvo y material particulado (véase la Figura 3.3), por lo que fue necesario pretratar las materias primas como se detalló en la sección 2.4.1.

### Figura 3.3

*Materias primas utilizadas en el proceso de obtención de la bebida nutracéutica*



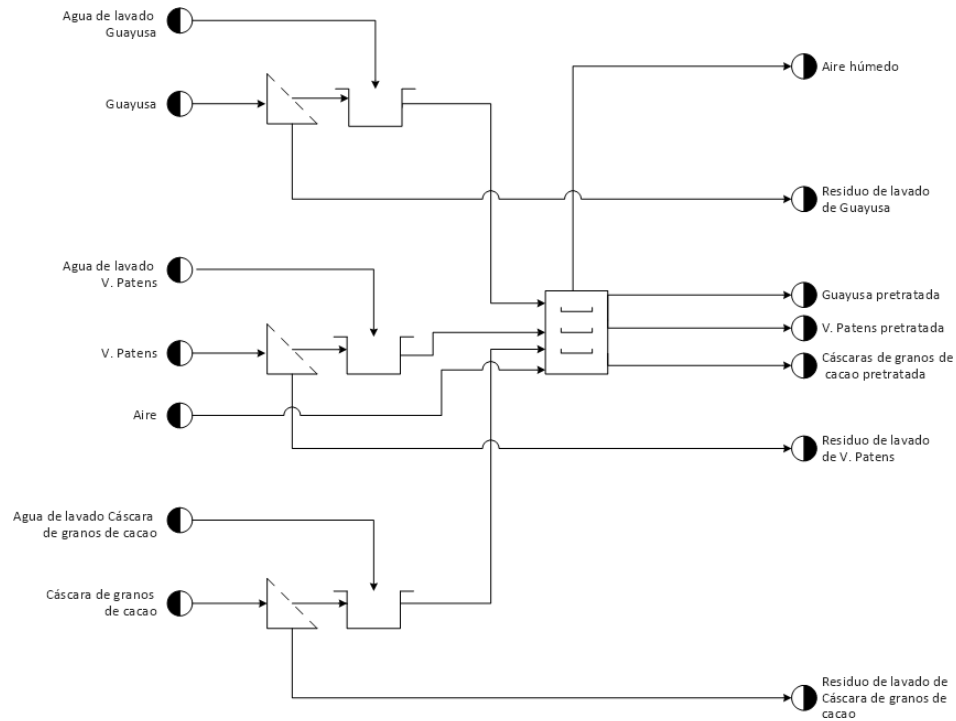
*Nota.* La figura muestra las materias primas disponibles para experimentación: A) *Ilex guayusa*, B) *V. patens* & C) Cáscara de granos de cacao.

#### **3.3.1 Resultado y análisis del pretratamiento de las materias vegetales**

El proceso de tratamiento desarrollado para la experimentación constó de una etapa de tamizado para remoción de polvo, otra de lavado a condiciones ambientales por 20 minutos y una etapa final de secado para reducir el contenido de humedad adquirido. En la figura 3.4 se muestra un diagrama de flujo del proceso de tratamiento de materias primas.

**Figura 3.4**

*Diagrama de flujo del pretratamiento propuesto para las materias primas*



*Nota.* La figura muestra el diagrama de flujo desarrollado para el pretratamiento de las materias primas.

Cada materia prima se tamizó durante 7 minutos con una serie descendente de tamiz con tamaños de malla de 2mm, 1mm y 630  $\mu\text{m}$  (véase el Apéndice A.8) para eliminar polvo y material particulado. De las tres materias vegetales, *Ilex guayusa* presentó menos material particulado, siendo este un 1.09% de la masa inicial, mientras que la cáscara de granos de cacao tuvo un 6.39% y *V. patens* un 4.86%. En la Tabla 3.2 se muestran los resultados de la etapa de tamizado.

**Tabla 3.2***Resultados de la etapa de tamizado del pretratamiento*

Especie vegetal	Cáscara de granos de cacao		<i>Ilex guayusa</i>		<i>V. patens</i>	
	Serie de tamiz	Peso de materia vegetal [g]	Distribución de partícula [%]	Peso de materia vegetal [g]	Distribución de partícula [%]	Peso de materia vegetal [g]
>2mm	323.5	56.61	382	83.04	281	55.75
2mm-1mm	119	20.82	50	10.87	128.5	25.50
1mm-630 µm	92.5	16.19	23	5	70	13.89
<630 µm	36.5	6.39	5	1.09	24.5	4.86
Total	571.5	100	460	100	504	100

Luego del tamizado, las materias primas se lavaron con agua a temperatura ambiente sin mezclado durante 20 minutos por cada una (véase el Apéndice A.9). Aunque el rango de temperatura para extracciones típicas de polifenoles está entre los 20°C hasta los 70°C, extracciones líquido-sólido por debajo de los 55°C no son efectivas, por lo cual la pérdida de contenido poli fenólico durante el lavado no es severa (Brglez et al., 2016), (Antony & Farid, 2022).

Debido a la humedad adquirida durante la etapa de lavado, las materias primas se secaron en un secador de bandejas (véase el Apéndice A.10) durante 18 horas a 45°C, para cumplir con el requerimiento de humedad residual del 12%. La alimentación de las bandejas según las configuraciones definidas en la sección 2.4.2.3 se detalla en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3***Descripción de la alimentación de las bandejas del secador*

Bandeja	Tipo de bandeja	Posición dentro del secador	Carga	Masa húmeda alimentada [g]
1	Plana	3	Mezcla	615.5
2	Perforada	8	<i>V. patens</i>	428
3	Plana	1	<i>Ilex guayusa</i>	353.5
4	Perforada	6	<i>V. patens</i>	427.5
5	Plana	5	Casc. Granos de cacao	628.5
6	Perforada	2	<i>Ilex guayusa</i>	473
7	Plana	7	<i>V. patens</i>	365
8	Perforada	10	Mezcla	466
9	Plana	9	Mezcla	370.5
10	Perforada	4	Mezcla	450.5

Después del lavado se cuantificaron 1.26 kg de masa húmeda de *Ilex guayusa*, 2.29 kg de *V. patens* y 1.61 kg de cáscara de cacao para un total de 5.16 kg de materia vegetal húmeda. Al traspasar a las bandejas se perdieron 582 g de materia por lo cual al secador se alimentó un total de 4.578 kg. Al finalizar el secado se obtuvieron aproximadamente 246.26 g de *Ilex guayusa*, 356.84 g de *V. patens* y 223.41 g de cáscaras de grano de cacao seca, para un total de 826.5 g de materia vegetal seca. El contenido de humedad residual promedio en base a las masas totales fue del 16.01%, lo cual representa una pérdida de 4.3335 kg de agua. En la Tabla 3.4 se presentan los resultados del secado por bandeja y en la Tabla 3.5 las proporciones de *Ilex guayusa*, *V. patens* y cáscara de granos de cacao por bandeja.

**Tabla 3.4***Resultados de la etapa de secado por bandeja*

Bandeja	Masa húmeda [g]	Masa seca [g]	Agua removida [g]	Contenido de agua removido [%]	Contenido de agua residual [%]
1	615.5	90	525.5	85.38	14.62
2	428	120	308	71.96	28.04
3	353.5	85.5	268	75.81	24.19
4	427.5	55	372.5	87.13	12.87
5	628.5	76.5	552	87.83	12.17
6	473	92	381	80.55	19.45
7	365	56	309	84.66	15.34
8	466	94	372	79.83	20.17
9	370.5	86	284.5	76.79	23.21
10	450.5	71.5	379	84.13	15.87

**Tabla 3.5***Proporciones de materia vegetal por bandeja*

Bandeja	Proporción de materia vegetal		
	<i>Ilex guayusa</i> [g/g%]	<i>V. patens</i> [g/g%]	Cáscara de granos de cacao [g/g%]
1	45.17	21.04	33.79
2	0	100	0
3	100	0	0
4	0	100	0
5	0	0	100
6	100	0	0
7	0	100	0
8	21.46	44.64	33.91
9	0	52.63	47.37
10	11.10	27.52	61.38

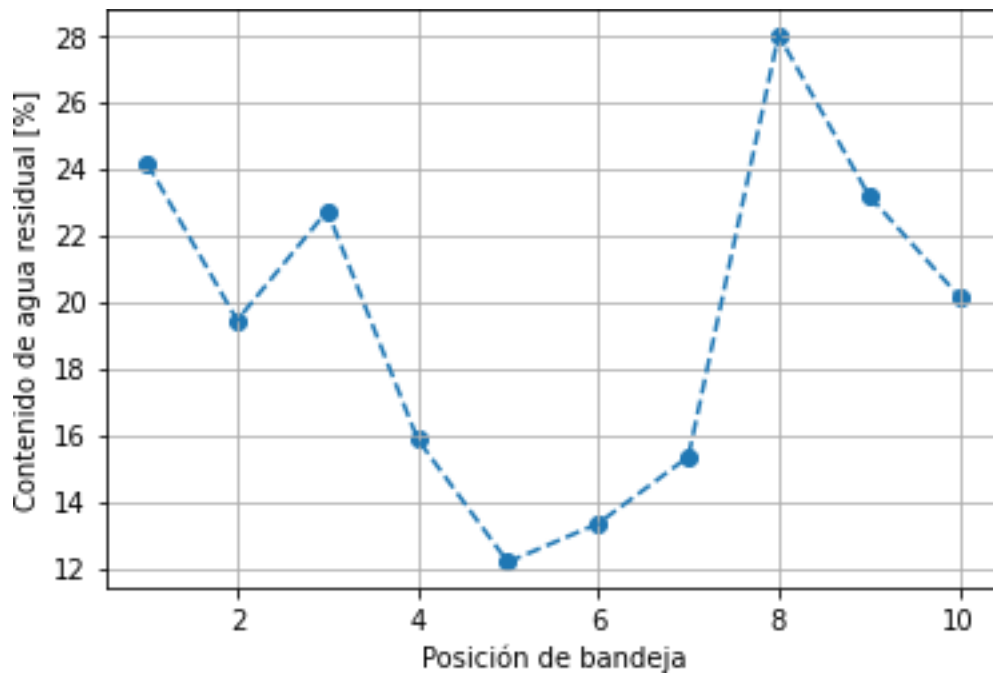
Las bandejas que presentaron contenidos de agua residual más bajo fueron la 1, 4, 5, 7 y 10; siendo la 5 la que obtuvo el valor más cercano al requerimiento del 12% de humedad. En la Figura 3.8 se puede ver el comportamiento de la humedad residual con respecto a la posición de las bandejas dentro del secador. Se observa



que las bandejas que fueron ubicadas en la mitad del secador alcanzaron un nivel alto de remoción de agua en comparación a las bandejas del tope y fondo del secador. Esto es causa del diseño del secador, ya que, en la posición media del mismo, se encuentra la resistencia que calienta el aire, por lo que la temperatura de este es mayor en este punto. La zona del fondo no llega a los 45°C y en la parte superior del secador el aire ya tiene un contenido de humedad adquirido por lo que la capacidad de transferencia de agua al aire disminuye (DRYDEN, 1982).

