

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Diseño y evaluación de una planta para la producción de una  
formulación edulcorante con fruta milagrosa como aditivo  
modificador de sabor**

**Aseel Ahmad Shayeb Shayeb**

**Ingeniería Química**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de Ingeniería Química

Quito, 20 de diciembre de año

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Diseño y evaluación de una planta para la producción de una formulación  
edulcorante con fruta milagrosa como aditivo modificador de sabor**

**Aseel Ahmad Shayeb Shayeb**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Juan Diego Fonseca, PhD.**

**Andrea Carolina Landázuri Flores, PhD.**

Quito, 20 de diciembre de año

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Aseel Ahmad Shayeb Shayeb

Código: 00137638

Cédula de identidad: 1727059428

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de año

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Los edulcorantes han contribuido a gran escala la reducción del consumo de azúcar en las personas y consecuentemente han ayudado a disminuir enfermedades de personas que tienen diabetes, así como mejorar la pérdida de peso. Adicionalmente, a los edulcorantes, existen diferentes estrategias para reducir el consumo de azúcar como la incorporación de productos aditivos. En el presente trabajo se plantea, específicamente, la utilización de fruta milagrosa como un aditivo modificador de sabor. La formulación comprende de una pastilla comprimida con polvo modificador de sabor natural y un polvo con estevia, un porcentaje mínimo de sacarosa y cristales de limón deshidratado. Se establecieron diferentes formulaciones para el diseño de la planta; por ende, se realizaron balances de materia y energía preliminares a través de programas de simulación con el fin de analizar las tecnologías disponibles para el desarrollo del producto y comprobar su factibilidad económica. Finalmente, se presentó el diseño de una planta de manufactura donde se tuvo el edulcorante propuesto y así contribuir a mejorar el estándar de salud pública.

**Palabras claves:** Miraculina, *Synsapelum dulcificum*, edulcorante

## ABSTRACT

Sweeteners have contributed on a large scale to reduce sugar consumption and consequently have helped reduce diseases in people with diabetes, and improve weight loss. In addition to sweeteners, there are different strategies to reduce sugar consumption, such as the incorporation of additive product. In this project, the use of miracle fruit as a flavor modifying additive is specially proposed. The formulation is base of a compressed tablet of natural flavor modifier powder and a powder that contains stevia powder, a small percentage of sucrose and dehydrated lemon crystals is proposed. Different scenarios that are differentiated by possible formulations of the product are considered in the design of the plant. Thus, preliminary material and energy balances will be carried out together with simulation programs to assist in the technical analysis and verify the process's economic feasibility. Finally, a manufacturing plant will be designed to produce the proposed sweetener, and as a result the public health standard will be improved.

**Key words:** Miraculin, *Synsapelum dulcificum*, sweetener

## TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1. Consumo de azúcar en el Ecuador y problemática relacionada .....	12
1.2. Fruta milagrosa como modificador de sabor .....	12
1.3. Justificación .....	13
1.4. Planteamiento de Proyecto .....	13
1.5. Resultados esperados .....	14
2. BASE DEL DISEÑO .....	16
2.1. Descripción de producto .....	16
2.2. Descripción de materias primas .....	17
2.3. Selección del proceso conceptual .....	20
3. OBJETIVOS ESPECIFICOS 1 .....	27
3.1. Introducción .....	27
3.2. Desarrollo .....	27
4. OBJETIVOS ESPECIFICOS 2 .....	31
4.1. Introducción .....	31
4.2. Desarrollo .....	31
5. OBJETIVO ESPECIFICO 3 .....	39
5.1. Introducción .....	39
5.2. Desarrollo .....	39
CONCLUSIÓN .....	43

AGRADECIMIENTOS .....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	46
ANEXO A: Calculo de humedad .....	51
ANEXO B: Distancias de localidad .....	52
ANEXO C: Balance de masa del proceso .....	53
ANEXO D: Reporte generado por software de simulación para balances de energía.....	69
ANEXO E: Tabla Excel parte económica (simulación).....	73
ANEXO F: Componentes finales de cada corriente en la simulación .....	79
ANEXO G: Proceso de simulación.....	83



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Productos nacionales (opción) .....	19
Tabla 2. Productos internacionales (opción) .....	19
Tabla 3. Formulaciones del producto .....	27
Tabla 4. Requerimientos de Materia Primas .....	28
Tabla 5. Capacidad de la Planta .....	29
Tabla 6. Bases y Criterios de diseño .....	31
Tabla 7. Balances Preliminares (Formulación 1) .....	34
Tabla 8. Balances Preliminares (Formulación 2) .....	34
Tabla 9. Balances Preliminares (Formulación 3) .....	34
Tabla 10. Bases de la Simulación en Super Pro Designer .....	35
Tabla 11. Dimensiones de equipos de la simulación .....	36
Tabla 12. Lista de equipos.....	38
Tabla 13. Costos de equipos mayores .....	39
Tabla 14. Estimación de costos de la planta.....	40
Tabla 15. Costo de producción totales por año .....	41
Tabla 16. Evaluación económica .....	42
Tabla 17. Distancias de localización .....	52
Tabla 18. Balance de energía usando la simulación.....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Baya de <i>Synsepalum dulcificum</i> externa e interna (Ecuaforestar, 2020). .....	17
Figura 2. Proceso de obtención de comprimidos de la fruta prohibida ( <i>Synsepalum dulcificum</i> Daniell).....	22
Figura 3. Proceso de obtención de zumo de limón deshidratado .....	24
Figura 4. Proceso de obtención de estevia ( <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni) en polvo .....	26
Figura 5. Diagrama de proceso hoja estevia en polvo.....	53
Figura 6. Diagrama de proceso Fruta milagrosa .....	54
Figura 7. Diagrama de proceso de polvo de limón .....	54
Figura 8. Balance de masa extracción acuosa .....	55
Figura 9. Balance de masa microfiltración.....	57
Figura 10. Balance de masa ultrafiltración.....	59
Figura 11. Balance de masa nanofiltración .....	61
Figura 12. Balance de masa evaporación/cristalizador .....	62
Figura 13. Balance de masa de secador por aspersion .....	63
Figura 14. Balance de masa del despulpador .....	64
Figura 15. Balance de masa del liofilizador .....	65
Figura 16. Balance de masa del mezclado .....	65
Figura 17. Balance de masa del secador .....	66
Figura 18. Balance de masa del despulpador del proceso de limón.....	67
Figura 19. Balance de masa del secado por atomización.....	67
Figura 20. Balance de masa del mezclador final.....	68
Figura 21. Inversión de capital formulación 1 .....	73
Figura 22. Costo total anual de producción formulación 1 .....	74
Figura 23. Inversión de capital formulación 2 .....	75

Figura 24. Costo total anual de producción formulación 2 .....	76
Figura 25. Inversión de capital formulación 3 .....	77
Figura 26. Costo total anual de producción formulación 3 .....	78
Figura 27. Componente producto final polvo de estevia .....	79
Figura 28. Componentes producto final polvo cítrico.....	80
Figura 29. Componentes finales del polvo comprimido fruta milagrosa.....	81
Figura 30. Componentes finales del edulcorante .....	82

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Consumo de azúcar en el Ecuador y problemática relacionada

En el Ecuador es común acompañar los alimentos cotidianos como: empanadas, galletas, bolones de verde, entre otros, con una bebida que contenga 2, 3 y hasta 4 cucharaditas de azúcar. A simple vista, eso no es grave, pero, ¿Qué pasa cuando esto se repite aproximadamente 10 veces al día? En el Ecuador se calculó que una persona promedio consume cerca de 61,3 kilos de azúcar por año. Adicionalmente, en el Ecuador el 81,5% de personas consumen bebidas azucaradas y el rango de mayor ingesta está entre 15 y 19 años, con 84% (ElTelégrafo, 2021). El alto consumo de azúcar en la actualidad representa un problema de salud pública ya que es un agente precursor de enfermedades crónicas tales como: desorden metabólico, diabetes, obesidad y en ciertas ocasiones en las personas se observa la aparición del cáncer y la ingesta excesiva de azúcares e hidratos de carbono (LATAM, 2016).

La fruta milagrosa también conocida como *Synsepalum dulcificum* se originó en África occidental. Esta es una baya roja pequeña de pulpa comestible y tiene gran valor nutricional ya que posee gran variedad de minerales, vitaminas y componentes fitoquímicos. Según la Comisión Europea, la cantidad de ingesta diaria es aproximadamente de 0,9 g/día, pero esto no representa ningún peligro nutricional para las personas (Turck et al., 2021). Lo importante de los componentes antioxidantes radica en el mantenimiento de la salud y la protección contra las enfermedades crónicas y el cáncer (FoodNewsLatam, 2016). Adicionalmente, aparte de su actividad antioxidante mejora la dulzura de los postres bajos en calorías sin aumentar la compensación de energía (Townes, 2019).

### 1.2. Fruta milagrosa como modificador de sabor

La fruta milagrosa representa un aditivo novedoso para su uso en alimentos, pues contiene una propiedad modificadora de sabor que es la miraculina, una glicoproteína que interactúa con los receptores de sabor dulce y aumenta su percepción en presencia de un ácido. (Demesyieux,

2020). Según el estudio de Tapia & Victor (2014), la fruta milagrosa sirve como un sustituto del azúcar en presencia de ácidos; por esta razón, se debe consumir antes de la bebida ácida. La miraculina crea un efecto de ilusión, que al esparcirse sobre la lengua bloquea el reconocimiento del sabor ácido y lo modifica por el dulce ya que sus moléculas se enlazan a los extremos de las papilas fungiformes cerca de este último sabor. Este efecto dura de 30 a 60 min (Tapia & Victor, 2014).

Por otro lado, los edulcorantes remplazan el azúcar y no contienen calorías; uno de los edulcorantes naturales más comunes es la estevia, que ayuda a prevenir la diabetes, el control de peso y la reducción de la presión arterial (Reyes & Herrera, 2014).

### **1.3. Justificación**

El crecimiento de la industria alimentaria en el Ecuador es hoy por hoy una necesidad para la economía nacional, especialmente aquella dirigida a la fabricación de alimentos y bebidas azucaradas. Actualmente, el mercado del azúcar y los edulcorantes utilizan la sacarosa que, por su alto consumo, deriva diversas patologías de salud como obesidad, diabetes y trastornos metabólicos. Mientras que, los edulcorantes alternos ocupan un lugar subordinado en el mercado de consumo (Qdhadmin, 2017). Por dicha razón, se plantea la presente investigación que busca emplear el polvo liofilizado de la pulpa de la fruta milagrosa *Synsepalum dulcificum* como complemento en la formulación de los edulcorantes comerciales existentes. Esto sería de gran ayuda como una alternativa para la reducción del consumo de azúcar sin menospreciar su la calidad; al mismo tiempo, disminuye la cantidad de azúcar en sangre y otros beneficios de salud en contraste con el uso de otros edulcorantes. Se analizaron las tecnologías disponibles para su obtención y se comprobó la factibilidad económica.

### **1.4. Planteamiento de Proyecto**

Se planteó la formulación de un modificador de sabor que contenga el polvo liofilizado de pulpa de fruta milagrosa que reduce los niveles de glucosa en sangre y no contiene efectos

secundarios adversos. Además, se planteó la formulación de un polvo edulcorante; donde se utilizaron algunos componentes: cristales de limón deshidratado debido a que la fruta milagrosa potencia el efecto en bebidas con carácter cítrico; la estevia porque es el edulcorante natural más popular y es económico. La sacarosa que es usada en pequeñas cantidades para mejorar la estabilidad (Qdhadmin, 2017). Ese edulcorante se formuló con la finalidad de provocar el efecto de la miraculina (principio activo de la fruta milagrosa).

## **Objetivos**

**Objetivo general:** Diseñar una planta para la producción de un edulcorante cítrico con fruta milagrosa como aditivo modificador de sabor.

### **Objetivos específicos:**

- Establecer las bases y criterios de diseño de la planta de manufactura.
- Diseñar los equipos de proceso asociados a la planta.
- Evaluar la factibilidad económica de la planta.

## **1.5.Resultados esperados**

Este proyecto busca diseñar y evaluar una planta de producción de edulcorante con la fruta milagrosa como modificador de sabor; para brindar una solución al excesivo consumo de azúcares y de otros edulcorantes sintéticos. Se espera formular un producto a base de estevia y cristales de limón deshidratado combinados con la acción de un comprimido liofilizado de la fruta milagrosa *Synsepalum dulcificum*. Con la culminación de este proyecto se busca conocer la factibilidad y rentabilidad de construir una planta para la manufactura de este producto. Sin embargo, el diseño del producto en su mayor parte es de estudio conceptual y bibliográfico. Por medidas de seguridad y restricciones de COVID-19, actualmente no es posible realizar las pruebas sensoriales en el laboratorio ya que eso involucra un diseño experimental que incluye

tipo de jueces, número de participantes (depende del tipo de jueces y tipo de prueba), cantidad de muestra, recipiente, temperatura, etc.