**Figura 3.5**

*Contenido de humedad residual con respecto a la posición de las bandejas dentro del secador*

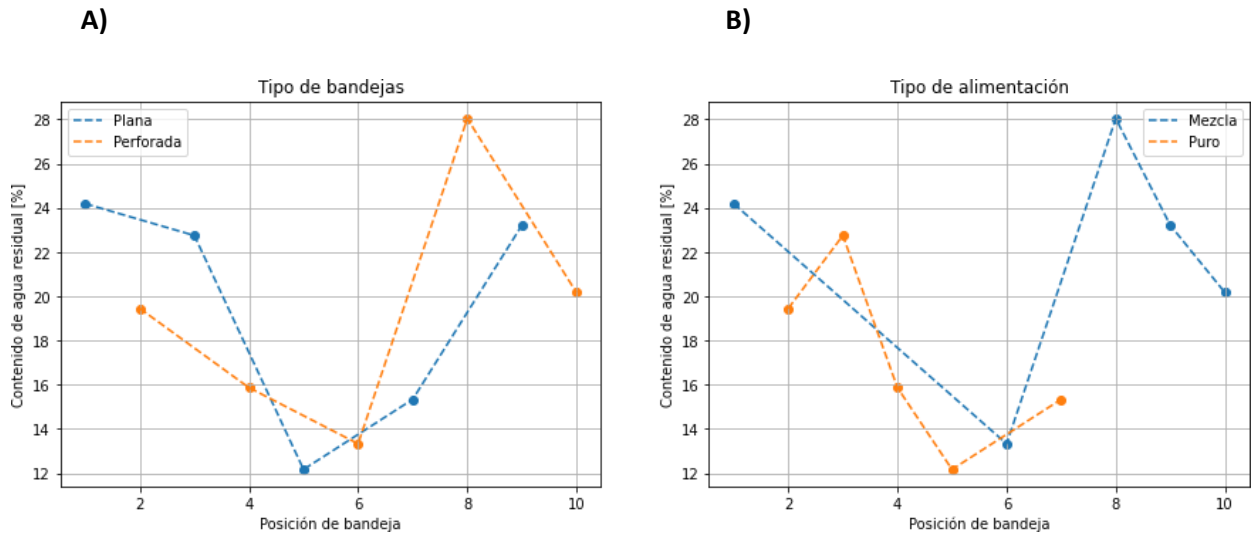


*Nota.* La figura muestra como varía el contenido de humedad residual con respecto a la posición de la bandeja dentro del secador.

Con respecto al tipo de bandejas, las perforadas permiten el paso del aire a través del material a secar manteniendo las condiciones del secado más uniformes, mientras que las bandejas planas permiten el paso del aire por encima de la materia húmeda (Kumar Das & Das, 2019), (Muzzalupo, 2015). La Figura 3.6-A, muestra el comportamiento de la humedad residual con respecto a la posición de las bandejas por tipo de bandeja utilizado. Como es de esperarse, aquellas bandejas perforadas obtuvieron menor humedad residual que las planas. Una de las excepciones fue la bandeja 4 debido a su posición dentro del secador (flujo de aire a mayor temperatura). La otra fue la bandeja 8, la cual se vio afectada por la configuración de la alimentación (véase la Figura 3.7). El comportamiento de las bandejas (véase la Figura 3.6-B) que se alimentaron con mezcla de materias vegetales presentaron mayor humedad residual que en comparación de las bandejas con alimentación pura, con la excepción de las bandejas ubicadas en el medio del secador.

**Figura 3.6**

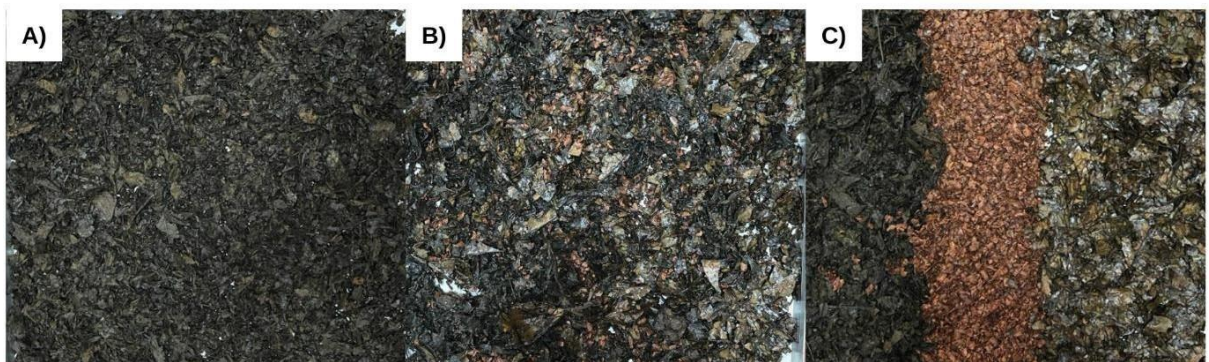
*Contenido de humedad residual con respecto a la posición de las bandejas dentro del secador en base al tipo de bandeja y alimentación*



Nota. La figura muestra los comportamientos de la humedad residual según la posición de la bandeja: A) Humedad residual con respecto al tipo de bandeja & B) Humedad residual con respecto al tipo de alimentación.

**Figura 3.7**

*Configuraciones de alimentación a las bandejas*



Nota. La figura muestra las configuraciones de alimentación a las bandejas: A) Materia vegetal pura, B) Combinación mezclada & C) Combinación separada.

### 3.3.2 Resultado y análisis de la producción de la bebida nutracéutica

En base al análisis de distribución de partícula del tamizado en el pretratamiento, se determinó que gran parte de la materia vegetal posee un tamaño de partícula igual o superior a 2mm, por lo que la etapa de molienda considerado en la sección 2.1 fue descartada. Además, aunque la reducción en el tamaño de partícula aumenta la tasa de transferencia de masa (cantidad de masa por unidad de área y tiempo) (Zubairi et al., 2014); el utilizar partículas con tamaños menor a 125  $\mu\text{m}$  no es recomendable ya que al flotar a la superficie o estancarse en el fondo, no interactúan con el cuerpo de agua (o solvente) lo cual afecta el rendimiento de extracción (Yeop et al., 2017) y puede causar taponamientos.

Al final del secado se obtuvieron 48.59 g de *Ilex guayusa*, 149.62 g de *V. patens* y 150.8 g de cáscara de granos de cacao provenientes de las bandejas con contenido de humedad residual cercano al 12% (bandejas 1, 4, 5, 7 y 10). Después de esto, se procedió a tamizar las materias vegetales secas, asegurando que el tamaño de partícula sea igual o mayor a 2 mm. Luego, se seleccionaron 50 g de cada una (para completar los 50 g de *Ilex guayusa* se tomaron 2 g de la bandeja 6) para un total de 150 g de alimentación vegetal, lo cual según la relación sólido-líquido, alcanza para producir 15 L de bebida nutracéutica.

La extracción se realizó durante 35 minutos en un extractor con agitación mecánica y calentamiento interno (véase el Apéndice A.11). Previamente, se cargaron 15 L de agua y se calentó sin agitación hasta 60°C. Finalmente, se añadió la materia vegetal y se cerró el extractor.

Siguiendo el método Foli-Ciocalteu (Viteri et al., 2021) se determinó que la concentración de polifenoles totales promedio a los 35 minutos de extracción fue de 97.39 mgGAE/L. En la Tabla 3.6 se muestran concentraciones y absorbancias

desde el minuto 1.5 hasta el minuto 21, esto para tener datos contrastables con Patiño y Prado que tomaron datos desde el minuto 1.5 hasta el minuto 15 (Patiño & Prado, 2022).

**Tabla 3.6**

*Concentración de polifenoles totales expresados en mg de ácido gálico equivalente por litro de bebida a distintos tiempos de extracción*

Tiempo [min]	Concentración de polifenoles totales promedio [mgGAE/L]	Absorbancia
1.75	43.33	0.2800
3.5	50	0.3200
5.25	50.72	0.3233
7	58.67	0.3710
8.75	61.55	0.3867
10.5	65.33	0.4100
12.25	66.28	0.4200
14	67.34	0.4233
15.75	71.28	0.4467
17.5	72.83	0.4567
19.25	74.33	0.4667
21	77.06	0.4800

Al comparar la concentración de polifenoles totales registrada a distintas escalas (véase Tabla 3.7), se observa una tendencia decreciente a medida que el volumen de producción aumenta. Un comportamiento similar lo reporta (Smit et al., 2022) al comparar distintos indicadores de calidad de su producto manteniendo constantes las condiciones de operación pero aumentando el volumen de producción. Esto sucede porque a mayor escala, el límite máximo de producción aumenta, permitiendo la generación de más producto que en comparación a escalas menores. No obstante, si las especificaciones de operación (tamaño de equipos, flujos de materias primas y/o utilidades, temperatura, presiones, etc.) no se adecuan

a la nueva escala, los rendimientos pueden verse afectados (Pérez, 2016), (Sievers et al., 2020).

**Tabla 3.7**

*Concentración de polifenoles totales expresados en mg de ácido gálico equivalente por litro de bebida a distintas escalas de producción*

Escalas de producción	Laboratorio	Miniplanta	Piloto
Concentración de polifenoles totales [mgGAE/L]	≈2000	231.04	97.39

*Nota.* Los datos de escala laboratorio fueron tomados de (Quijano-Avilés et al., 2021) y los de escala miniplanta de (Patiño & Prado, 2022).

Además de las condiciones de operación y el volumen de producción, la calidad de las materias primas utilizadas o la presencia de la etapa de pretratamiento considerada en este proyecto son factores que afectan el rendimiento de la bebida nutracéutica.

Asimismo, la necesidad de mayor tiempo de extracción se debe por el tamaño de partícula. Mientras que (Quijano-Avilés et al., 2021) y (Patiño & Prado, 2022) trabajaron con un tamaño de partícula de 500  $\mu\text{m}$ , reduciendo su tiempo de extracción, este proyecto trabajó con 2mm porque se tomaron en cuenta las limitaciones hidráulicas y mecánicas mencionadas al inicio de esta sesión (3.3.2).

### **3.4 Resultado y análisis de la validación del proceso propuesto**

La simulación base se modificó con datos tomados de los equipos utilizados durante la experimentación para redimensionarlos en el SPD V.13, además, se especificaron las cantidades de alimentación y condiciones de operación. En la Tabla 3.8 se muestran los

datos utilizados para especificar las dimensiones del secador de bandejas y el extractor en el SPD V.13.

**Tabla 3.8**

*Dimensiones del secador de bandejas y extractor requeridas para el redimensionamiento en el SPD V.13*

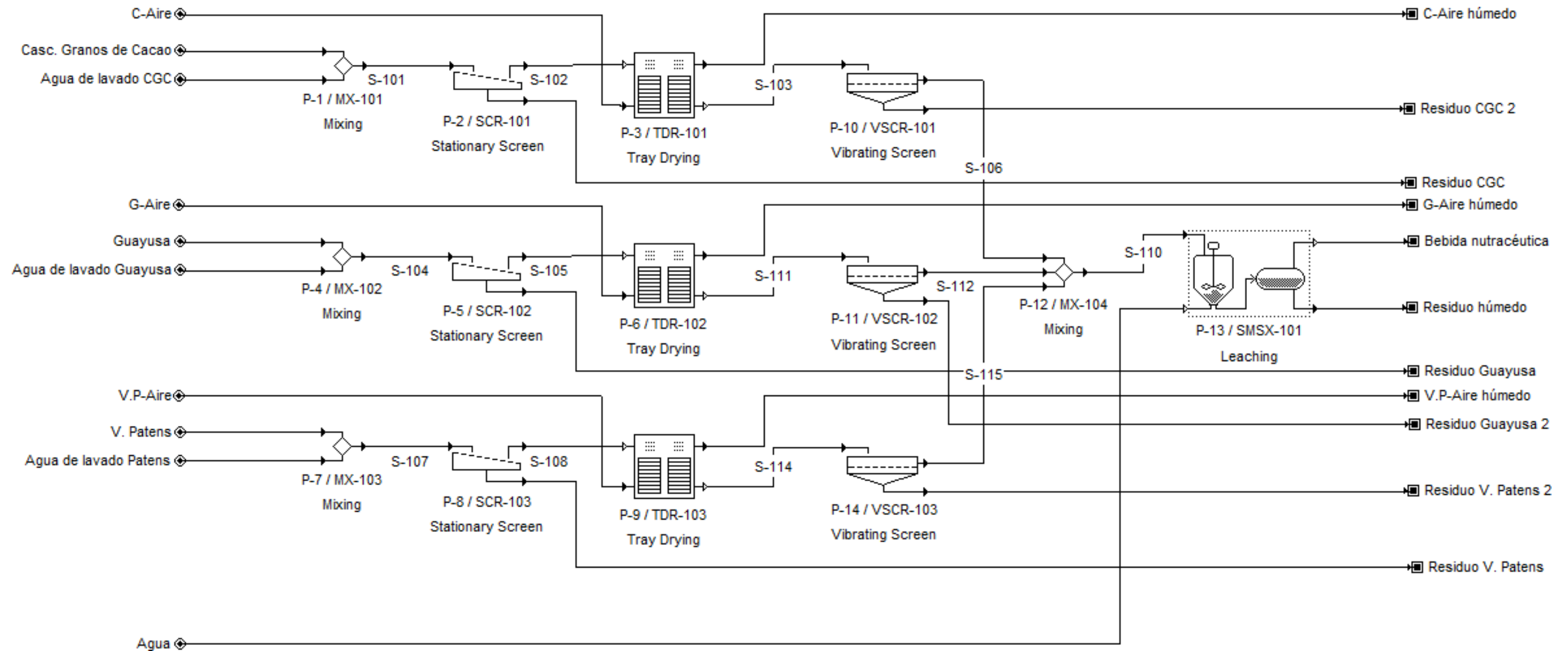
Equipo	Especificaciones			
Secador de bandejas	Separación de bandejas [cm]	Largo de bandeja [cm]	Ancho de bandeja [cm]	Profundidad de bandeja [cm]
	7.7	46	42.4	2.8
Extractor	Altura de extractor [cm]		Diámetro de extractor [cm]	
	76.3		90.5	

Asimismo, se hicieron cambios al proceso propuesto en la sección 2.1 en base a los hallazgos provenientes de la experimentación. Con respecto a las etapas de pretratamiento se simularon por separado para cada materia vegetal, teniendo así mayor control sobre las proporciones requeridas al momento de generar la alimentación vegetal del extractor.

El proceso simulado (véase la Figura 3.8) empieza con las etapas de pretratamiento, donde las materias primas se lavan con agua por 20 minutos y se secan para reducir el contenido de humedad al 16%. Posteriormente, las materias primas se tamizan por separado, se mezclan y, por último, se alimentan al extractor junto con agua. La extracción se da por 35 minutos y se obtiene la bebida nutracéutica y residuo vegetal húmedo.

**Figura 3.8**

*Diagrama de flujo del proceso para obtención de bebida nutracéutica simulado en SPD V.13*



*Nota.* La figura muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de bebida nutracéutica incluyendo las etapas de pretratamiento.



### 3.4.1 Resultado y análisis de la etapa de secado simulada

El área de bandeja y separación vertical de bandejas de los secadores (TDR-101, TDR-102 y TDR-103) se modificaron en base a las especificaciones de la Tabla 3.7. Asimismo, para los 3 secadores se especificó el contenido residual de agua requerido, la temperatura de secado y el tiempo de operación. Para la cáscara de granos de cacao se calculó una tasa de secado de 0.280 kg/m<sup>2</sup>h. Al compararla con la tasa de secado experimental promediada solamente para cáscara de granos de cacao, se obtiene un error porcentual del 31.15% (véase la Tabla 3.9).

El secado de *Ilex guayusa* simulado obtuvo una tasa de secado de 0.216 kg/m<sup>2</sup>h, lo cual corresponde a un error porcentual del 27.64%; mientras que para *V. patens* la tasa de secado registrada fue del 0.505 kg/m<sup>2</sup>h con un error porcentual del 9.58%, el más bajo de todos. Es necesario mencionar, que la tasa de secado experimental se calcula en base a las proporciones de materia vegetal por bandeja, por lo cual no es un valor exacto y el error porcentual puede ser menor. Por ejemplo, las bandejas 4 y 7 ubicadas en la zona media del secador, donde el contenido residual de humedad es más bajo (revisarse la sección 3.3.1) contenían solo *V. patens*, generando así el error más bajo.

El error del 29.121% con respecto a las cáscaras de granos de cacao puede deberse a que esta especie vegetal fue la que más se mezcló en las bandejas. Solamente la bandeja 5, tuvo una alimentación pura de cáscaras de granos de cacao. Esta situación se traslada a la *Ilex guayusa* con dos bandejas de alimentación pura (bandeja 3 y 6), por lo cual un error menor que el de las cáscaras de granos de cacao.

Asimismo, una de las suposiciones del proceso simulado es que el aire se alimenta al secador en exceso y completamente seco, lo cual difiere de las condiciones experimentales, contribuyendo al error calculado. La tabla 3.9 muestra la comparativa de los valores experimentales y los resultados obtenidos en la simulación.

**Tabla 3.9**

*Comparativa de la tasa de secado simulada y experimental*

Materia vegetal	Tasa de secado experimental [kg/m <sup>2</sup> h]	Tasa de secado simulada [kg/m <sup>2</sup> h]	Error porcentual [%]
Cáscara de granos de cacao	0.395	0.272	31.146
<i>Ilex guayusa</i>	0.289	0.209	27.635
<i>V. patens</i>	0.551	0.498	9.579

### 3.4.2 Resultado y análisis de la etapa de extracción simulada

El volumen del extractor (SMSX-101) se especificó a partir de la altura y diámetro detallado en la Tabla 3.8 y la temperatura de extracción se definió como 60°C, mientras que el tiempo de extracción fue de 35 minutos. Se produjeron 13.43 kg/batch de bebida nutracéutica con un contenido de polifenoles igual a 246.01 mg/L. Esta última es mayor que la concentración final obtenida por Patiño & Prado, la cual fue de 231.035 mg/L, lo cual se debe a las razones discutidas en la sección 3.3.2 (Patiño & Prado, 2022).

Por otro lado, la simulación de este proyecto registró un contenido de polifenoles igual a 0.025%, en 13.43 kg/batch de bebida nutracéutica, mientras que Gabela & Villa registraron una composición del 0.33% en 275.34 kg/día (Gabela & Villa, 2021). Uno de los factores que causan la diferencia en concentración, es la cantidad de materia prima utilizada; mientras que Gabela & Villa en su trabajo

utilizan una alimentación de 27.68 kg/día, la simulación de este trabajo opera con 150 g/batch de alimentación. Otras variables pueden ser la caracterización de las materias primas, modelos termodinámicos y los tiempos de operación.

La comparación directa con la experimentación se dificulta ya que la prueba Foli-Ciocalteu detecta parcialmente los compuestos antioxidantes presentes en la bebida, mientras que la simulación cuantifica estos compuestos según la caracterización de las materias primas, la cual no cuenta con todas las especies antioxidantes presentes en las materias vegetales. Esto último también puede interferir en la producción experimental de la bebida, ya que estos compuestos faltantes pueden ser extraídos y/o reaccionar con la prueba Foli-Ciocalteu, modificando la composición de la bebida nutracéutica.

### **3.5 Resultados de la validación del proceso a escala piloto**

#### **3.5.1 Unidad piloto experimental**

##### **3.5.1.1 Secado**

Las materias primas alcanzan un contenido de humedad residual promedio del 16% utilizando el secador de bandejas evaluado a las condiciones de operación especificadas en la Tabla 2.1. Su valoración permitió identificar condiciones de operación que influyen en el rendimiento del proceso, como la configuración de alimentación de las bandejas o la posición de estas en el secador.

Se identificó que al secar por separado las materias vegetales en bandejas perforadas ubicadas en el centro del secador, se podrá alcanzar un contenido de humedad residual bajo y cercano al 12% (12.17%).

### **3.5.1.2 Extracción**

Al finalizar la etapa de extracción se produjo una bebida nutracéutica con contenido de compuestos antioxidantes. El poder mantener constante la temperatura y la agitación mecánica, es una mejora considerable desde el punto de vista de mano de obra.

Además, se pudo comprobar que el uso de un tamaño de partícula mayor al que se utilizó en estudios previos no causa impedimentos desde la perspectiva hidráulica y mecánica.

### **3.5.2 Unidad piloto simulada**

La simulación logra representar el proceso experimental propuesto con buena eficacia. Al especificar parámetros como las condiciones de entrada del aire, compuestos antioxidantes restantes o contenido de humedad inicial de las materias primas, los resultados comparados reducirán el error presentado en esta sección.

# CAPÍTULO 4

## 4. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- El simulador SuperPro Designer V.13 fue capaz de representar el proceso experimental propuesto para la obtención de la bebida nutracéutica. La versatilidad de permitir ingresar componentes, el modo de operación batch disponible, la presencia de los módulos exactos de los equipos utilizados en la unidad piloto experimental y su interfaz amigable con el usuario lo hacen el simulador más apropiado para esta operación.
- La bebida nutracéutica se elaboró experimentalmente a escala piloto, corroborando las condiciones de operación propuestas por el cliente. No obstante, fue necesario acoplar etapas extras debido a las condiciones de las materias primas suministradas. Se agregaron tres etapas de pretratamiento de materias vegetales (tamizado, lavado y secado) y se omitió la etapa de molienda durante la producción de la bebida nutracéutica, ya que las materias primas ya contaban con una distribución de tamaño de partícula apropiada para la extracción
- Durante la etapa de secado se identificó que el contenido alimentado en las bandejas ubicadas en el centro del secador alcanza una humedad residual muy cercana al 16%, siendo la bandeja 5 la que alcanzó el menor valor (12.17%). Asimismo, se reconoció que las bandejas perforadas y alimentaciones puras logran un contenido de humedad residual menor en comparación a las bandejas planas y alimentaciones mezcladas. Por lo tanto, el mejor secado se dará en bandejas

perforadas ubicadas en el centro del secador con una alimentación pura de materia vegetal (*Ilex guayusa*, *V. patens* o cáscaras de granos de cacao).