## **2. BASE DEL DISEÑO**

### **2.1.Descripción de producto**

Un edulcorante alternativo, con propiedades beneficiosas para el organismo y a nivel organoléptico es una combinación que muchos edulcorantes que existen en el mercado no poseen. La formulación que se pretende realizar es un producto a base de sacarosa también conocida como azúcar convencional, polvo de limón deshidratado, estevia en polvo y el polvo liofilizado de la fruta milagrosa. La intención de este producto no es crear un azúcar saludable, es crear un azúcar sustituto que tenga las mismas propiedades del azúcar normal pero este producto va a reducir el consumo y la azúcar en la sangre ya que al usar esta fruta milagrosa, esta se la conoce que tiene un amplio porcentaje de valores nutricionales y fotoquímicas. Este producto va a tener muchas propiedades protectoras, ya que aumenta los nutrientes en nuestro cuerpo y reduce el azúcar en la sangre.

El producto se comercializará en presentación convencional de sobre de 1g cada uno contiene estevia en polvo (edulcorante), polvo de limón deshidratado (potencial acidificante) y la sacarosa como vehículo. En el otro caso se producirá pastillas del polvo liofilizado de la fruta milagrosa porque se debe consumir antes de cualquier producto para que se dé el efecto endulzante y este será administrada en dos etapas. Cada sobre tendrá una cantidad máxima del polvo modificador entre 75 y 150 mg.

Según estudios cuando se quiera consumir un producto con esta fruta milagrosa esta al tener una cantidad de glicoproteínas, se halló que posee propiedades alergénicas similares a la de la soya, maní, durazno y látex. Por ende, si alguien padece de dichas alergias es muy probable que también lo sea de este producto. Según la Comisión de Europa, la cantidad de ingesta diaria de 0,9 g/días no representa ningún peligro nutricional para las personas (Turck et al., 2021).



## 2.2.Descripción de materias primas

*Synsepalum dulcificum* también conocida como fruta milagrosa es una fruta originaria de África occidental, esta fruta fue descubierta en el año 1725 por el científico francés Reynaud Des Marchais también conocido como Chevalier Des Marchais y lo consumían para mejorar el sabor en los alimentos. La baya es roja pequeña de pulpa comestible, cascara brillante y de forma elíptica. Adicionalmente, se la reconoce principalmente por tener la capacidad de transformar un sabor ácido o amargo en un sabor dulce también se la conoce como la “Baya milagrosa”, “milagro de fruta”, “baya dulce” y “baya Miraculosa”. Se encuentra identificada en la familia Sapotaceae que se caracteriza por ser plantas productoras de látex, aceites y frutos. La fruta tiene un diámetro aproximadamente de 2 cm de largo por 1 cm de ancho y esta fruta no es tan sabrosa y solo su semilla comprende la mayor parte de volumen de la fruta y está rodeada por una pulpa blanca (Demesyieux et al., 2020).



**Figura 1.** Baya de *Synsepalum dulcificum* externa e interna (Ecuaforestar, 2020).




Para el cultivo esta materia prima se desarrolla en clima cálido húmedo con suelos ricos que no tengan la retención de agua y es por eso que necesita un sistema de drenaje. El lugar de plantación debe recibir de 6 a 8 horas de luz solar cada día y la separación de árbol debe ser al menos 4,6 m. De igual manera, es una planta de crecimiento lento que alcanza una altura de 4 m, se inicia a producir su fruto después de 4 a 5 años con una altura aproximada de 6 metros. En el Ecuador esta fruta se encuentra en las zonas tropicales húmedas, se distribuye pocas cantidades en las zonas costa o litoral. En la provincia de Esmeraldas, Cantón Quinindé, Parroquia La Unión, Recinto El Limón, en el Km. 111 de la vía Esmeraldas - Santo Domingo se encuentra “Ecuaforestar”, propiedad del Ingeniero Diego Tapia. Esta es una empresa dedicada al comercio de plantas locales y exóticas, donde se encuentra el cultivo más grande de fruta milagrosa en Ecuador y esta tiene un tamaño de tres hectáreas y cuenta con cerca de 20.000 plantas en vivero y 6009 en producción, de donde es vendida en todas las regiones del Ecuador (Ecuaforestar, 2017).

Por otro lado, el limón es una fruta dominante que se encuentra en América Latina de género Citrus. Esta es cultivada comercialmente en más de 80 países y la sustancia presente es el ácido cítrico. Se requiere 35.000 toneladas de limón fresco para obtener 1 tonelada de ácido cítrico. El ácido cítrico tiene muchos beneficios como aliviar las enfermedades respiratorias y ayuda a reforzar las defensas. Adicionalmente, la fruta es de forma esférica, pequeña y la concha delgada pero siempre va haber diferentes tipos de limones. La mejor época para cultivos sin riesgos es en la temporada de lluvia, en horas más frescas del día y la preparación del suelo dependerá que sea lo más plano posible por otro lado el limón se adapta a suelos pobres y hasta suelos pedregosos (Agrotendencia, 2019).


La hoja de estevia viene de la familia de girasoles, una de las propiedades que tiene esta hoja es de poder edulcorante y tiene propiedades medicinales. Esta tiene en su contenido esteviósido por la cual es una sustancia en la que hace unas diez veces más dulces que el azúcar.


La planta lo que necesita es tener un clima cálido, pero debe estar pendiente de los riesgos y que sea estable (Alimentos, 2019).

**Tabla 1.** Productos nacionales (opción)

Marca	País de origen	Tipo de producto	Costo	Referencias
Ecuaforestar 	Ecuador	Bayas frescas, (fruta milagrosa)	1 kg en \$350 1 ton en \$350.000	(ECUAFORESTAR, 2021)
PRODAMAR 	Ecuador	Fruta limón	1 kg en \$0,50 1ton en \$500	(PRODAMAR, 2021)
Azúcar Valdez 	Ecuador	Azúcar convencional	1 kg en \$0,79 Quintal X 50 en \$35,50 (\$0,71)	(CONTAIER, 2021)

**Tabla 2.** Productos internacionales (opción)

Marca	País de origen	Tipo de producto	Costo	Referencias
Tongxiang Tiankang Trade Co., Ltd. 	China	Hoja stevia seca	1 kg \$18	(Alibaba, 2021)

<p>Ningxia Baishi Hengxing Food Technology Co., Ltd</p> 	China	Baya seca (fruta milagrosa)	1 kg \$11	(Alibaba,2021)
---	-------	-----------------------------	-----------	----------------

**Descripción.** Las tablas establecidas anteriormente describen las posibles opciones de producto que se utilizara para el proyecto y para sacar nuestro producto final. Los productos son nacionales e internacionales.

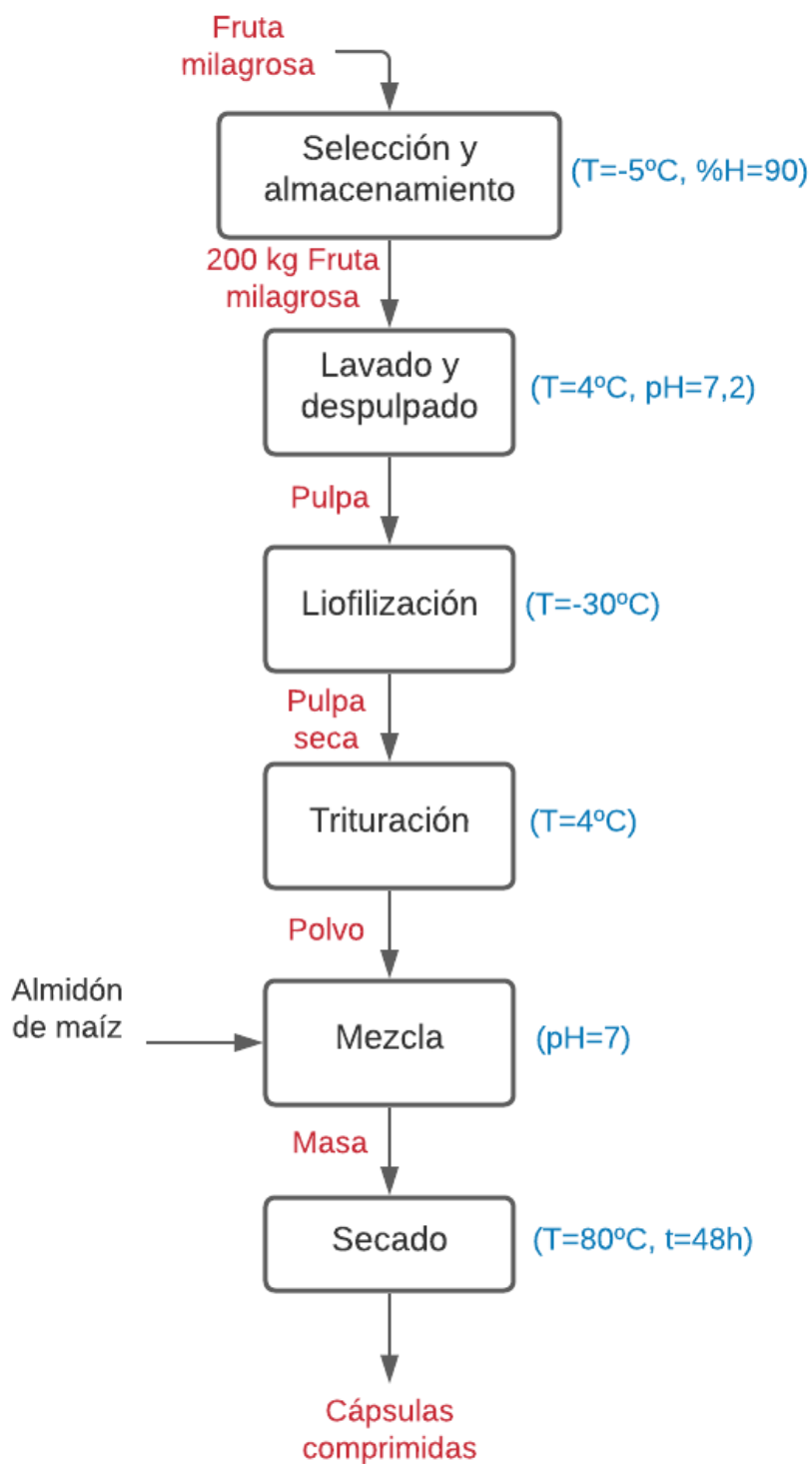
### 2.3. Selección del proceso conceptual

#### Proceso de liofilización

En este proceso se obtiene un producto no calórico en tableta comprimida para satisfacer a pacientes diabéticos, pacientes con obesidad y la prevención de otras enfermedades de salud que no permiten el consumo de azúcares tradicionales como la sacarosa (López Pasquel & Hallo Alvear, 2016). El proceso se detalla a continuación.

1. Almacenamiento y selección: las frutas milagrosas que se almacenan son maduras con semilla, cosechadas en diferentes épocas del año, temperatura a -5 °C, porcentaje de humedad de alrededor del 90 %.
2. Lavado y despulpado: se comprime 250 g de fruta en la máquina despulpadora. Condiciones: temperatura de 4°C; pH de 7,2 y tiempo 3 min.
3. Liofilización: para obtener un producto seco. Condiciones: temperatura de -30 °C y presión de 133 MPa, tiempo de 48 horas.
4. Trituración: con un molino eléctrico para obtener un polvo fino.

5. Mezcla: se realiza una mezcla con el polvo obtenido y solución almidón de maíz para compactar el producto; se agrega almidón en relación polvo fruta milagrosa-almidón 3:1.
6. Secado: se coloca la mezcla en moldes de comprimidos y se lleva a una estufa.  
Condiciones: 24h, temperatura de 80°C.