- La bebida nutracéutica producida presentó un contenido de compuestos antioxidantes de 97.39 mgGAE/L a los 35 minutos de extracción. La comparativa con trabajos previos basado en el rendimiento obtenida a distintas escalas demuestra que un análisis de sensibilidad con respecto a el tiempo de extracción, la cantidad de materia vegetal utilizada, tamaño de partícula, relación sólido-líquido y otras variables representativas del proceso, es necesario para cumplir con la capacidad productiva de la escala piloto.
- La simulación modificada en base a las especificaciones de flujos de entrada, dimensiones de equipos, además de operaciones añadidas y retiradas por reproceso logró obtener resultados semejantes a los experimentales. En caso de querer realizar modificaciones al proceso experimental, la simulación podrá ser usada para estudiar como estos cambios afectarían el rendimiento del producto final.

## 4.2 Recomendaciones

- El proceso de producción de la bebida nutracéutica requiere del acople de la etapa de pretratamiento en base a la calidad de las materias primas suministradas. Se sugiere el pretratar cada materia vegetal por separado para lograr un secado eficiente.
- Se sugiere el análisis del tamaño de partícula óptimo para la extracción de compuestos antioxidantes, con el fin de corroborar la necesidad de una etapa de molienda previo a la extracción.
- Asimismo, un estudio hidráulico-mecánico del efecto del tamaño de partícula en el rendimiento de las aspas del agitador mecánico es requerido. De esta manera se podrá tomar una mejor decisión con respecto al tamaño de partícula. Un diseño del extractor para lograr los requerimientos de calidad de la bebida nutracéutica puede ser otra alternativa.

## Referencias

- Abad, A., & Palacios, J. (2021). *Escalamiento de un proceso para la elaboración de una bebida con propiedades nutraceuticas a escala piloto utilizando como materia prima Vernonanthurra patens, Ilex guayusa y residuos de cacao*. ESPOL.
- Al-Malah, K. (2016). Introducing Aspen Plus. In *Aspen Plus®: Chemical Engineering Applications* (pp. 1–47). John Wiley & Sons, Inc.  
<https://doi.org/10.1002/9781119293644.ch1>
- Alvarez, M. E. T., Moraes, E. B., Rodrigues, J. C., Bonon, A. J., & Wolf-Maciel, M. R. (2012). Evaluation of the batch distillation process in the ethanol production. In I. Lockhart & M. Fairweather (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 30, Issue June, pp. 632–636). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59519-5.50127-1>
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 4). MDPI.  
<https://doi.org/10.3390/app12042107>
- Arellano-Garcia, H., Ife, M. R., & Sanduk, M. (2017). Solar Hydrogen Production via Aqueous Methanol Electrolysis. In A. Espuña, M. Graells, & L. Puigjaner (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 40, pp. 2533–2538). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63965-3.50424-4>
- Aspen Technology Inc. (2000). *Aspen Plus User Guide Version 10.2* (Issue 1).  
<https://doi.org/10.1007/BF00447266>
- Aspen Technology Inc. (2017). *Aspen Batch Process Developer™ Recipe-based modeling technology for the batch process industries*.



- Bonem, J. M. (2018). Potential Problems With Scale-up. In M. Kostas (Ed.), *Chemical Projects Scale Up* (1st ed., pp. 1–15). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813610-2.00001-5>
- Brglez, E., Knez, M., Škerget, M., Knez, Ž., & Bren, U. (2016). Polyphenols: Extraction Methods, Antioxidative Action, Bioavailability and Anticarcinogenic Effects. *Molecules*, 21(901), 1–38. <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
- Bulman, A., D’cunha, N. M., Marx, W., McKune, A. J., Jani, R., & Naumovski, N. (2021). Nutraceuticals as potential targets for the development of a functional beverage for improving sleep quality. *Beverages*, 7(2), 1–30. <https://doi.org/10.3390/beverages7020033>
- Chóez-Guaranda, I., Ruíz-Barzola, O., Ruales, J., & Manzano, P. (2018). Antioxidant activity optimization and GC-MS profile of aqueous extracts of *Vernonanthura patens* (Kunth) H. Rob. leaves. *Natural Product Research*, 34(17), 2505–2509. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1539978>
- Chóez-Guaranda, I., Viteri-Espinoza, R., Barragán-Lucas, A., Quijano-Avilés, M., & Manzano, P. (2022). Effect of solvent-solvent partition on antioxidant activity and GC-MS profile of *Ilex guayusa* Loes. leaves extract and fractions. *Natural Product Research*, 36(6), 1570–1574. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1882455>
- Dimian, A. C., Bildea, C. S., & Kiss, A. A. (2014). Dynamic Simulation. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 35, pp. 127–156). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62700-1.00004-8>
- DRYDEN. (1982). Drying, conditioning and industrial space heating. In *The Efficient Use of Energy* (Vol. 2, pp. 166–198). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-01250-8.50018-0>

- Espinoza-Vasquez, A. P., Galatro, D., Manzano, P., Choez-Guaranda, I., Cevallos, J. M., Salas, S. D., & Gonzalez, Y. (2023). Tray dryer design under feed uncertainty: A case study on a nutraceutical beverage. *Journal of Food Engineering*, 341(October 2022), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111341>
- Gabela, E., & Villa, P. (2021). *Caracterización de las materias primas Vernonanthura Patens, Ilex Guayusa y residuos de cáscara de cacao en un simulador comercial para la elaboración de una bebida con propiedades nutraceuticas*. ESPOL.
- Galarza, K. M., & López, C. (2017). *Agroindustrialización y Comercialización de Superalimentos en el Ecuador* (Vol. 1, Issue 1). Universidad San Francisco de Quito.
- García-Ruiz, A., Baenas, N., Benítez-González, A. M., Stinco, C. M., Meléndez-Martínez, A. J., Moreno, D. A., & Ruales, J. (2017). Guayusa (*Ilex guayusa* L.) new tea: phenolic and carotenoid composition and antioxidant capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 3929–3936. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8255>
- Harmsen, J. (2019a). Development stage. In A. Koch (Ed.), *Industrial Process Scale-Up* (1st ed., pp. 77–82). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64210-3.00005-6>
- Harmsen, J. (2019b). Feasibility stage. In A. Koch (Ed.), *Industrial Process Scale-Up* (1st ed., pp. 39–76). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64210-3.00004-4>
- Harmsen, J. (2019c). Industrial scale-up content and context. In A. Koch (Ed.), *Industrial Process Scale-Up* (1st ed., pp. 1–13). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64210-3.00001-9>
- Harrison, R. G., Todd, P. W., Rudge, S. R., & Petrides, D. P. (2015). Bioprocess Design and Economics. In *Bioseparations Science and Engineering* (2nd ed.). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195391817.003.0015>

- Hernández-Hernández, C., Viera-Alcaide, I., Morales-Sillero, A. M., Fernández-Bolaños, J., & Rodríguez-Gutiérrez, G. (2018). Bioactive compounds in Mexican genotypes of cocoa cotyledon and husk. *Food Chemistry*, 240, 831–839.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.018>
- Idárraga, Á., Urrea, L. M., Roldán, F. J., & Cardona, F. A. (2016). *Flora del Magdalena Medio: áreas de influencia de la Central Térmica Termocentro* (1st ed.). ISAGEN.  
<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Jarrín, P. (2020). *Los nutraceuticos como un componente económico en Ecuador y el mundo* (1st ed., Issue April). V&M Gráficas.  
<https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>
- Kesavan, P., Banerjee, A., Banerjee, A., Murugesan, R., Marotta, F., & Pathak, S. (2018). An overview of dietary polyphenols and their therapeutic effects. In R. Wason, V. Preedy, & S. Zibadi (Eds.), *Polyphenols: Mechanisms of Action in Human Health and Disease* (2nd ed., pp. 221–235). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813006-3.00017-9>
- Kumar Das, S., & Das, M. (2019). *Fundamentals and Operations in Food Process Engineering* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429058769>
- Manzano, P. I., Miranda, M., Quijano, M. F., & Monzote, L. (2015). Advances in Studies of *Vernonanthura patens* (Kunth) H. Rob. Growing in Ecuador. In V. Rao & L. Rao (Eds.), *Phytochemicals - Isolation, Characterisation and Role in Human Health* (1st ed., p. 18). INTECH. <https://doi.org/10.5772/59866>
- Muzzalupo, I. (2015). *Agricultural and Food Biotechnologies of Olea europaea and Stone Fruit* (S. Micali (ed.); 1st ed.). BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS.

<https://doi.org/10.2174/97816080599351150101>

- Panak Balentić, J., Ačkar, Đ., Jokić, S., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Šubarić, D., & Pavlović, N. (2018). Cocoa Shell: A By-Product with Great Potential for Wide Application. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(6), 1–14.  
<https://doi.org/10.3390/molecules23061404>
- Patiño, O., & Prado, G. (2022). *Determinación de parámetros experimentales para un modelo de extracción sólido-líquido de una bebida nutracéutica*. ESPOL.
- Pérez, F. J. (2016). *Escalado de una torre de Absorción*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Petrides, D. (2022). *The Role of Simulation and Scheduling Tools in the Analysis and Optimization of Biochemical, Pharmaceutical, Fine Chemical, Consumer Product, Food, and Related Processes*. [www.intelligen.com](http://www.intelligen.com)
- Piccinno, F., Hischier, R., Seeger, S., & Som, C. (2016). From laboratory to industrial scale: a scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1085–1097.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.164>
- Quijano-Avilés, M., Chóez-Guaranda, I., Viteri, R., Barragán-Lucas, A., Sosa, D., & Manzano, P. (2021). Effect of Cocoa Bean Shell Addition on Metabolite Profile and Antioxidant Activity of Herbal Infusions. *International Journal of Food Science*, 2021, 8. <https://doi.org/10.1155/2021/9915797>
- Rangani, J., Kumari, A., Patel, M., Brahmhatt, H., & Parida, A. K. (2019). Phytochemical profiling, polyphenol composition, and antioxidant activity of the leaf extract from the medicinal halophyte *Thespesia populnea* reveal a potential source of bioactive

compounds and nutraceuticals. *Journal of Food Biochemistry*, 43(2).

<https://doi.org/10.1111/jfbc.12731>

Rivera, F. (2018). *Evaluación de la actividad antimicrobiana in vitro del extracto hidroetanólico de hojas de vemonanthura patens (Laritaco) sobre escherichia coli* (Vol. 89) [Universidad Regional Autónoma de los Andes].  
[https://www.fairportlibrary.org/images/files/RenovationProject/Concept\\_cost\\_estimate\\_accepted\\_031914.pdf](https://www.fairportlibrary.org/images/files/RenovationProject/Concept_cost_estimate_accepted_031914.pdf)

Sanchez, M., Viteri, S., Burbano, A., Abril, M., Vargas, T., Suarez, S., & Mestanza, C. (2022). New Characteristics in the Fermentation Process of Cocoa ( *Theobroma cacao* L . ) “ Super Árbol ” in La Joya de los Sachas, Ecuador. *Sustainability*, 13(7564). <https://doi.org/10.3390/su14137564>

Sequeda-Castañeda, L., Celis, C., Costa, G., & Gamboa, F. (2016). *Ilex guayusa* (Aquifoliaceae): Amazon and Andean Native Plant E. *Pharmacologyonline*, 3, 193–202. <https://www.researchgate.net/publication/311981728>

Shahidi, F., & Weerasinghe, D. K. (2003). Nutraceutical Beverages: An Overview. In *Nutraceutical Beverages* (1st ed., Issue 4, pp. 1–5). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2004-0871.ch001>

Sievers, D. A., Kuhn, E. M., Thompson, V. S., Yancey, N. A., Hoover, A. N., Resch, M. G., & Wolfrum, E. J. (2020). Throughput, Reliability, and Yields of a Pilot-Scale Conversion Process for Production of Fermentable Sugars from Lignocellulosic Biomass: A Study on Feedstock Ash and Moisture. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(4), 2008–2015. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06550>

Smit, A. T., Verges, M., Schulze, P., Van Zomeren, A., & Lorenz, H. (2022). Laboratory- to Pilot-Scale Fractionation of Lignocellulosic Biomass Using an Acetone Organosolv

- Process. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 10(32), 10503–10513.  
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c01425>
- Stewart, M. I. (2014). Heat Transfer Theory. In *Surface Production Operations* (Vol. 2, pp. 39–97). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-382207-9.00003-2>
- Tripodi, A., Compagnoni, M., Martinazzo, R., Ramis, G., & Rossetti, I. (2017). Process simulation for the design and scale up of heterogeneous catalytic process: Kinetic modelling issues. *Catalysts*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/catal7050159>
- Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231–1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
- Vaquerizo, L., & Cocero, J. (2018). CFD-Aspen Plus interconnection method. Improving thermodynamic modelling in computational fluid dynamic simulations. *Computers & Chemical Engineering*, 113, 152–161.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.03.019>
- Viteri, R., Giordano, A., Montenegro, G., & Zacconi, F. (2021). *Eucryphia cordifolia* extracts: Phytochemical screening, antibacterial and antioxidant activities. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1960525>, 36(16), 4177–4181.  
<https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1960525>
- Yeop, A., Sandanasam, J., Pan, S. F., Abdulla, S., Yusoff, M. M., & Gimbin, J. (2017). The effect of particle size and solvent type on the gallic acid yield obtained from *Labisia pumila* by ultrasonic extraction. *MATEC Web of Conferences*, 111, 1–5.  
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201711102008>
- Zubairi, S. I., Sarmidi, M. R., & Aziz, R. A. (2014). The Effects of Raw Material Particles Size, Types of Solvents and Solvent-to-Solid Ratio on the Yield of Rotenone

Extracted from Derris elliptica Roots. *Sains Malaysiana*, 43(5), 707–713.

# Apéndice

## A.1 Componentes puros requeridos para simulación

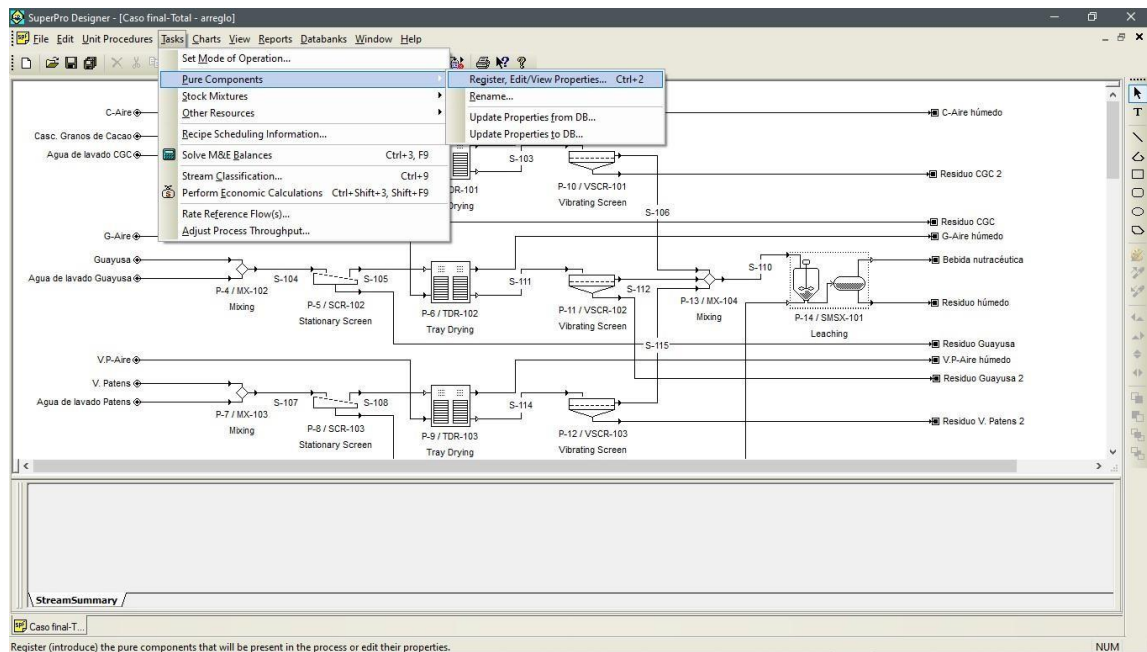
Componente	Disponibilidad en el simulador	Componente	Disponibilidad en el simulador
(-)-Catequina	No disponible	L-Asparagina (Anhídrido)	No disponible
(Z)-Ácido Octadecenoico	No disponible	L-Epicatequina	No disponible
2,4-Di-Tert-Butilfenol	No disponible	L-Ácido Treónico	No disponible
2-O-( $\alpha$ -D-Galactopiranosil)-D-galactosa	No disponible	Ácido Málico	Disponible
Beta-Amirina	No disponible	Meso-Eritritol	No disponible
L-Treonina	No disponible	Ácido Margárico	No disponible
Trans-Cafeato	No disponible	p-Etilbenzaldehído	No disponible
Ácido Ceratínico	No disponible	Biomasa de <i>Illex guayusa</i>	Editable
Ácido Gálico	No disponible	Biomasa de <i>V. patens</i>	Editable
Inositol	Disponible	Biomasa de cáscara de granos de cacao	Editable



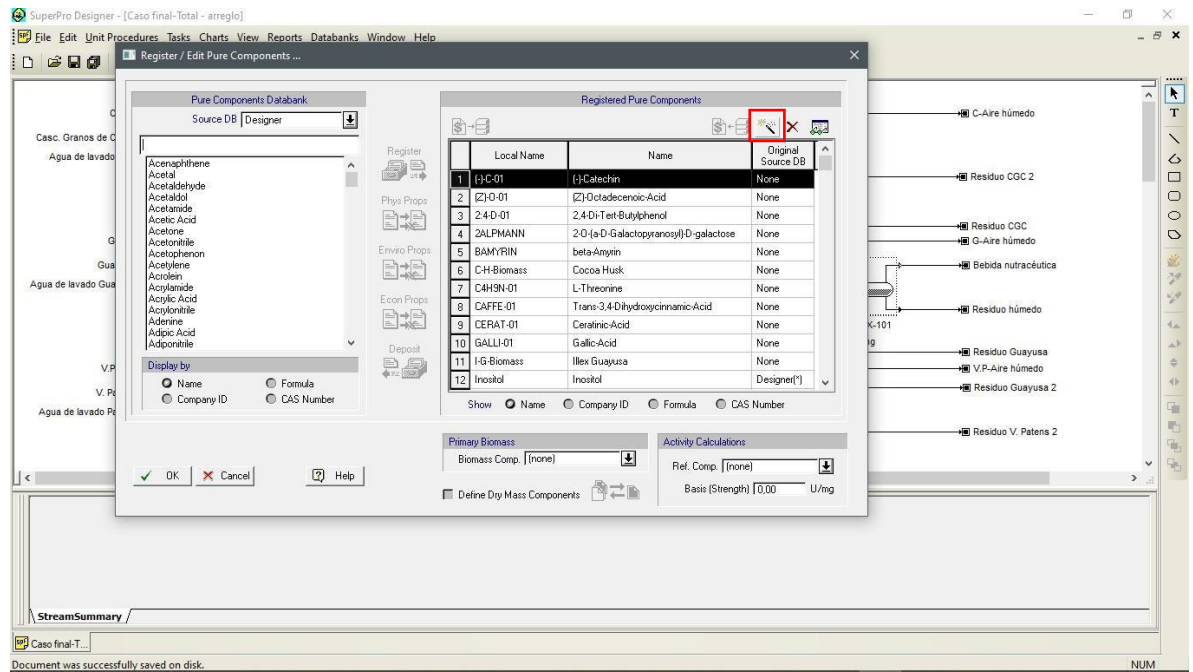
## A.2 Ingreso de nuevos componentes en SPD V.13

A continuación, se describen los pasos a seguir para ingresar un nuevo componente puro en el simulador SPD V.13:

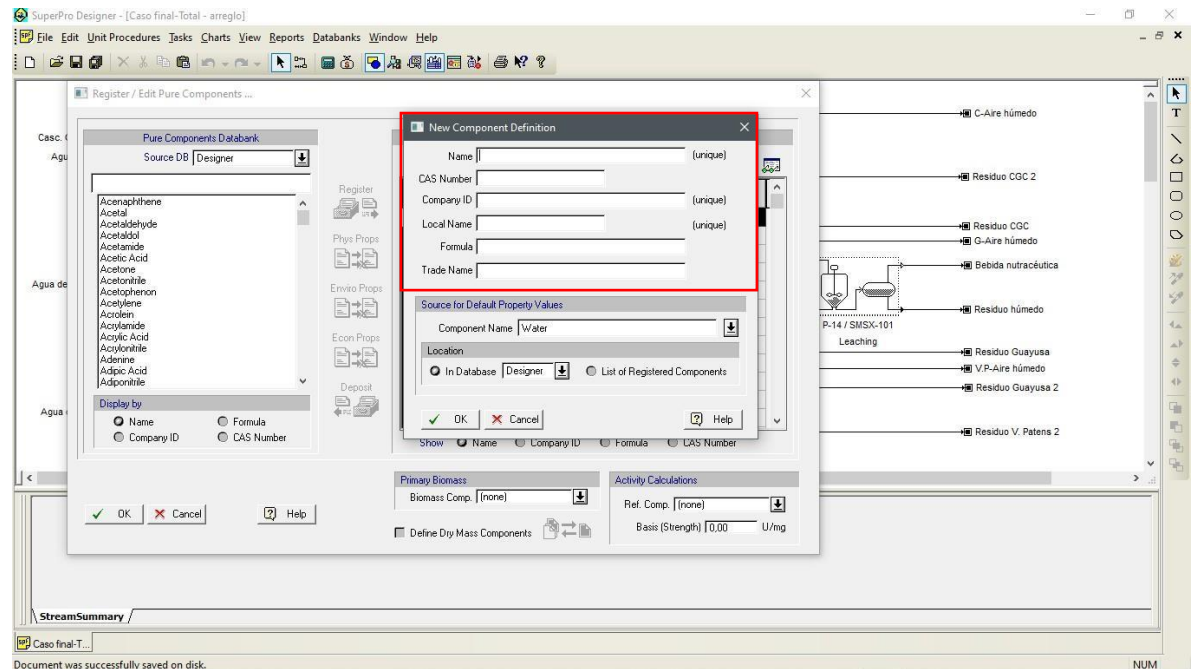
1. En la barra de herramientas ir a la sección *Task* y luego al apartado *Pure Componentes*. Finalmente, escoger la opción *Register, Edit/View Properties* o directamente usar el comando *ctrl+2* en Windows.