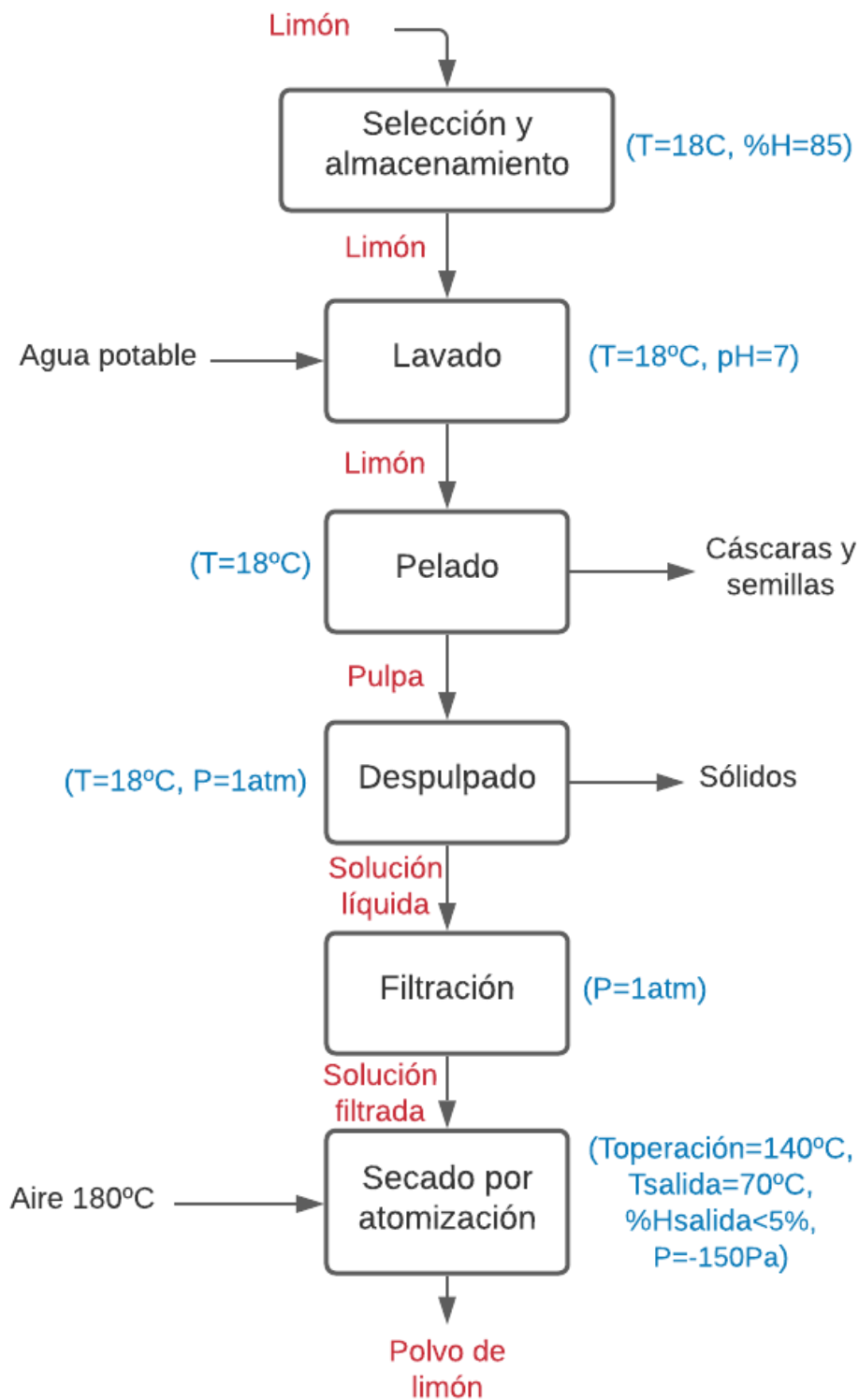


**Figura 2.** Proceso de obtención de comprimidos de la fruta prohibida (*Synsepalum dulcificum Daniell*)

### **Proceso de obtención de zumo de limón deshidratado**

El limón se utiliza como ingrediente funcional para la preparación de alimentos. Contiene antioxidantes, micronutrientes, vitaminas, minerales, entre otros, que no se pueden almacenar por tiempos prolongados debido a la cantidad excesiva de agua. Por lo que se puede deshidratar ara obtener sus beneficios por mayor tiempo (Estrada, Restrepo, Saumett, & Pérez, 2018). El proceso de deshidratación se detalla a continuación.

1. Selección y almacenamiento: la selección puede ser automática para eliminar limones dañados con colores oscuros; el almacenamiento es a temperatura ambiente. Condiciones: %Humedad del limón es 85%.
2. Lavado: con agua potable. Condiciones: temperatura ambiente.
3. Pelado: para eliminar las cáscaras y semillas. Condiciones: temperatura ambiente.
4. Despulpado: obtención de la solución líquida que contiene las propiedades del limón. Condiciones: temperatura ambiente, presión atmosférica.
5. Filtración: para eliminar sólidos y obtener la solución líquida.
6. Secado por atomización: entra al equipo la solución líquida para obtener polvo de zumo de limón. Condiciones: entrada de aire en contracorriente, temperatura de operación es 140°C, temperatura de salida 70°C, %Humedad del producto < 5%, Presión de -150Pa (Jhomar, Estefania, & Araujo, 2019).



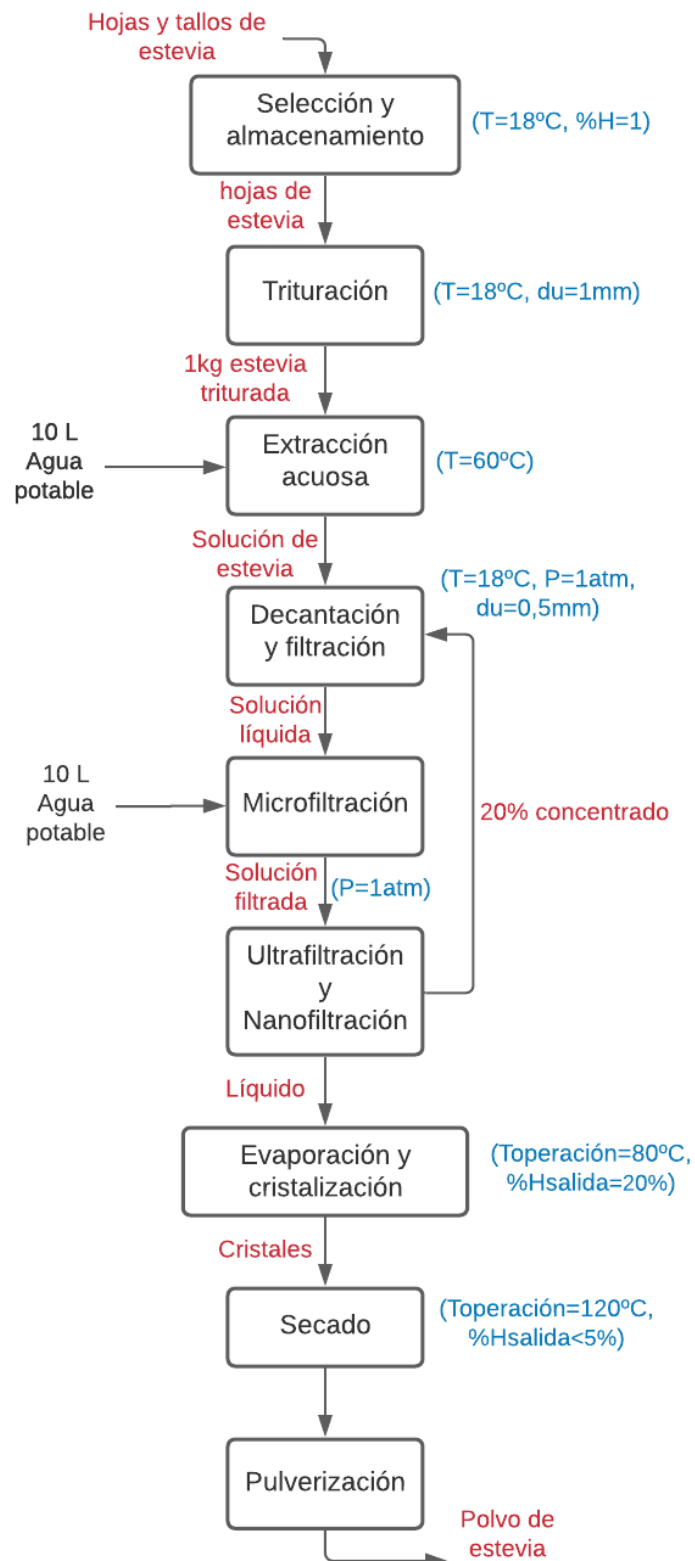
**Figura 3.** Proceso de obtención de zumo de limón deshidratado



### **Proceso de obtención de estevia en polvo**

Las hojas de la estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) contienen un glúcido di-terpénico llamado esteviósido. Este compuesto es un polvo blanco de sabor azucarado con poder edulcorante no calórico (García, Porlles, Ráez, & Romero, 2009). Para la obtención de este compuesto como reemplazo del azúcar común se presenta el proceso a continuación (Eduardo & Ramón, 2015).

1. Selección y almacenamiento: se obtienen hojas y tallos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) con un % Humedad entre 8-10%.
2. Trituración: se reduce el tamaño de partícula de la materia prima hasta 1 mm.
3. Extracción acuosa: por cada kilogramo de estevia se coloca 10 L de agua para formar una solución. Condiciones: temperatura de operación: 60°C, tiempo: 4 h.
4. Decantación y Filtración: se deja reposar el extracto para eliminar los sólidos y luego filtrar en tamaño de partícula 0,5 mm. Condiciones: tiempo de 1 h.
5. Microfiltración: se remueven pigmentos. Condiciones: presión 45 psi; tiempo: 1h.
6. Ultrafiltración: membranas de ultrafiltración de 1000 dalton. Se obtiene 20% concentrado de stevia y 80% líquido. Condiciones: presión de 70 psi y tiempo de 2 h.
7. Nanofiltración: 150 dalton mejorar la calidad del producto. Condiciones: presión de 140 psi.
8. Evaporación y cristalización: se evapora el producto filtrado y se cristaliza. Condiciones: 80°C, tiempo 24 h y los cristales contienen 20% de humedad.
9. Secado: se obtiene un porcentaje de humedad de 2%. Se utiliza aire en contracorriente. Condiciones: temperatura de 120°C, tiempo 30 min.
10. Pulverización: molienda de nanopartículas de estevia.



**Figura 4.** Proceso de obtención de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en polvo

### 3. OBJETIVOS ESPECIFICOS 1

#### Establecer las bases y criterios de diseño de la planta de manufactura

##### 3.1.Introducción

Las bases y criterios de diseño corresponden a los principios que rigen el diseño, las condiciones operacionales y los rendimientos del proceso. Los aspectos que abarcan esta fase corresponde: determinar la formulación del producto, estimar la materia prima disponible en el país para la manufactura del producto, establecer la capacidad y la localización de la planta, seleccionar la tecnología más adecuada para el proceso y establecer las condiciones de operación de cada sección del proceso.

##### 3.2.Desarrollo

###### a) Determinar la formulación del producto.

Partiendo de una revisión bibliográfica y documental se determinaron las cantidades requeridas de polvo liofilizado de fruta milagrosa y estevia, que corresponden a los principios activos que contiene el edulcorante. De acuerdo a una evaluación preliminar de mercado se determinó que la sacarosa formaba parte de la formulación en bajas proporciones lo cual sugiere su uso como vehículo y como potenciador de sabor se agregara el polvo deshidratado de limón para potenciar el efecto endulzante de la fruta milagrosa.

**Tabla 3.** Formulaciones del producto

No.	Formulacion	Formulacion por capsula (g)		
		1	2	3
1	Polvo liofilizado de fruta milagroso	0,075	0,1	0,15
2	Polvo deshidratado de limon	0,24	0,358125	0,475
	Edulcorante (Stevia)	0,04	0,045	0,05
	Sacarosa	0,72	0,596875	0,475

Según la Comisión de Europa, la cantidad de ingesta de la fruta milagrosa diaria de 0,9 g/días no representa ningún peligro nutricional para las personas (Turck et al., 2021). Pero según personas que consumen diariamente esta fruta no tiene un límite. Sin embargo, las

formulaciones son una estimación que se debe ingerir por sobre y por persona como máximo para no perjudicar cualquier daño de salud se podría utilizar unos 12 sobres aproximadamente. En el caso del dato del edulcorante se estimó una cantidad entre 0,04 a 0,05 g por tableta por la cual para 1 tableta de Stevia da por igual a 1 cucharadita de 4 g de azúcar (D'Stevia, 2021). Adicionalmente, como no se realizó el estudio organoléptico se hizo una prueba aleatoria para tener como total 1 g.

#### **b) Estimar la materia prima disponible en el país para la manufactura del producto**

En función a los balances preliminares de materia realizado partiendo de los rendimientos reportados en la bibliografía se determinó las cantidades de las materias primas requeridas para el proceso de manufactura, en tal sentido los requerimientos al año para la capacidad determinada son:

**Tabla 4.** Requerimientos de Materia Primas

<b>Requerimientos de Materias Primas</b>	
<b>Materia prima</b>	<b>Ton/año</b>
Fruta Milagrosa	15
Limón	122
Hojas de Stevia (10% humedad)	16,67
Sacarosa	21,6

Los rendimientos fueron tomados de: Fruta milagrosa rendimiento de 15% (Cevallos & Andrade, 2006), la hoja de estevia rendimiento de 9 % (Eduardo & Ramón, 2015) y el limón rendimiento de 11,6 % (Anexo A).