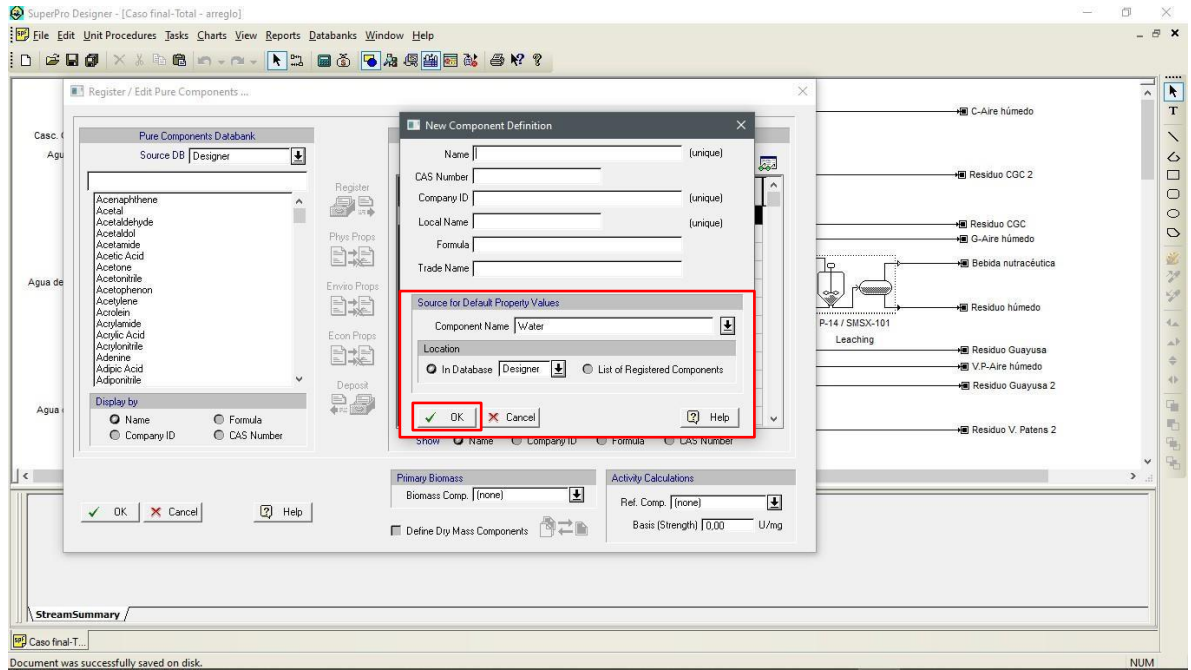
- En la ventana de *Registered Pure Componentes*, escoger la opción de *Add a New Component*.



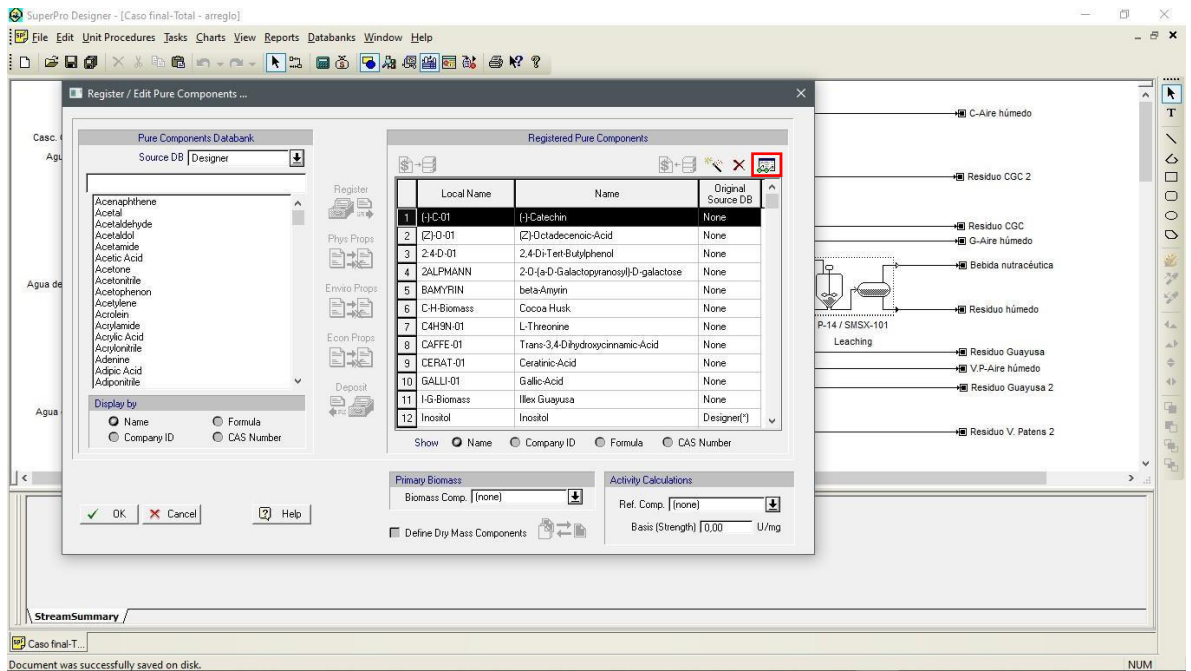
- Ingresar el nombre, ID de compañía y un nombre local como parámetros obligatorios y el número CAS, fórmula y un nombre de venta como parámetros opcionales.



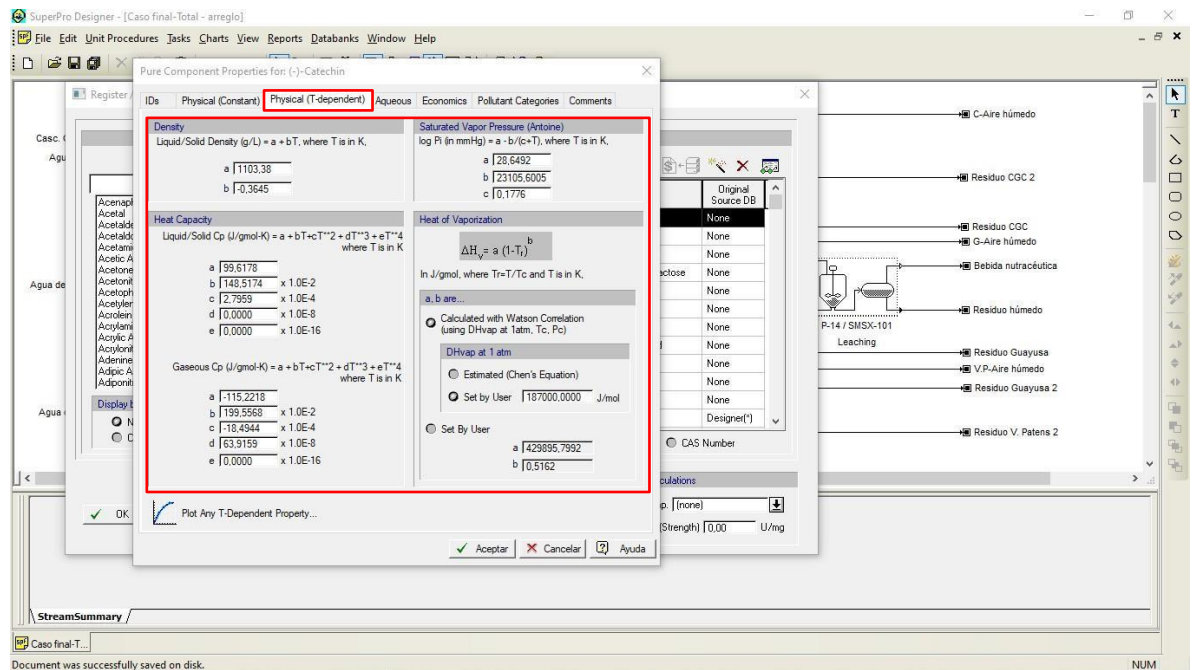
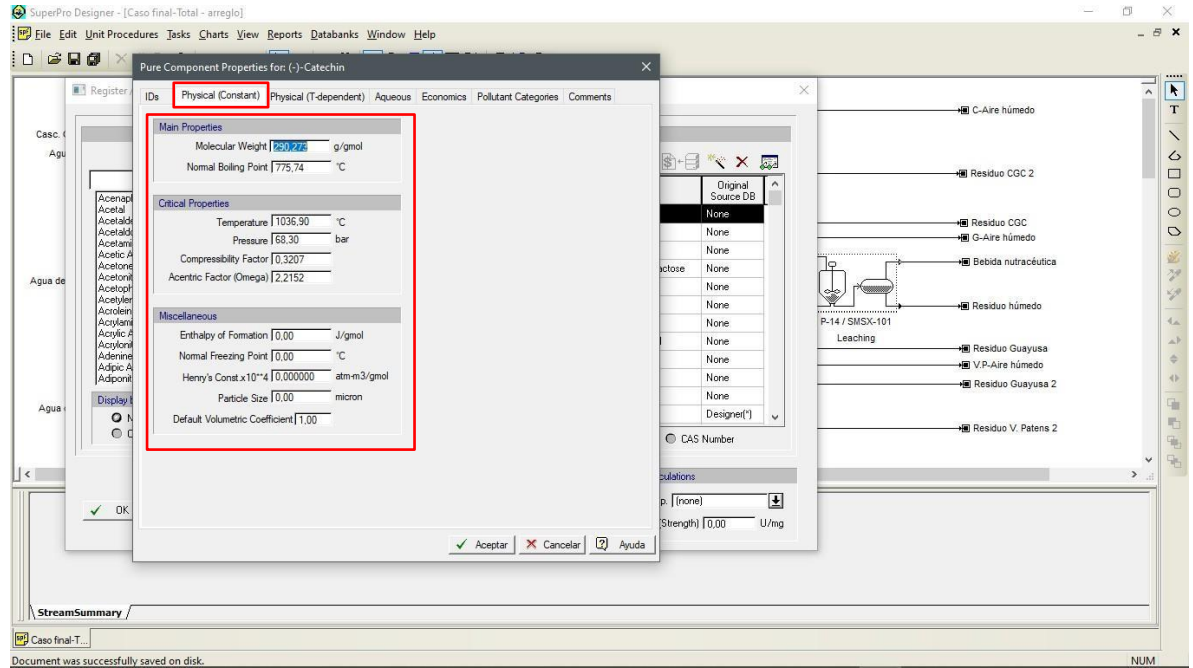
- En la sección *Source for Default Property Values*, dejar el agua como componente base y darle a Ok.



- Ir al componente agregado y dar clic en la opción *View/Edit the Selected Component Properties*.



6. En la sección de *Physical (Constant)* y en la sección *Physical (T-dependent)* actualizar los valores en base a las especificaciones detalladas en la Tabla 2.3. Una vez modificados los valores darle a Aceptar.



### A.3 Coeficientes para cálculo de la densidad en SPD V.13 obtenidos mediante Aspen Properties V.12

Componente	Coeficientes	
	a [g/L]	b [gK/L]
CAFFE-01	1741,4	-1,2795
L-THREAC	2149,9	-1,8005
MALIC-01	2236,5	-2,0795
L-ASP-01	1543	0
N-HEP-01	1364,5	-1,217
(Z)-O-01	1438,6	-1,1893
2ALPMANN	1700	0
CERAT-01	900	0
BAMYRIN	1511,1	-1,0688
GALLI-01	1694	0
(-)-C-01	1936,2	-1,2124
C15H1-01	1845,2	-1,0847
P-ET-BEN	1390	-1,2195
2:4-D-01	1310	-1,0797
MESO--01	1980	-1,8338
INOSI-01	2460	-2,0286

#### A.4 Propiedades fisicoquímicas de componentes puros registrados en SPD V.13 obtenidas mediante Aspen Properties V.12

Componente	Propiedades								
	Peso molecular [g/gmol]	Punto normal de ebullición [°C]	Temperatura crítica [°C]	Presión crítica [bar]	Factor de compresibilidad	Factor acéntrico	Capacidad calorífica de líquido/sólido [J/gmolK]	Capacidad calorífica de gas [J/gmolK]	Coeficientes de Antoine
(-)-C-01	290.27	775.74	1036.9	68.30	0.3207	2.2152	a=-99.61 b=148.51 c=2.79 d=0 e=0	a=-115.22 b=199.55 c=-18.49 d=63.91 e=0	a=28.64 b=23105.60 c=0.1776
(Z)-O-01	282.46	487.76	669.70	12.70	0.1698	0.9903	a=426.76 b=2.22 c=16.31 d=0 e=0	a=-30.52 b=177.65 c=-10.19 d=20.96 e=0	a=22.08 b=12261.56 c=0.1778
2:4-D-01	282.46	352.39	582.63	23.58	0.2173	0.6018	a=218.63 b=47.97 c=6.09 d=0 e=0	a=-74.47 b=155.89 c=-11.76 d=34.84 e=0	a=23.32 b=12048.05 c=0.1778
2ALPMANN	282.46	1016.31	1510.67	43.11	0.2260	0.8330	a=711.15 b=-601.28 c=147.33 d=0 e=0	a=-146.91 b=240.82 c=-22.11 d=77.24 e=0	a=24.02 b=22002.89 c=0.1777
BAMYRIN	426.72	750.65	995.522	10.71	0.1455	0.8521	a=405.00 b=-66.27 c=56.87 d=0 e=0	a=-379.70 b=378.89 c=-23.96 d=52.06 e=0	a=19.05 b=12727.75 c=0.1778

L-EPI-01	290.27	775.74	1036.9	68.30	0.3207	2.2152	a=-99.61 b=148.51 c=2.79 d=0 e=0	a=-122.21 b=201.55 c=-18.48 d=62.70 e=0	a=28.64 b=23105.60 c=0.1776
TRANS-01	180.16	469.76	719.89	58.09	0.2585	1.2703	a=150.64 b=80.54 c=-4.45 d=0 e=0	a=-22.10 b=99.11 c=-8.72 d=29.38 e=0	a=23.73 b=12965.97 c=0.1776
CERAT-01	396.69	666.64	883.27	7.60	0.1199	0.6358	a=636.20 b=-6.56 c=24.73 d=0 e=0	a=-54.07 b=264.45 c=-15.07 d=30.28 e=0	a=17.37 b=10095.35 c=0.1778
GALLIC-01	170.12	500.46	757.85	1.58	0.2692	1.5856	a=-178.46 b=315.89 c=-39.97 d=0 e=0	a=-18.35 b=84.51 c=-7.32 d=23.64 e=0	a=25.20 b=14452.30 c=0.1777
L-ASP-01	132.11	361.77	587.68	56.70	0.2705	1.1298	a=-36.22 b=-24.77 c=27.35 d=0 e=0	a=22.51 b=53.63 c=-3.37 d=7.68 e=0	a=29.50 b=17048.73 c=0.1777
C4H9N-01	119.11	327.11	526.99	55.03	0.2642	1.2655	a=-110.12 b=-17.65 c=30.54 d=0 e=0	a=12.27 b=54.23 c=-3.46 d=8.42 e=0	a=40.21 b=26630.56 c=0.1776
L-THREAC	136.10	438.94	616.89	67.07	0.2977	2.1893	a=124.29 b=-254.16 c=91.87 d=0 e=0	a=16.36 b=54.84 c=-3.46 d=9.28 e=0	a=37.57 b=24820.23 c=0.1776

MESO--01	122.12	385.61	546.74	67.40	0.3198	2.2622	a=491.96 b=-336.89 c=94.38 d=0 e=0	a=10.65 b=59.74 c=-4.33 d=12.65 e=0	a=51.58 b=37145.78 c=0.1775
N-HEP-01	270.45	460.72	637.79	13.11	0.1751	0.9976	a=426.89 b=-2.45 c=16.73 d=0 e=0	a=-30.15 b=174.89 c=-10.16 d=21.38 e=0	a=23.50 b=13247.08 c=0.1778
P-ET-BEN	134.17	212.49	426.45	34.93	0.2693	0.4934	a=165.94 b=8.83 c=3.61 d=0 e=0	a=-26.79 b=74.32 c=-4.16 d=7.51 e=0	a=46.07 b=32009.85 c=0.1776



## A.5 Resultados por corriente de la simulación final

Stream Name	Casc. Granos de Cacao	A. lavado CGC	Guayusa	A. lavado Guayusa	V. Patens	A. lavado V. Patens
Source	Input	Input	Input	Input	Input	Input
Destination	P-1	P-1	P-4	P-4	P-7	P-7
<b>Stream Properties</b>						
Temperature [°C]	25	25	25	25	25	25
Pressure [bar]	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Density [g/L]	360.05	994.7	617.04	994.7	581.71	994.7
<b>Component Flowrates [kg/batch]</b>						
(-)-C-01	0.00094	0	0	0	0	0
(Z)-O-01	0	0	0	0	0.00519	0
2:4-D-01	0	0	0.00037	0	0	0
2ALPMANN	0	0	0	0	0.00146	0
BAMYRIN	0	0	0	0	0.00071	0
C-H-Biomass	0.52784	0	0	0	0	0
C4H9N-01	0	0	0	0	0.00055	0
CAFFE-01	0	0	0.0017	0	0.00207	0
CERAT-01	0	0	0	0	0.00076	0
GALLI-01	0.0033	0	0	0	0	0
I-G-Biomass	0	0	0.4197	0	0	0
Inositol	0	0	0.00037	0	0	0
L-ASP-01	0	0	0	0	0.00398	0
L-EPI-01	0.00396	0	0	0	0	0
L-THREAC	0	0	0	0	0.00348	0
Malic Acid	0	0	0.0011	0	0.00353	0
MESO--01	0	0	0.00037	0	0	0
N-HEP-01	0	0	0	0	0.00307	0
P-ET-BEN	0	0	0.00041	0	0	0
V-P-Biomass	0	0	0	0	0.42598	0
Water	0.03546	2	0.03597	2	0.05322	2
Air	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b> [kg/batch]	0.5715	2	0.45999	2	0.504	2

Stream Name	S-101	S-104	S-107	S-102	R. CGC	S-105
Source	P-1	P-4	P-7	P-2	P-2	P-5
Destination	P-2	P-5	P-8	P-3	Output	P-6
<b>Stream Properties</b>						
Temperature [°C]	25	25	25	25	25	25
Pressure [bar]	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Density [g/L]	714.72	892.55	870.33	609.35	994.7	810.45
<b>Component Flowrates [kg/batch]</b>						
(-)-C-01	0.00094	0	0	0.00094	0	0
(Z)-O-01	0	0	0.00519	0	0	0
2:4-D-01	0	0.00037	0	0	0	0.00037
2ALPMANN	0	0	0.00146	0	0	0
BAMYRIN	0	0	0.00071	0	0	0
C-H-Biomass	0.52784	0	0	0.52784	0	0
C4H9N-01	0	0	0.00055	0	0	0
CAFFE-01	0	0.0017	0.00207	0	0	0.0017
CERAT-01	0	0	0.00076	0	0	0
GALLI-01	0.0033	0	0	0.0033	0	0
I-G-Biomass	0	0.4197	0	0	0	0.4197
Inositol	0	0.00037	0	0	0	0.00037
L-ASP-01	0	0	0.00398	0	0	0
L-EPI-01	0.00396	0	0	0.00396	0	0
L-THREAC	0	0	0.00348	0	0	0
Malic Acid	0	0.0011	0.00353	0	0	0.0011
MESO--01	0	0.00037	0	0	0	0.00037
N-HEP-01	0	0	0.00307	0	0	0
P-ET-BEN	0	0.00041	0	0	0	0.00041
V-P-Biomass	0	0	0.42598	0	0	0
Water	2.03546	2.03597	2.05322	1.05691	0.97855	0.81439
Air	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b> <b>[kg/batch]</b>	2.5715	2.45999	2.504	1.59295	0.97855	1.23841

Stream Name	R. Guayusa	S-108	R. V. Patens	C-Aire	C. A. H	S-103
Source	P-5	P-8	P-8	Input	P-3	P-3
Destination	Output	P-9	Output	P-3	Output	P-10
<b>Stream Properties</b>						
Temperature [°C]	25	25	25	25	45	45
Pressure [bar]	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Density [g/L]	994.7	859.99	994.7	1.18	1.1	374.69
<b>Component Flowrates [kg/batch]</b>						
(-)-C-01	0	0	0	0	0	0.00094
(Z)-O-01	0	0.00519	0	0	0	0
2:4-D-01	0	0	0	0	0	0
2ALPMANN	0	0.00146	0	0	0	0
BAMYRIN	0	0.00071	0	0	0	0
C-H-Biomass	0	0	0	0	0	0.52784
C4H9N-01	0	0.00055	0	0	0	0
CAFFE-01	0	0.00207	0	0	0	0
CERAT-01	0	0.00076	0	0	0	0
GALLI-01	0	0	0	0	0	0.0033
I-G-Biomass	0	0	0	0	0	0
Inositol	0	0	0	0	0	0
L-ASP-01	0	0.00398	0	0	0	0
L-EPI-01	0	0	0	0	0	0.00396
L-THREAC	0	0.00348	0	0	0	0
Malic Acid	0	0.00353	0	0	0	0
MESO--01	0	0	0	0	0	0
N-HEP-01	0	0.00307	0	0	0	0
P-ET-BEN	0	0	0	0	0	0
V-P-Biomass	0	0.42598	0	0	0	0
Water	1.22158	1.83353	0.21969	0	0.95481	0.10210
Air	0	0	0	700	700	0
<b>TOTAL</b> [kg/batch]	1.22158	2.28431	0.21969	700	700.9548	0.6381