#### **c) Establecer la Capacidad y localización de la Planta**

Se procedió a determinar la capacidad requerida de producción partiendo de un análisis de un mercado ecuatoriano respecto al consumo de sacarosa (USDA, 2021) y partiendo del estudio realizado por (Lobelo, 2015), se tomó como criterio abarcar un 10% de la demanda efectiva de edulcorantes alternos, que según las estimaciones hechas por Lobelo corresponde al 0,25% del

consumo total. Esto representa un total de 0.025% del total de la demanda de sacarosa en el Ecuador. Los resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Capacidad de la Planta

<b>Capacidad de la Planta</b>			
Demanda Annual Sacarosa (Ton)	540000		
Equivalencia respecto al edulcorante	108000		100% demanda
Capacidad estimada(Ton/año)	27		0.025% demanda
<b>Capacidad de diseno (Ton/año)</b>	<b>30</b>		
Cajas de 100 sobres (por año)	300000		

Para establecer la localización de la planta, se tomó como criterio principal la cercanía a las fuentes de materias primas y también las cercanías a los principales centros de comercialización del producto, para lo cual por las relativas cercanías a ambos criterios centran su convergencia en la localidad de Santo Domingo de los Tsachilas. Mirara Anexo B

**d) Seleccionar la tecnología más adecuada para el proceso**

Para los procesos descritos a continuación se tomaron en cuenta las siguientes tecnologías:

- Proceso de extracción de estevia en polvo

Se utilizó una extracción acuosa, 3 etapas de filtración que son: microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración, que después paso a un proceso de evaporación/cristalización y finalizado con un secado para sacar el polvo (Eduardo & Ramón, 2015).

- Proceso de polvo deshidratado de limón

Se utilizó el limón donde entra a un lavado que llega a un despulpado, la pulpa pasa por una filtración donde esta solución filtrada entra a un secado de atomización por la cual sale nuestro Polvo (Estrada, Restrepo, Saumett, & Pérez, 2018).

- Proceso de liofilización de la fruta milagrosa

Se utilizó una tecnología que consiste en un lavado y despulpado donde la pulpa se liofiliza después se va a una trituration donde se va a un mezclador y finaliza con un secado para obtener el polvo (López Pasquel & Hallo Alvear, 2016).

**e) Establecer las condiciones de operación de cada sección del proceso**

- Condiciones del proceso de extracción de estevia en polvo

En el caso del proceso de la estevia las condiciones son las siguientes: para el caso de la extracción acuosa se da en un tiempo de 65 min con temperatura de 60 °C por la cual sigue a una bomba centrífuga de una presión de 70 psi en un tiempo de 1 min, este paso por la microfiltración por un tiempo de 13 min, después pasa por la ultrafiltración por 26 min, nanofiltración por 26 min y por el evaporador en la condición de 80 °C y 313 min y finaliza con un secado por un tiempo de 6 min a una temperatura de 12° °C (Eduardo & Ramón, 2015).

- Condiciones del proceso de polvo deshidratado de limón

En el caso del proceso de polvo de limón las condiciones son las siguientes: el limón entra a un lavado y después entra a un extractor de pulpa por 113 min y este zumo de limón entra a un secado por atomización por un tiempo de 338 min a una temperatura de 180 °C y tenemos el producto final el polvo (Estrada, Restrepo, Saumett, & Pérez, 2018).

- Condiciones del proceso de liofilización de la fruta milagrosa

En el caso del proceso de liofilización de la fruta milagrosa las condiciones son las siguientes: la fruta entra a un extractor de pulpa por 2 min a una temperatura de 4 °C, esta pulpa entra a la liofilización por un tiempo de 299 min a una temperatura de -30 °C y este polvo liofilizado entra a un mezclador por 2 min donde finaliza con el secado por un tiempo de 149 min a una temperatura de 80 °C y se obtiene el polvo (López Pasquel & Hallo Alvear, 2016).

## 4. OBJETIVOS ESPECIFICOS 2

### Diseñar los equipos de proceso asociados a la planta

#### 4.1.Introducción

Para evaluar la factibilidad de proyecto es necesario realizar balances de masa y energía en conjunto con un dimensionamiento preliminar de las unidades de procesos que componen el proceso de manufactura. En este sentido, se abarcaron los siguientes ítems para el desarrollo de esta fase: establecimientos de bases y criterios de diseño, balances de materia preliminares, simulación de la planta bajo el entorno de la simulación SuperPro Disgner v10.0 y estimaciones de las dimensiones de los equipos asociados.

#### 4.2.Desarrollo

##### a) Revisión de bases y criterios

Para llevar a cabo un diseño adecuado del proceso de manufactura del edulcorante, es requerido primero establecer las premisas que regirán el dimensionamiento de los equipos de proceso y las etapas sucesivas requeridas para poder efectuar un adecuado análisis de factibilidad de la actividad comercial. En este sentido, en la siguiente tabla se presentan las principales premisas que corresponden a las bases y criterios de diseño de la planta en estudio.

**Tabla 6.** Bases y Criterios de diseño

<b>Bases y Criterios de diseño</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor y Unidad</b>
Capacidad de Procesamiento	30 TM/año
Presentación del Producto	Caja de 100 sobres de edulcorante (1 g) + 100 tabletas masticables de fruta milagrosa (75 mg)
Localización de la Planta	<b>Ciudad:</b> Santo Domingo <b>Provincia:</b> Santo Domingo de los Tsáchilas
Factor de Servicio	La planta operará 260 días anual (aprox.), 8 horas diarias (2880 horas anuales)
Tipo de Operación	Por lotes (1 jornada por lote)

Bases y Criterios de diseño	
Parámetro	Valor y Unidad
Características de la Materia Prima	<ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Fruta Milagrosa</b>            Se procesarán las bayas secas (13% humedad) mediante un proceso de hidratación previa para restituir la humedad de la baya fresca (60%).   <b>Composición simplificada (% wt)</b>            Agua 13%            Ceniza 9%            Carbohidratos 41%            Grasas 7%            Proteínas 17%            Sólidos 13%            (Shayeb &amp; Viveros, 2021)         </li> <li> <b>Hojas de Stevia deshidratada</b>            Se procesarán hojas secas (8% humedad) para la extracción y refinación de estevioles (glicósido).   <b>Composición simplificada (% wt)</b>            Agua 8%            Ceniza 9%            Carbohidratos 19%            Grasas 4%            Proteínas 26%            Sólidos 22%            Estevioles 12% (Marcinek, 2015)         </li> <li> <b>Limón fresco</b>            Se procesarán limones frescos provenientes de la Provincia de Pichincha.   <b>Composición simplificada (% wt)</b>            Agua 31%            Carbohidratos 5%            Grasas 4%            Ácido cítrico 2%            (Aldadul, 2016)         </li> </ul>
Rendimientos del proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li> <b>Fruta Milagrosa</b>            El rendimiento esperado es de 15% respecto a la baya fresca (Cevallos &amp; Andrade, 2006)         </li> <li> <b>Hojas de Stevia deshidratada</b> </li> </ul>



	<p>El rendimiento esperado es de 9-10% respecto a la hoja seca (Eduardo &amp; Ramón, 2015)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Limón fresco</b> El rendimiento esperado es de 11,6% respecto al limón fresco (Anexo A)</li> </ul>
Rentabilidad esperada	<p>Tasa Interna de Retorno mínima: 12%  Tiempo de evaluación: 5 años  Tasa de retorno deseable: &gt;2*TIR mínima</p>
Formulaciones estudiadas	<p><b>Formulación 1:</b></p> <p>Tableta de fruta Milagrosa:  75 mg polvo liofilizado + 225 mg de almidón</p> <p>Sobre de 1 gramo de edulcorante:  Cada gramo contiene  0,24 g de polvo de limón deshidratado  0,04 g de estevia en polvo  0,72 g de sacarosa</p> <p><b>Formulación 2:</b></p> <p>Tableta de fruta Milagrosa:  100 mg polvo liofilizado + 300 mg de almidón</p> <p>Sobre de 1 gramo de edulcorante:  Cada gramo contiene  0,358 g de polvo de limón deshidratado  0,045 g de estevia en polvo  0,596 g de sacarosa</p> <p><b>Formulación 3:</b></p> <p>Tableta de fruta Milagrosa:  150 mg polvo liofilizado + 450 mg de almidón</p> <p>Sobre de 1 gramo de edulcorante:  Cada gramo contiene  0,475 g de polvo de limón deshidratado  0,050 g de estevia en polvo  0,475 g de sacarosa</p>

## b) Balance de Materia Preliminar

En función de los rendimientos esperados para cada materia prima y de los requerimientos de la misma en función de la capacidad determinada, para cada formulación propuesta se plantean los siguientes balances preliminares:

**Tabla 7.** Balances Preliminares (Formulación 1)

<b>Balances Preliminares (Formulación 1)</b>		
<b>Materia prima</b>	<b>Kg/año</b>	<b>Kg/lote</b>
Fruta Milagrosa seca (13% humedad)	6780,0	54,2
Agua hidratación fruta	8220,0	222,9
Limón	61749,6	43,3
Hojas de Stevia (10% humedad)	13333,3	78,0
Sacarosa (mezclado)	21600,0	54,2

**Tabla 8.** Balances Preliminares (Formulación 2)

<b>Balances Preliminares (Formulación 2)</b>		
<b>Materia prima</b>	<b>Kg/año</b>	<b>Kg/lote</b>
Fruta Milagrosa (13% humedad)	9040,0	72,2
Agua hidratación fruta	10960,1	332,6
Limón	92141,9	48,7
Hojas de Stevia (10% humedad)	15000,0	64,6
Sacarosa (mezclado)	17906,3	72,2

**Tabla 9.** Balances Preliminares (Formulación 3)

<b>Balances Preliminares (Formulación 3)</b>		
<b>Materia prima</b>	<b>Kg/año</b>	<b>Kg/lote</b>
Fruta Milagrosa (13% humedad)	13560,0	108,3
Agua hidratación fruta	16440,1	441,2
Limón	122212,7	54,2
Hojas de Stevia (10% humedad)	16666,7	51,4
Sacarosa (mezclado)	14250,0	108,3

Los balances finales fueron obtenidos mediante el software SuperPro Designer y se detallan en el Anexo C.

c) **Bases y montaje de la Simulación en SuperPro Designer**

Las bases para la realización de la Simulación en software SuperPro Designer, se muestran a continuación en la tabla 10,

**Tabla 10.** Bases de la Simulación en Super Pro Designer

<b>Bases de la Simulación en SuperPro Designer</b>		
<b>Sección</b>	<b>Unidad de Proceso</b>	<b>Valor y Unidad</b>
<b>Stevia</b>	Extractor-Filtrado (P-2/SMSX-101)	Temperatura: 60 °C Calentamiento: Vapor de baja Tiempo de residencia extractor: 52 min Tiempo de residencia separador: 13 min Presión de Operación: 1,013 bar
	Bomba de filtrado (P-3/SMSX-101)	Cambio de presión: 70 Psi Eficiencia: 70% Tiempo de bombeo: 1 min
	Microfiltración (P-1/MF-101)	Recuperación de Permeado: 80% Tiempo de operación: 13 min Coeficientes de rechazo: Estevioles (0,01%), Sólidos (99,9%)
	Ultrafiltración (P-4/UF-101)	Recuperación de Permeado: 80% Tiempo de operación: 26 min Coeficientes de rechazo: Estevioles Sólidos (99,9%)
	Ósmosis Inversa (P-5/RO-101)	Recuperación de Permeado: 80% Tiempo de operación: 26 min Coeficientes de rechazo: Estevioles (99,9%)
	Evaporador/Cristalizador (P-6/TFE-101)	Recuperación de Permeado: 80% Evaporación de agua: 50% Temperatura: 80 °C Presión: 1,013 bar Tiempo de operación: 313 min Calentamiento: Vapor de baja
	Spray Dryer (P-7/SDR-101)	Agente volátil: Agua Humedad final: 5% Temperatura de salida: 70 °C Presión: 1,013 bar Tiempo de operación: 7 min
<b>Fruta Milagrosa</b>	Extractor de pulpa (P-10/SP-101)	% Retención en Sólidos: 100% sólidos, 1% agua % sólidos suspendidos en la torta de filtrado: 90% Tiempo de proceso: 2 min
	Liofilizador (P-11/FDR-101)	Agente volátil: Agua Agente volátil: 299 min Temperatura: -30 °C

		Humedad final: 5%
	Spray Dryer (P-13/SDR-102)	Agente volátil: Agua % Evaporación: 61,22 Temperatura: 70 °C Temperatura de salida: 70 °C Tiempo de operación: 151 min % Humedad final: 2%
<b>Limón</b>	Extractor de pulpa (P-12/SP-102)	% Retención en Sólidos: 100% sólidos % sólidos suspendidos en la torta de filtrado: 99% Tiempo de proceso: 113 min
	Spray Dryer (P-15 / SDR-103)	Agente volátil: Agua Humedad final: 5% Temperatura de salida: 70 °C Presión: 1,013 bar Tiempo de operación: 338 min
<b>Mezclado final</b>	Tanque mezclador (P-16/V-101)	Carga de azúcar: 5 min Transferencia de carga: 5 min Transferencia de carga: 5 min Agitación: 5 min Descarga: 5 min

#### d) Dimensionamiento de equipos de proceso principales

El dimensionamiento preliminar de equipos de proceso principales fue realizado bajo el entorno del software SuperPro Designer, siendo los resultados obtenidos los mostrados en las tablas a continuación:

**Tabla 11.** Dimensiones de equipos de la simulación

<b>Dimensiones de equipos de la simulación</b>	
Extractor-Filtrado (P-2/SMSX-101)	Numero de etapas: 4 Volumen del mezclador: 40.41 L Volumen del filtro: 10.10 L Capacidad: 46.62 L/h Material: SS316 acero inoxidable
Bomba Centrifuga (PM-101)	Potencia: 2.58 kW Material: SS316 acero inoxidable
Microfiltración (MF-101)	Material: SS316 acero inoxidable

	<p>Área de filtrado: 76.17 m<sup>2</sup></p> <p>Tamaño de cartucho: 1L</p>
<p>Ultrafiltración (UF-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Tamaño de cartucho: 1L</p> <p>Área de filtración: 30.47 m<sup>2</sup></p>
<p>Nanofiltración (RO-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Tamaño de cartucho: 1L</p> <p>Área de filtración: 24.39 m<sup>2</sup></p>
<p>Evaporador/Cristalizador (TFE-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Área de transferencia: 0.02 m<sup>2</sup></p>
<p>Secador (SDR-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Diámetro: 0.96 m</p> <p>Altura: 2.88 m</p> <p>Capacidad: 207.96 kg/h</p>
<p>Liofilizador (FDR-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Área de platos: 1.14 m<sup>2</sup></p>
<p>Extractor de pulpa (SP-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Capacidad: 1626 kg/h</p> <p>Tipo prensa tornillo</p>
<p>Extractor de Pulpa (SP-101)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Capacidad: 118.35 kg/h</p> <p>Tipo prensa tornillo</p>
<p>Secador (SDR-103)</p>	<p>Material: SS316 acero inoxidable</p> <p>Diámetro: 0.37 m</p> <p>Altura: 1.11 m</p> <p>Capacidad: 11.92 kg/h</p>
<p>Tanque de mezclado</p>	<p>Volumen: 76.67 L</p> <p>Altura: 0.96 m</p> <p>Presión: 1.52 bar</p>

(V-101)	Diámetro. 0.32 m Material: SS316 acero inoxidable Capacidad máxima 90%
---------	--

### e) Lista de equipos

La lista preliminar de equipos arrojada por el Simulador SuperPro Designar se muestran en la tabla 12.

**Tabla 12.** Lista de equipos

Nombre	Tipo	Unidad	Capacidad	Material de construcción
SMSX-101	Extractor filtrador	1	46,62 L/h	SS316
PM-101	Bomba centrifuga	1	2,58 kW	SS316
MF-101	Microfiltrador	1	76,17 m <sup>2</sup>	SS316
UF-101	Ultrafiltrador	1	30,48 m <sup>2</sup>	SS316
RO-101	Nanofiltrador	1	24,39 m <sup>2</sup>	SS316
TFE-101	Evaporador	1	0,02 m <sup>2</sup>	SS316
SDR-101	Secador	1	2079,60 L	SS316
MX-101	Mezclador	1	185,20 kg/h	CS
MX-102	Mezclador	1	407,63 kg/h	CS
SP-101	Extractor de pulpa	1	1626 kg/h	SS316
FDR-101	Liofilizador	1	31,62 kg	SS316
SDR-102	Secador	1	9,19 L	SS316
SP-102	Extractor de pulpa	1	118,35 kg/h	SS316
SDR-103	Secador	1	119,21 L	SS316
V-101	Tanque de mezclado	1	76,67 L	SS316
MX-103	Mezclador	1	75,58 kg/h	CS
MX-104	Mezclador	1	54,20 kg/h	CS

El diagrama de flujo del proceso puede detallarse en el Anexo G.

## 5. OBJETIVO ESPECIFICO 3

### Análisis de rentabilidad

#### 5.1.Introducción

Una vez desarrollados los cálculos preliminares del diseño del proceso, se determinaron los parámetros financieros asociados a la rentabilidad del proceso. Para tal efecto, se partió de la metodología desarrollada por (Peters, Timmerhaus, & West, 2003) la cual se basa en determinar los costos directos e indirectos y costos de capital de trabajo a partir del costo total de los equipos sin instalación, determinar los costos totales e producción anuales para determinar finalmente el precio obtención de ventas del producto.

#### 5.2.Desarrollo

##### a) Estimación de costos de equipos mayores

Los precios de equipos mayores fueron calculados mediante la interfaz de SuperPro Designer, obteniéndose los siguientes costos actualizados al año en curso:

**Tabla 13.** Costos de equipos mayores

Nombre	Tipo	Costo(\$/unidad)		
		Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
SMSX-101	Extractor filtrador	21000	21000	21000
PM-101	Bomba centrifuga	29000	30000	32000
MF-101	Microfiltrador	136000	188000	196000
UF-101	Ultrafiltrador	87000	91000	95000
RO-101	Nanofiltrador	13000	13000	14000
TFE-101	Evaporador	97000	97000	97000
SDR-101	Secador	144000	146000	148000
SP-101	Extractor de pulpa	65000	87000	120000
FDR-101	Liofilizador	279000	402000	580000
SDR-102	Secador	105000	105000	105000

SP-102	Extractor de pulpa	44000	44000	44000
SDR-103	Secador	105000	105000	105000
V-101	Tanque de mezclado	153000	153000	153000
	Costo Total	1278000	1482000	1710000

Se puede observar que para la formulación No. 1, el costo total de equipos sin instalación es de 1,278 MM USD, que corresponde al menor valor de las 3 formulaciones. El mayor corresponde a la formulación 3.

#### b) Estimación de costos de la planta

Partiendo de la metodología seleccionada, se procedió a determinar la inversión total de Capital para las tres formulaciones planteadas, para lo cual los resultados se muestran a continuación en la tabla 14,

**Tabla 14.** Estimación de costos de la planta

Costo Directo	Valor calculado \$millón		
	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Equipo comprado E'	1,598	1,8530	2,138
Entrega, fracción E'	0,1598	0,1853	0,214
Subtotal: equipo entregado	1,7578	2,0383	2,352
Instalación de equipos adquiridos	0,826166	0,9580	1,105
Instrumentación y controles (instalados)	0,632808	0,7338	0,847
Tuberías (instaladas)	1,195304	1,3860	1,599
Sistema eléctrico (instaladas)	0,193358	0,2242	0,259
Edificio (incluido los servicios)	0,316404	0,3669	0,423
Mejoras en el patio	0,17578	0,2038	0,235
Instalación de servicios (instaladas)	1,23046	1,4268	1,646
Costo directo total	6,32808	7,3379	8,466
Costo Indirecto			
Ingeniería y supervisión	0,580074	0,673	0,776
Gastos de construcción	0,720698	0,836	0,964



Gastos legales	0,070312	0,082	0,094
Honorarios de contratistas	0,386716	0,448	0,517
Contingencia	0,773432	0,897	1,035
Costos indirectos totales	2,531232	2,935	3,387
Inversión de capital fijo (FCI)	8,859312	10,273	11,853
Capital de trabajo (CT)	1,564442	1,814	2,093
<b>Inversión de capital total (ICT)</b>	<b>10,423754</b>	<b>12,087</b>	<b>13,946</b>

Ahora bien, los costos anuales de producción se muestran a continuación en la tabla 15,

**Tabla 15.** Costo de producción totales por año

Ítem	Costo, millón \$/año		
	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Materias primas	0,474	0,567	0,704
Mano de obra operativa	0,017	0,017	0,017
Supervisión operativa	0,003	0,003	0,003
Utilidades	0,000	0,000	0,001
Mantenimiento y reparaciones	0,546	0,633	0,731
Suministros operativos	0,082	0,095	0,110
Cargos de laboratorio	0,003	0,003	0,003
Regalías	0,021	0,024	0,028
Catalizadores y disolventes	0,000	0,000	0,000
Costo variable	1,145	1,342	1,595
Impuestos (propiedades)	0,182	0,211	0,244
Interés financiero	0,000	0,000	0,000
Seguro	0,091	0,106	0,122
Alquiler	0,000	0,000	0,000
Cargos Fijos	0,273	0,317	0,365
Planta de sobre carga general	0,339	0,392	0,450
Planta de sobre carga	0,339	0,392	0,450
Costo de manufactura	1,758	2,050	2,411
Administración	0,113	0,131	0,150
Distribución y venta	0,103	0,120	0,141
Investigación y desarrollo	0,082	0,096	0,113
Gastos Generales	0,298	0,346	0,403

<b>Costo total de producción</b>	<b>2,056</b>	<b>2,396</b>	<b>2,814</b>
----------------------------------	--------------	--------------	--------------

Nuevamente, en todos los casos, el escenario de menor inversión y menores costos corresponden al de la Formulación No. 1

**c) Evaluación económica del proyecto**

Los resultados finales de la Evaluación Financiera del Proyecto se muestran a continuación en la tabla 16,

**Tabla 16.** Evaluación económica

Parámetro financiero	Formulación 1	Formulación 2	Formulación 3
Valor Actual Neto (VAN)	3,79 MMUSD	4,51 MMUSD	4,75 MMUSD
Tasa Interna de Retorno (TIR)	25,9%	26,2%	25%
Precio sugerido de venta	20 USD/caja	23,3 USD/caja	26,7 USD/caja
Precio del punto de equilibrio	16,5 USD/caja	19,2 USD/caja	22,3 USD/caja
Tiempo de recuperación	4 años	4 años	4 años

Una vez revisados los resultados finales de la Evaluación Económica del Proyecto, se observa que el Escenario Óptimo corresponde a la Formulación No. 1, donde se observa un precio de punto de equilibrio (a ganancia neta de 0) corresponde a 16,5 USD, mientras que el Escenario más costoso corresponde al de la Formulación 3, donde supera los 22 USD por caja. Para el escenario óptimo, el Valor Actual Neto corresponde a 3,79 MMUSD y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es de 25,9%, lo cual duplica la Tasa mínima esperada. En todos los casos, el tiempo de recuperación de la inversión corresponde a 4 años.

## CONCLUSIÓN

Posterior al trabajo desarrollado en la presente investigación, es posible definir las siguientes consideraciones finales:

- Se realizó la evaluación de Factibilidad Técnico-Económica de una planta de Edulcorante Alternativo a base de fruta milagrosa, estevia y polvo deshidratado de zumo de limón con una capacidad de 30 TM anuales.
- La planta está constituida por 3 secciones principales: Obtención de las tabletas de fruta milagrosa, Obtención de estevia en polvo y obtención de polvo liofilizado de zumo de limón.
- Se realizó el pre-dimensionamiento de una planta para la manufactura de un edulcorante alternativo con una capacidad instalada de 30 TM por año a razón de 2880 horas totales anuales, contenidas en 13 unidades de proceso.
- El dimensionamiento preliminar de los equipos fue llevado a cabo mediante el simulador SuperPro Designer, el cual permitió arrojar unas dimensiones preliminares y al mismo tiempo una lista de precios de los equipos actualizados al año en curso.
- De acuerdo al estudio económico, el escenario óptimo corresponde al de la formulación No. 1, con una inversión total de capital de 10,4 MMUSD.
- Para el escenario óptimo, se obtiene una tasa interna de retorno del 25,9% anual, un valor actual neto de 3,79 MMUSD y un tiempo de recuperación de la inversión de 4 años.

## **RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio comparativo de otros edulcorantes alternos a la estevia para verificar si es posible la creación de una formulación que arroje precios unitarios más bajos.
- Estudiar la factibilidad de incorporar de forma gradual la sustitución de importación de materia prima (fruta milagrosa) mediante un proyecto de incorporación de cultivos de fruta milagrosa en las áreas aptas para su crecimiento dentro de la geografía ecuatoriana.