Stream Name	G-Aire	G. A. H	S-111	V.P-Aire	V.P. A. H	S-114
Source	Input	P-6	P-6	Input	P-9	P-9
Destination	P-6	Output	P-11	P-9	Output	P-12
<b>Stream Properties</b>						
Temperature [°C]	25	45	45	25	45	45
Pressure [bar]	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Density [g/L]	1.18	1.1	627.47	1.18	1.1	585.19
<b>Component Flowrates [kg/batch]</b>						
(-)-C-01	0	0	0	0	0	0
(Z)-O-01	0	0	0	0	0	0.00519
2:4-D-01	0	0	0.00037	0	0	0
2ALPMANN	0	0	0	0	0	0.00146
BAMYRIN	0	0	0	0	0	0.00071
C-H-Biomass	0	0	0	0	0	0
C4H9N-01	0	0	0	0	0	0.00055
CAFFE-01	0	0	0.0017	0	0	0.00207
CERAT-01	0	0	0	0	0	0.00076
GALLI-01	0	0	0	0	0	0
I-G-Biomass	0	0	0.4197	0	0	0
Inositol	0	0	0.00037	0	0	0
L-ASP-01	0	0	0	0	0	0.00398
L-EPI-01	0	0	0	0	0	0
L-THREAC	0	0	0	0	0	0.00348
Malic Acid	0	0	0.0011	0	0	0.00353
MESO--01	0	0	0.00037	0	0	0
N-HEP-01	0	0	0	0	0	0.00307
P-ET-BEN	0	0	0.00041	0	0	0
V-P-Biomass	0	0	0	0	0	0.42598
Water	0	0.73362	0.08077	0	1.74767	0.08586
Air	700	700	0	700	700	0
<b>TOTAL</b> [kg/batch]	700	700.73362	0.5048	700	701.7477	0.5366

Stream Name	R. CGC 2	S-106	R. Guayusa 2	S-112	R. V.P 2	S-115
Source	P-10	P-10	P-11	P-11	P-12	P-12
Destination	Output	P-13	Output	P-13	Output	P-13
<b>Stream Properties</b>						
Temperature [°C]	45	45	45	45	45	45
Pressure [bar]	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Density [g/L]	374.69	374.69	0	627.47	585.19	585.19
<b>Component Flowrates [kg/batch]</b>						
(-)-C-01	0.00087	0.00008	0	0	0	0
(Z)-O-01	0	0	0	0	0.00468	0.00051
2:4-D-01	0	0	0.00033	0.00004	0	0
2ALPMANN	0	0	0	0	0.00132	0.00014
BAMYRIN	0	0	0	0	0.00064	0.00007
C-H-Biomass	0.48451	0.04333	0	0	0	0
C4H9N-01	0	0	0	0	0.00050	0.00005
CAFFE-01	0	0	0.00153	0.00018	0.00186	0.00020
CERAT-01	0	0	0	0	0.00002	0.00007
GALLI-01	0.00303	0.00027	0	0	0	0
I-G-Biomass	0	0	0.37615	0.04355	0	0
Inositol	0	0	0.00033	0.00004	0	0
L-ASP-01	0	0	0	0	0.00359	0.00039
L-EPI-01	0.00364	0.00033	0	0	0	0
L-THREAC	0	0	0	0	0.00359	0.00034
Malic Acid	0	0	0.00099	0.00011	0.00318	0.00034
MESO--01	0	0	0.00033	0.00004	0	0
N-HEP-01	0	0	0	0	0.00277	0.00030
P-ET-BEN	0	0	0.00037	0.00004	0	0
V-P-Biomass	0	0	0	0	0.38440	0.04158
Water	0.09372	0.00838	0.07239	0.00838	0.07748	0.00838
Air	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b> [kg/batch]	0.5858	0.0524	0.4524	0.0524	0.4843	0.0524

Stream Name	Agua	S-110	Residuo Húmedo	Bebida Nutracéutica
Source	Input	P-13	P-14	P-14
Destination	P-14	P-14	Output	Output
<b>Stream Properties</b>				
Temperature [°C]	25	45	60	60
Pressure [bar]	1.01	1.01	1.01	1.01
Density [g/L]	994.7	501.17	661.58	982.03
<b>Component Flowrates [kg/batch]</b>				
(-)-C-01	0	0.00008	0.00000	0.00007
(Z)-O-01	0	0.00051	0.00003	0.00048
2:4-D-01	0	0.00004	0.00000	0.00004
2ALPMANN	0	0.00014	0.00001	0.00014
BAMYRIN	0	0.00007	0.00000	0.00007
C-H-Biomass	0	0.04333	0.04333	0
C4H9N-01	0	0.00005	0.00000	0.00005
CAFFE-01	0	0.00038	0.00002	0.00036
CERAT-01	0	0.00007	0.00000	0.00007
GALLI-01	0	0.00027	0.00001	0.00026
I-G-Biomass	0	0.04355	0.04355	0
Inositol	0	0.00004	0.00000	0.00004
L-ASP-01	0	0.00039	0.00002	0.00037
L-EPI-01	0	0.00033	0.00002	0.00031
L-THREAC	0	0.00034	0.00002	0.00032
Malic Acid	0	0.00046	0.00002	0.00044
MESO--01	0	0.00004	0.00000	0.00004
N-HEP-01	0	0.00030	0.00002	0.00029
P-ET-BEN	0	0.00004	0.00000	0.00004
V-P-Biomass	0	0.04158	0.04158	0
Water	14.92056	0.02514	1.51720	13.42851
Air	0	0	0	0
<b>TOTAL [kg/batch]</b>	<b>14.92056</b>	<b>0.1571</b>	<b>2.9404</b>	<b>13.4319</b>

## A.6 Resultados del secado experimental

Bandeja	Posición	Carga	Tipo de bandeja	Masa húmeda	Masa seca	Agua removida	% Agua removida	% Agua residual
1	3	Mezcla	Plana	615.5	90	525.5	85.38	14.62
2	8	Patens	Perforada	428	120	308	71.96	28.04
3	1	Guayusa	Plana	353.5	85.5	268	75.81	24.19
4	6	Patens	Perforada	427.5	55	372.5	87.13	12.87
5	5	Cacao	Plana	628.5	76.5	552	87.83	12.17
6	2	Guayusa	Perforada	473	92	381	80.55	19.45
7	7	Patens	Plana	365	56	309	84.66	15.34
8	10	Mezcla	Perforada	466	94	372	79.83	20.17
9	9	Mezcla	Plana	370.5	86	284.5	76.79	23.21
10	4	Mezcla	Perforada	450.5	71.5	379	84.13	15.87

## A.7 Resultados del análisis Folin-Ciocalteu

T (Min)	ABS 1	ABS 2	ABS 3	mg	mg	mg	X	DS	CV
				GAE/L	GAE/L	GAE/L			
1.75	0.28	0.28	0.28	43.99	42.66	43.33	43.33	0.67	1.54
3.5	0.34	0.30	0.32	52.67	47.16	50.16	50.00	2.76	5.52
5.25	0.32	0.32	0.33	49.33	50.83	52.01	50.72	1.34	2.65
7	0.370	0.372	0.371	58.49	58.84	58.67	58.67	0.17	0.30
8.75	0.39	0.39	0.38	62.49	61.49	60.66	61.55	0.92	1.49
10.5	0.40	0.44	0.39	63.17	70.49	62.34	65.33	4.49	6.87
12.25	0.41	0.41	0.44	64.34	64.67	69.84	66.28	3.08	4.65
14	0.43	0.43	0.41	69.01	68.34	64.67	67.34	2.33	3.47
15.75	0.45	0.45	0.44	71.34	71.84	70.66	71.28	0.59	0.83
17.5	0.46	0.47	0.44	73.17	74.51	70.83	72.83	1.86	2.56
19.25	0.48	0.46	0.46	76.83	72.67	73.51	74.33	2.20	2.96
21	0.46	0.49	0.49	73.49	79.17	78.51	77.06	3.11	4.03

## A.8 Tamiz de mesa vibratoria utilizado durante la experimentación



## A.9 Materias primas durante la etapa de lavado

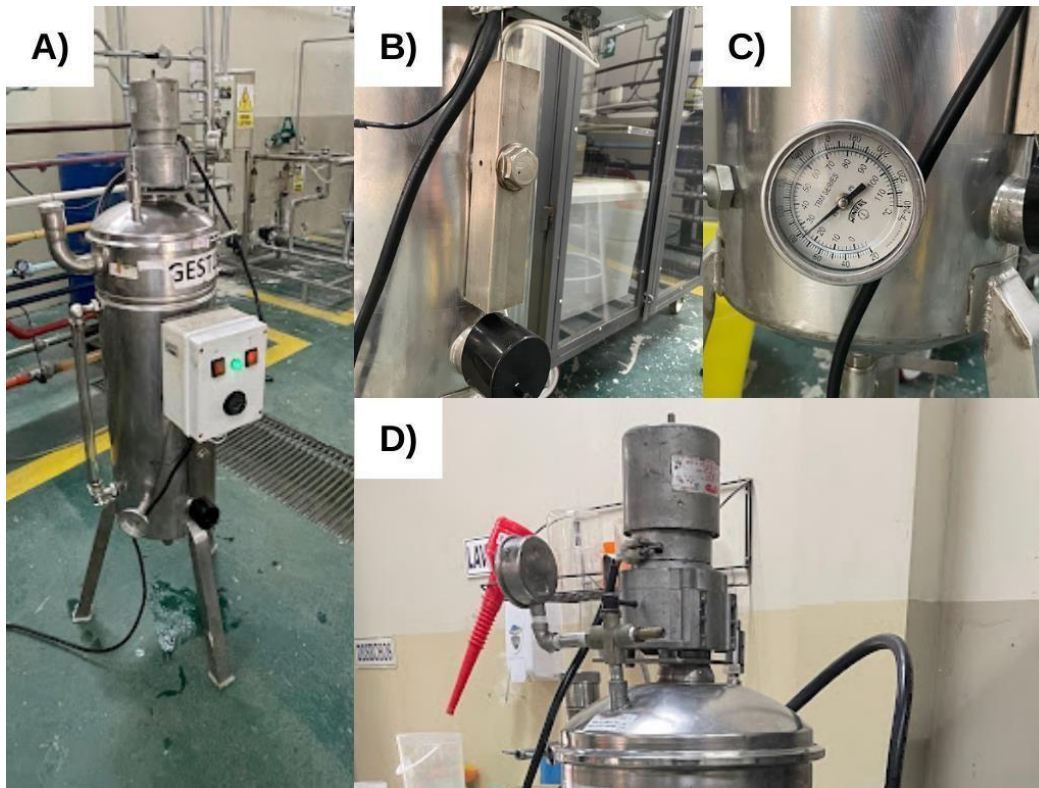




## A.10 Secador de bandejas utilizado durante la experimentación



## A.11 Extractor utilizado durante la experimentación



*Nota.* La figura muestra el extractor utilizado en la producción experimental de la bebida nutracéutica: A) Extractor, B) Resistencia utilizada para el calentamiento, C) Medidor de temperatura & D) Motor utilizado para la agitación mecánica.