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes de todo agradezco a Dios, el misericordioso y el único por ayudarme en todo mi camino de mi vida y a mi familia por su gran apoyo en toda la trayectoria de mi carrera. Se agradece al departamento de Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito por el uso de sus instalaciones en este proyecto integrador. Se agradece a Juan Diego Fonseca, PhD por su guía y consejos en este proyecto, Andrea Carolina Landázuri Flores PhD por su colaboración en el proyecto; al ingeniero Diego Tapia y a mi compañera de carrera Camila viveros por su colaboración en la investigación de la fruta milagrosa. Finalizando se agradece a todas las personas que me han apoyado y escuchado durante todo este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrotendencia. (2019). *El limon*. Obtenido de <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-de-limon/>
- Aldadul, S. (2016). *Chemical Composition of Natural Juices combinig lemon and dates* . Obtenido de <http://www.ijfe.org/uploadfile/2016/0512/20160512060759780.pdf>
- Alibaba. (2021). *High Quantity Wholesale Herbal Tea Dried Stevia Leaf Herb Stevia*. Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quantity-Wholesale-Herbal-Tea-Dried\\_62333674273.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.2cec1537bQGad4&fbclid=IwAR040i5hgGPbRyImO99wfxQ\\_rgvn6HKqrkRcHPQSDieUKVMP2Oy3ECA0KGE](https://www.alibaba.com/product-detail/High-Quantity-Wholesale-Herbal-Tea-Dried_62333674273.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.2cec1537bQGad4&fbclid=IwAR040i5hgGPbRyImO99wfxQ_rgvn6HKqrkRcHPQSDieUKVMP2Oy3ECA0KGE)
- Alibaba. (2021). *Ningxia Goji Berry Miracle Fruit Ningxia goji*. Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/Ningxia-Goji-Berry-Miracle-Fruit-Ningxia\\_60596075648.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.41c3d4cfzRMKWw](https://www.alibaba.com/product-detail/Ningxia-Goji-Berry-Miracle-Fruit-Ningxia_60596075648.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.41c3d4cfzRMKWw)
- Alimentos. (2019). *Stevia*. Obtenido de <https://www.stevia10.com/hojas/>
- Cevallos, L., & Andrade, S. (2006). *Estudio de la fruta milagrosa (Synsepalum dulcificum Daniell) como posible edulcorante natural*. Obtenido de <https://www.developpement-durable.org/file/Culture/Culture-plantes-a-petits-fuits-sucres/Synsepalum%20dulcificum/Estudio%20del%20a%20fruta%20milagrosa.pdf>
- CONTAIER. (2021). *AZUCAR VALDEZ BLANCA 1 KG*. Obtenido de <https://ahorroencontainer.com/collections/frontpage/products/azucar-valdez-blanca-1-kg?variant=37816818696392>

- D'Stevia. (2021). *D'Stevia 100 tabletas*. Obtenido de <https://www.dstevia.com/producto/dispensador-de-100-tabletas/>
- Demesyeux, L. B. (2020). *Yield and miraculin content of nine miracle fruit (Synsepalum Dulcificum) morphotypes*. *Euphytica*, 216(11). . Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02710-x>
- Ecuaforestar. (2017). *Fruta Milagrosa*. Obtenido de <https://ecuaforestar.com/fruto-milagroso/>
- Eduardo, P. C., & Ramón, M. (2015). *Estudio técnico-económico para la creación de una empresa procesadora de endulzante de estevia*. Guayaquil-Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- ElTelégrafo. (15 de noviembre de 2021). *¿Qué cantidad de azúcar consumimos?* Obtenido de <https://www.eltelgrafo.com.ec/noticias/septimo/1/d-oh-el-azucar-nos-esta-matando>
- Estrada, H. H., Restrepo, C. E., Saumett, H. G., & Pérez, y. L. (2018). *Deshidratación Osmótica y Secado por Aire Caliente en Mango, Guayaba y Limón para la Obtención de Ingredientes Funcionales* (Vol. 29). Barranquilla-Colombia: SciELO. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000300197&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642018000300197&script=sci_arttext&tlng=en)
- FoodNewsLatam. (2016). *Descubren "Fruta milagrosa" como sustituto del azúcar en bebidas ácidas*. Obtenido de <https://www.foodnewslatam.com/paises/75-brasil/6169-fruta-milagrosa-un-sustituto-del-az%C3%BAcar-en-bebidas-%C3%A1cidas.html>
- Galarza Suárez, L. (2019). Tierra, trabajo y tóxicos: sobre la producción de un territorio bananero en la costa sur del Ecuador. *SciELO*, 50-62. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-10432019005002002&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-10432019005002002&script=sci_arttext)

- Gálvez, L. P. (Junio de 2015). *Briuxot, Urban Garden Shop*. Obtenido de <http://www.elbruixot.com/semillasdemaria/grados-brix-el-secreto-de-una-planta-bien-alimentada/>
- García, J., Porlles, J., Ráez, L., & Romero, S. (2009). Rentabilidad del procesamiento de la stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) como condición para ser considerada como cultivo alternativo. *Per. Química*, 12(1), 59-65. Obtenido de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4939/4009>
- Jhomar, S. F., Estefania, Y. A., & Araujo, A. J. (2019). *Ingeniería de detalle para una planta de secado por atomización de pulpa de frutas*. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- L. Cevallos, S. A. (2007). ESTUDIO DE LA FRUTA MILAGROSA (*Synsepalum dulcificum* Daniell) COMO POSIBLE EDULCORANTE NATURAL . *Tierra Tropical. Revista de la Universidad Earth*, 71-80.
- LATAM, F. N. (2016). *Descubren "Fruta milagrosa" como sustituo del azucar en bebidas acidas*. Obtenido de <https://www.bebidaslatam.com/sectores/33-ingredientes-aditivos/3538-descubren-fruta-milagrosa-como-sustituto-del-az%C3%BAcar-en-bebidas-%C3%A1cidas.html>
- Lobelo, Y. (2015). *Análisis de competitividad y de mercado en la sustitución parcial o total de azúcar por otros edulcorantes en las empresas del sector de bebidas no alcohólicas en Colombia de 2009 a 2014* . Obtenido de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1477&context=maest\\_administracion](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1477&context=maest_administracion)
- López Pasquel, A. C., & Hallo Alvear, R. (2016). *Plan de negocios para la producción y comercialización de tabletas masticables de *Stnsepalum dulcificum*, la fruta*



- milagrosa, en el Distrito Metropolitano de Quito* . Quito-Ecuador: Universidad Internacional del Ecuador .
- Marcinek, K. (2015). *Stevia Rebaudiana bertonii - chemical composition and functional properties*. Obtenido de DOI:10.17306/J.AFS.2015.2.16
- Navarro, C. (2008). *El anamú, la inmunología y el cáncer*. Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/el-anamu-la-inmunologia-y-el-cancer/>
- Peters, Timmerhaus, & West. (2003). *Plan Design and Economics for Chemical Engineers*. Estados Unidos de America: Mc Graw Hill.
- PRODAMAR. (2021). *Prodamar Ecuador* . Obtenido de <https://www.instagram.com/prodamarecuador/>
- Qdhadmin. (2017). *QUÉ DIFERENCIA HAY ENTRE DEXTROSA Y SACAROSA*. Obtenido de <https://quediferenciahay.com/que-diferencia-hay-entre-dextrosa-y-sacarosa/>
- Reyes, R., & Herrera, M. (2014). *Estudio de la Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) como edulcroante natural y su uso en beneficio de la salud*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v5n3/a06v5n3.pdf>
- Shayeb, A., & Viveros, C. (2021). *Resumen ejecutivo de la fruta milagrosa* . Cumbaya.
- Tapia, A., & Victor, A. (2014). *Estudio investigativo sobre la fruta “Milagrosa” (Synsepalum Dulcificum) y su aplicación en la gastronomía* . Obtenido de [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11921/1/58184\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/11921/1/58184_1.pdf)
- Towns, D. (2019). *Synsepalum Dulcificum Seguridad y Usos*. Obtenido de <https://disciplined.com/fruta-milagrosa/>
- Turck, D. C.-E. (2021). *Safety of dried fruits of Synsepalum dulcificum as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283*. *EFSA Journal*, 19(6). Obtenido de <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6600>

USDA. (30 de abril de 2021). *Sugar Annual*. Obtenido de

[https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Sugar%20Annual\\_Quito\\_Ecuador\\_04-15-2021.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Sugar%20Annual_Quito_Ecuador_04-15-2021.pdf)

**ANEXO A: Calculo de humedad**

Cálculo del diferencial de humedad del limón deshidratado (Aldadul, 2016)

$$\text{Humedad inicial} = 93,34\%$$

$$\text{Humedad final} = 5\%$$

$$\Delta\text{humedad} = 0,8834$$

Cálculo de materia prima del limón ton/año

$$\text{Requerimiento} = 30 * \frac{0.475}{1 - 0,8834}$$

$$\text{Requerimiento} = 122 \text{ Ton/año}$$

El dato de 30 es las toneladas que se van a usar por año del edulcorante

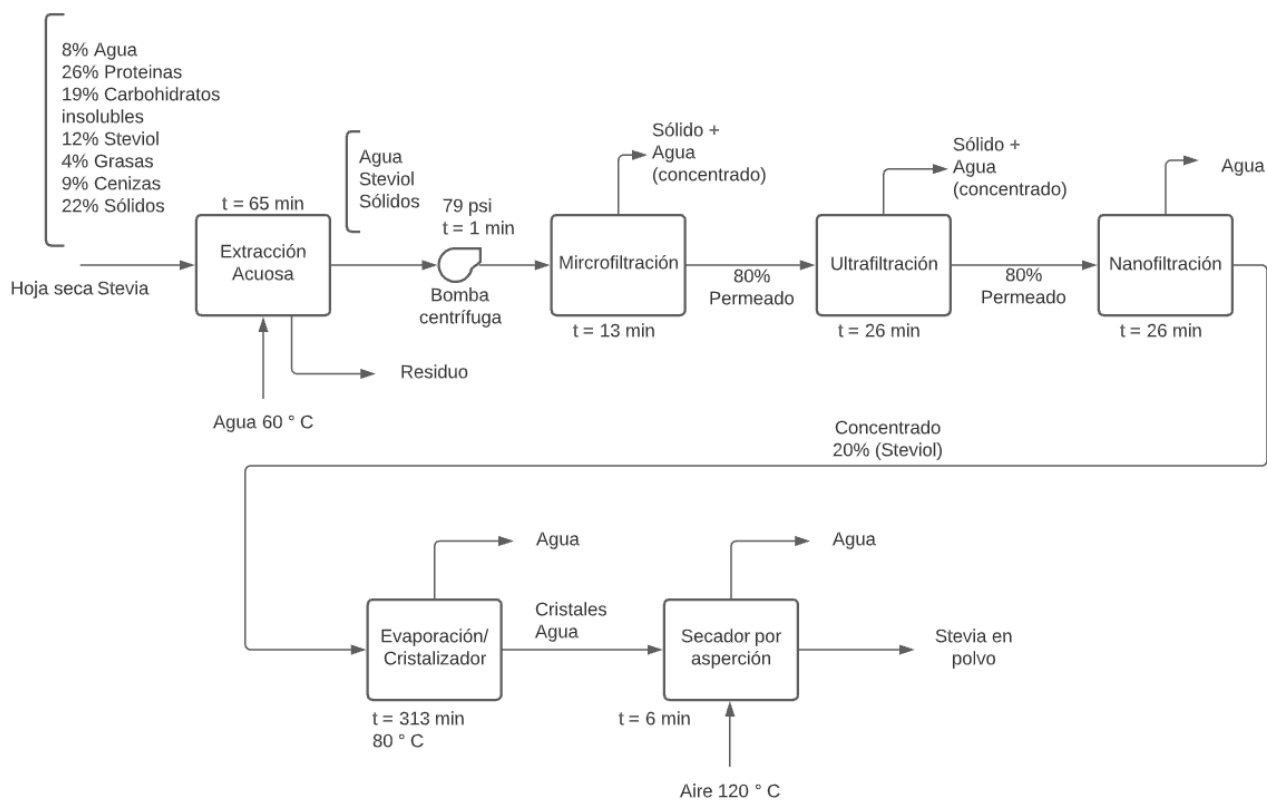
**ANEXO B: Distancias de localidad**

A continuación, se indica las distancias desde la localidad de Quinindé donde se encuentran los cultivos de la fruta milagrosa hasta los principales mercados de distribución del producto

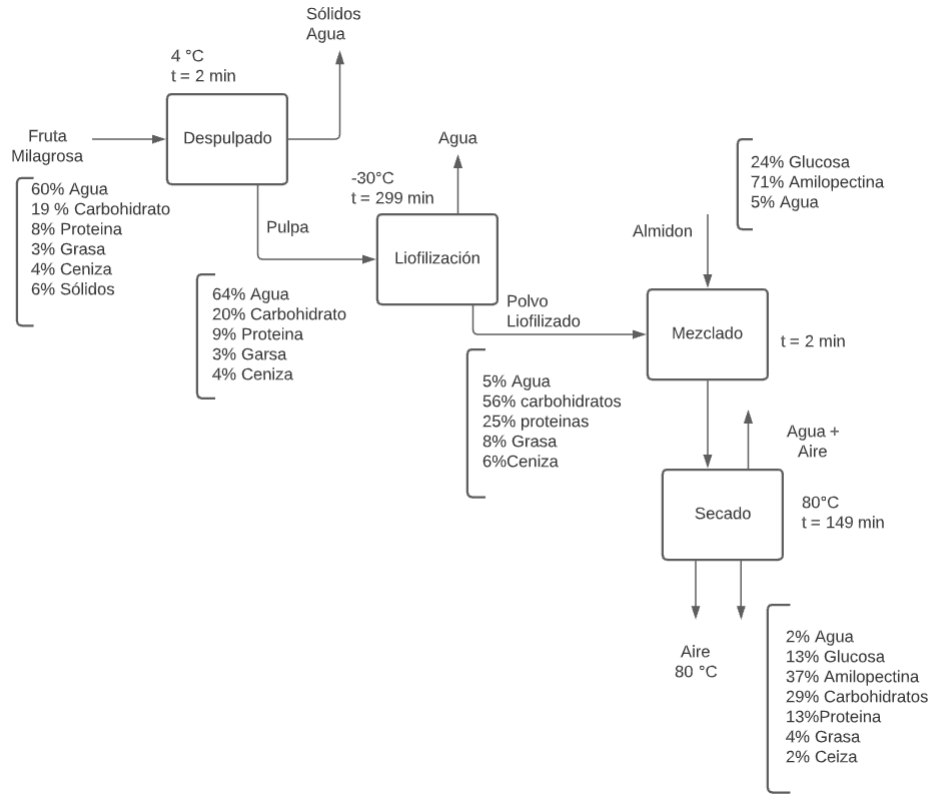
**Tabla 17.** Distancias de localización

<b>Ciudades</b>	<b>Distancia (Km)</b>
Quito	224
Guayaquil	370
Cuenca	520
Santo Domingo	87
Ambato	291

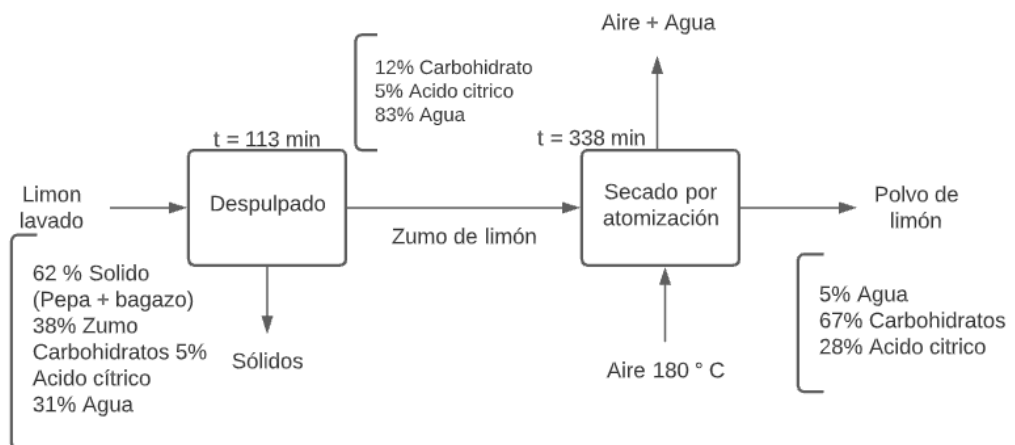
### ANEXO C: Balance de masa del proceso



**Figura 5.** Diagrama de proceso hoja estevia en polvo

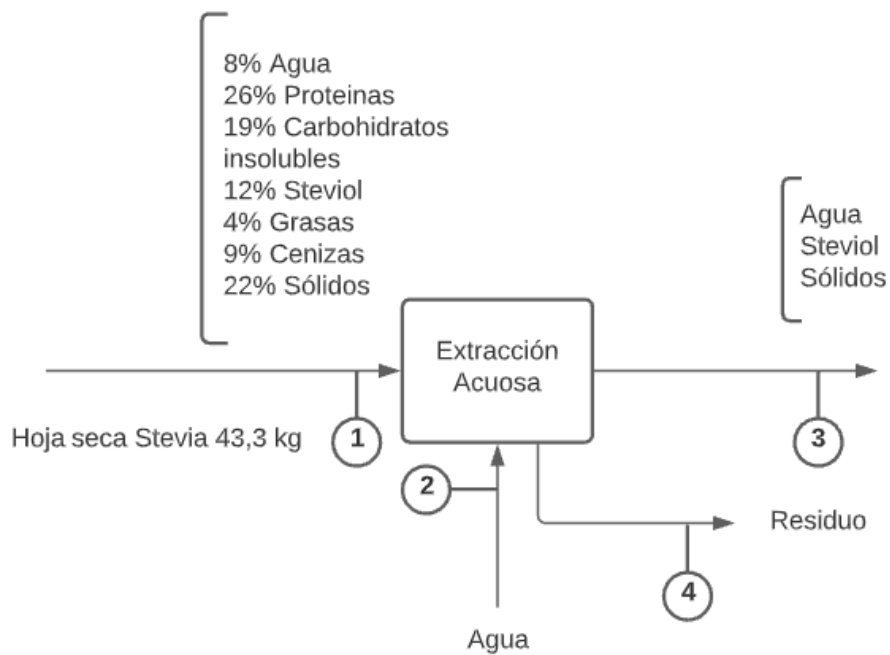


**Figura 6.**Diagrama de proceso Fruta milagrosa



**Figura 7.**Diagrama de proceso de polvo de limón

## Balance en la sección hoja de Stevia



**Figura 8.** Balance de masa extracción acuosa

### Balance de masa

- Sección extracción acuosa

$$Agua_2 = 5 * C_1$$

$$Agua_2 = 5 * 43.3 \text{ kg} = 216.5 \text{ kg}$$

Balance por componentes

$$Steviol_3 = 0.99 * Steviol_1$$

$$Steviol_3 = 0,99(43.3 * 0.12) \text{ kg}$$

$$Steviol_3 = 5,14 \text{ kg}$$

Caso Agua

$$Agua_4 = 0.1 * Agua_2 = 0.1 + 216.5 \text{ kg}$$

$$Agua_4 = 21.65 \text{ kg}$$

$$Agua_3 = Agua_2 + Agua_1 - Agua_4$$

$$Agua_3 = Agua_2 + Agua_1 - Agua_4$$

$$Agua_3 = 216.5 + 43.3 * 0.08 - 21.65$$

$$Agua_3 = 198.31 \text{ kg}$$

En el caso del solido

$$Sólido_3 = 0.01 * Sólido_1 = 0.01 * 0.22 * 43.3$$

$$Sólido_3 = 0.095 \text{ kg}$$

En el flujo total de la corriente 3 es

$$C_3 = Agua_3 + Steviol_3 + Sólido_3$$

$$C_3 = 198.31 + 5.14 + 0.095$$

$$C_3 = 203.54 \text{ kg}$$

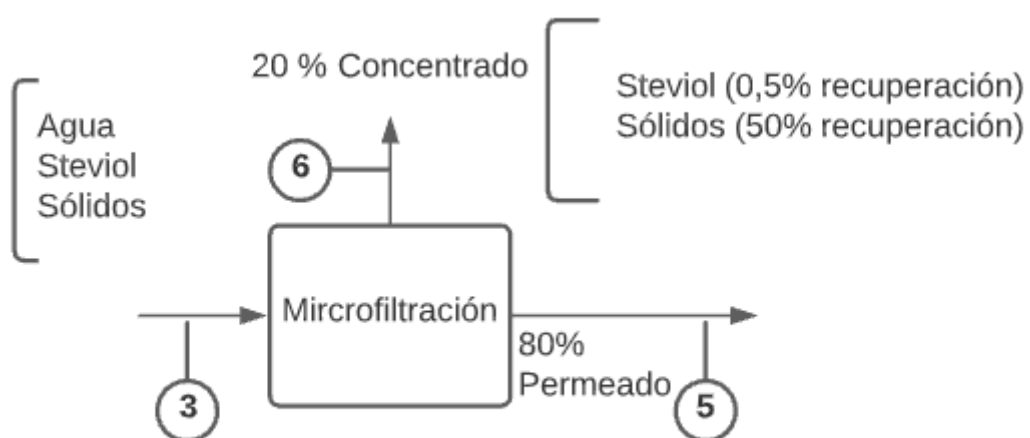


Por tanto, del balance global en la sección de extracción, queda:

$$C_1 + C_2 = C_3 + C_4$$

$$C_4 = 43.3 + 216.5 - 203.54$$

$$C_4 = 56.26 \text{ kg}$$



**Figura 9.** Balance de masa microfiltración

- Sección de microfiltración

De la relación permeado 0.8

$$C_5 = 0.8 * C_3 = 0.8 * 203.54 \text{ kg}$$

$$C_5 = 162.83 \text{ kg}$$

Del balance global

$$C_6 = C_3 - C_5 = 203.54 - 162.83$$

$$C_6 = 40.71 \text{ kg}$$

Balance por componentes en  $C_6$

$$Steviol_6 = 0.005 * Steviol_3$$

$$Steviol_6 = 0.005 * 5.14 \text{ kg}$$

$$Steviol_6 = 0.0257 \text{ kg}$$

Sólidos

$$Sólidos_6 = 0.5 * Sólidos_3 = 0.5 * 0.095 \text{ kg}$$

$$Sólidos_6 = 0.0475 \text{ kg}$$

El agua que queda en  $C_6$  sería

$$Agua_6 = C_6 - Steviol_6 - Sólidos_6$$

$$Agua_6 = 40.71 - 0.0257 - 0.0475$$

$$Agua_6 = 40.64 \text{ kg}$$

Por tanto, del balance por componentes para  $C_5$  queda:

$$Agua_5 = Agua_3 - Agua_6$$

$$Agua_5 = 198.31 - 40.64$$

$$Agua_5 = 157.67 \text{ kg}$$

Para steviol

$$Steviol_5 = Steviol_3 - Steviol_6$$

$$Steviol_5 = 5.14 - 0.0257 \text{ kg}$$

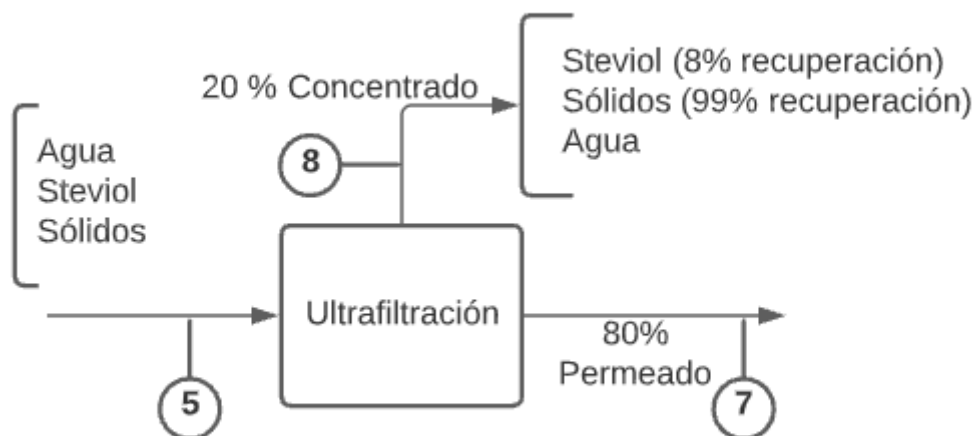
$$Steviol_5 = 5.11 \text{ kg}$$

Para sólidos

$$Sólidos_5 = Sólidos_3 - Sólidos_6$$

$$Sólidos_5 = 0.095 - 0.0475$$

$$Sólidos_5 = 0.0475 \text{ kg}$$



**Figura 10.** Balance de masa ultrafiltración

- Sección ultrafiltración

De la relación de flujos

$$C_8 = 0.2 * C_5 = 0.2 * 162.83 \text{ kg}$$

$$C_8 = 32.57 \text{ kg}$$

$$C_7 = 0.8 * C_5$$

$$C_7 = 130.26 \text{ kg}$$

Del balance por componentes

$$Steviol_8 = 0.09 * Steviol_5$$

$$Steviol_8 = 0.09 * 5.11$$

$$Steviol_8 = 0.46 \text{ kg}$$

Par solidos

$$Sólidos_8 = 0.99 * Sólidos_5$$

$$Sólidos_8 = 0.99 * 0.0475 \text{ kg}$$

$$Sólidos_8 = 0.047 \text{ kg}$$

Para agua

$$Agua_8 = C_8 - Steviol_8$$

$$Agua_8 = 32.06 \text{ kg}$$

Por tanto, para C7 queda

$$Agua_7 = Agua_5 - Agua_8$$

$$Agua_7 = 157.67 - 32,06$$

$$Agua_7 = 125.61 \text{ kg}$$

Para steviol

$$Steviol_7 = Steviol_5 - Steviol_8$$

$$Steviol_7 = 5.11 - 0.46$$

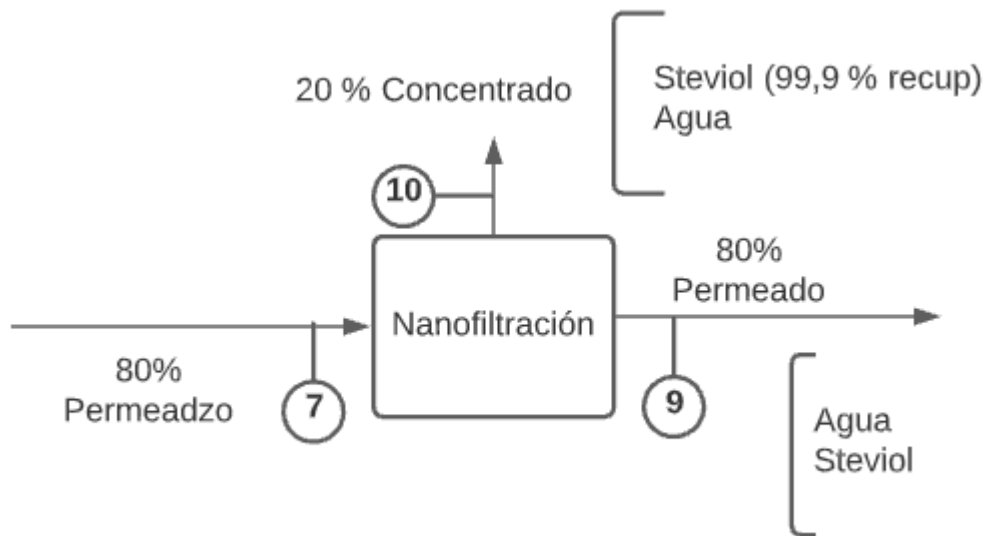
$$Steviol_7 = 4.65 \text{ kg}$$

Para solidos

$$Sólidos_7 = C_7 - Agua_7 - Steviol_7$$

$$Sólidos_7 = 130.26 - 4.65 - 125.61$$

$$Sólidos_7 \cong 0$$



**Figura 11.** Balance de masa nanofiltración

- Sección de osmosis inversa o nanofiltración

De la relación de flujos

$$C_9 = 0.8 * C_7 = 0.8 * 130.26 \text{ kg}$$

$$C_9 = 104.21 \text{ kg}$$

$$C_{10} = 0.2 * C_7 = 0.2 * 130.26 \text{ kg}$$

$$C_{10} = 26.052 \text{ kg}$$

Balance por componentes

$$Steviol_{10} = 0.999 * Steviol_7$$

$$Steviol_{10} = 0.999 * 4.65 \text{ kg}$$

$$Steviol_{10} = 4.645 \text{ kg}$$

Para agua

$$Agua_{10} = C_{10} - Steviol_{10}$$

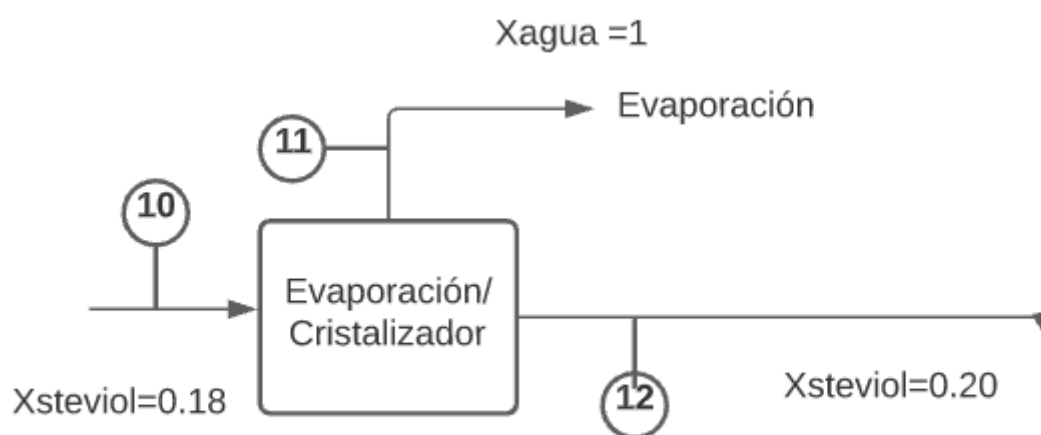
$$Agua_{10} = 26.052 - 4.645$$

$$Agua_{10} = 21.407 \text{ kg}$$

Composición másica  $Agua_{10}$

$$X_{Agua_{10}} = \frac{21.407}{26.052} = 0.82$$

$$X_{steviol_{10}} = 0.18$$



**Figura 12.** Balance de masa evaporación/cristalizador

- Sección evaporación/cristalizador

Balance global

$$C_{10} = C_{11} + C_{12}$$

$$C_{11} + C_{12} = 26.052 \text{ kg}$$

Balance por componentes

Para steviol

$$Steviol_{10} = Steviol_{12}$$

$$4.645 \text{ kg} = 0.20 * C_{12}$$

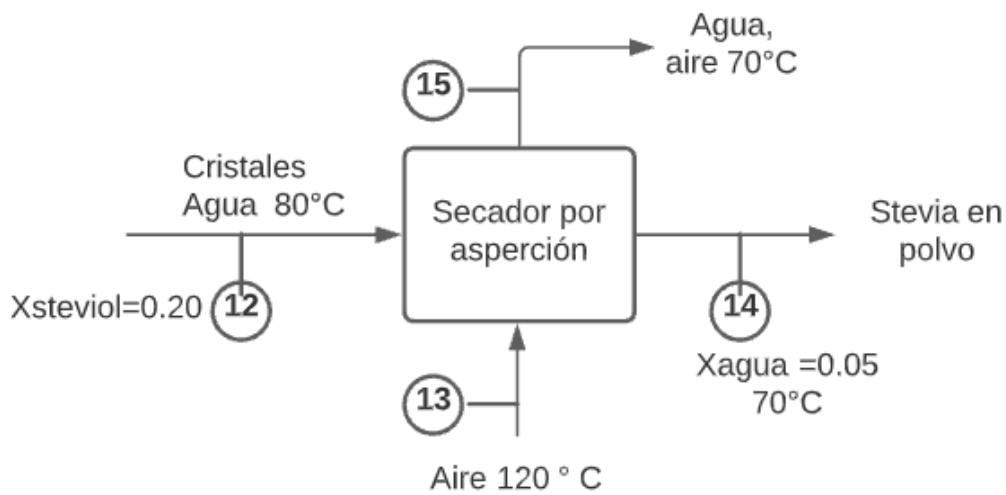
$$C_{12} = \frac{4.645 \text{ kg}}{0.20}$$

$$C_{12} = 23.225 \text{ kg}$$

Del balance global

$$C_{11} = C_{10} - C_{12}$$

$$C_{11} = 2.827 \text{ kg}$$



**Figura 13.** Balance de masa de secador por aspersión

- Sección de secado

Balance por componentes

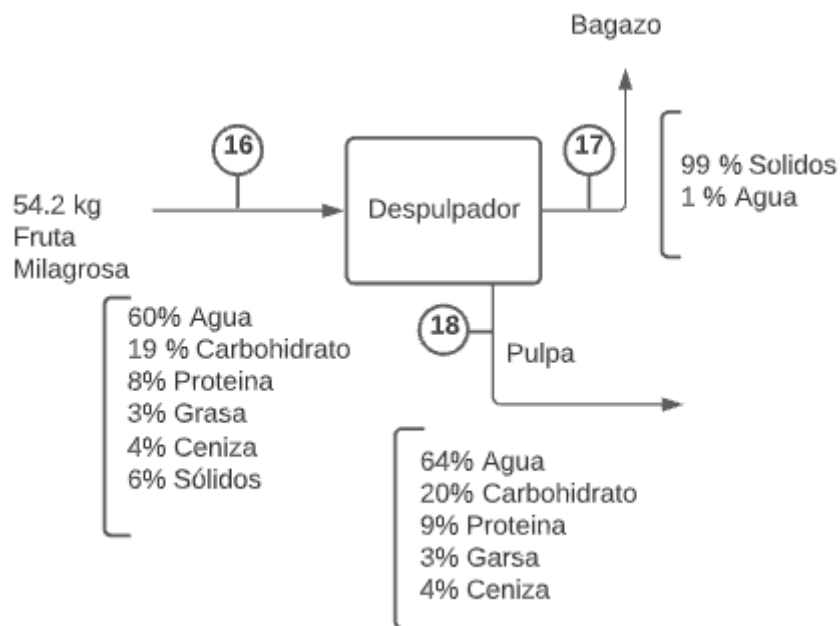
Para Stevia

$$Steviol_{12} = Steviol_{14}$$

$$4.645 \text{ kg} = 0.95 * C_{14}$$

$$C_{14} = 4.889 \text{ kg}$$

### Balance en la sección de fruta milagrosa



**Figura 14.** Balance de masa del despulpador

Balance Global

$$C_{17} + C_{18} = 54.2 \text{ kg}$$

Balance para Agua

$$0.01 * C_{17} + 0.64 * C_{18} = 32.64 \text{ kg}$$

Resolviendo el sistema, queda

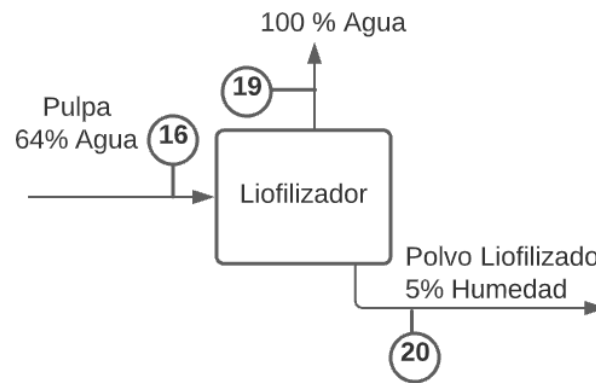
$$C_{17} = 3.25 \text{ kg}$$

$$C_{18} = 50.94 \text{ kg}$$

$$Agua_{18} = 0.64 * 50.94 = 32.6 \text{ kg}$$

Balance en el liofilizador





**Figura 15.** Balance de masa del liofilizador

Balance Global

$$C_{18} + C_{19} = C_{20}$$

$$C_{19} + C_{20} = 50.94 \text{ kg} \quad (1)$$

Balance para Agua

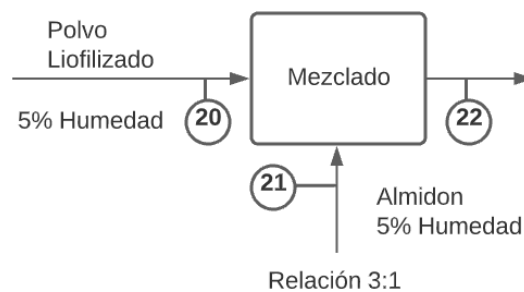
$$C_{19} + 0.05 * C_{20} = 32.64 \text{ kg} \quad (2)$$

Resolviendo el sistema con (1) y (2), queda

$$C_{19} = 31.63 \text{ kg}$$

$$C_{20} = 19.3 \text{ kg}$$

**Balance en el mezclador de almidón + polvo liofilizado**



**Figura 16.** Balance de masa del mezclado

Balance Global

$$C_{20} + C_{21} = C_{22}$$

Si se tiene

$$C_{21} = 3 * C_{20}$$

$$C_{21} = 3 * 19.3 \text{ kg}$$

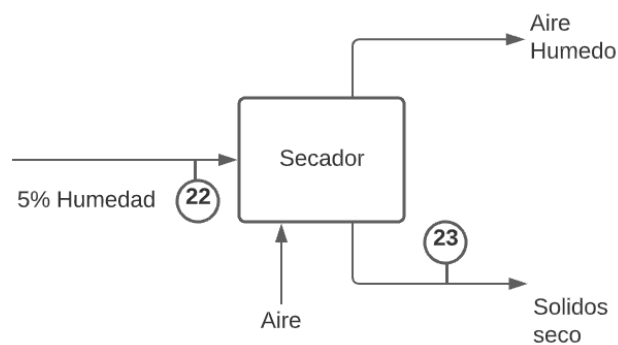
$$C_{21} = 57.9 \text{ kg}$$

En el caso de la corriente 22

$$C_{22} = 57.9 + 19.3$$

$$C_{22} = 77.2 \text{ kg}$$

Balance en el secador



**Figura 17.** Balance de masa del secador

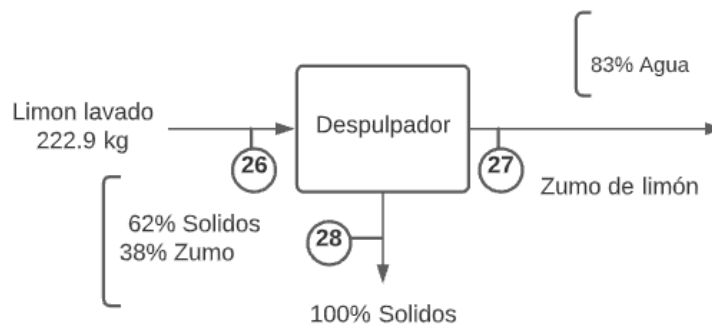
Balance para solidos 2% humedad

$$(1 - 0.05)C_{22} = (1 - 0.02)C_{23}$$

$$C_{23} = \frac{(1 - 0.05)C_{22}}{(1 - 0.02)}$$

$$C_{23} \cong 70 \text{ kg}$$

**Balance en la sección del limón**



**Figura 18.** Balance de masa del despulpador del proceso de limón

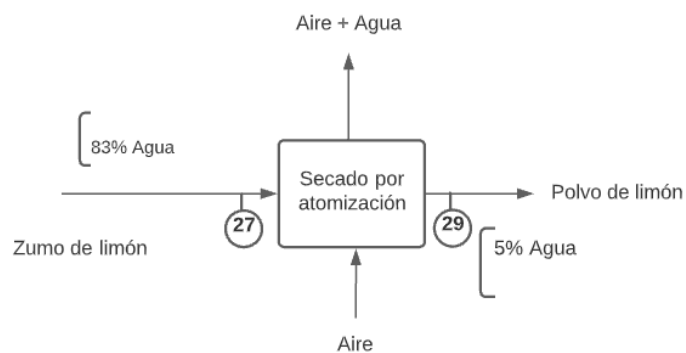
$$C_{27} + C_{28} = 222.9 \text{ kg}$$

Balance del solido

$$0.62 * 222.9 \text{ kg} = 28$$

$$C_{28} = 133.74 \text{ kg}$$

$$C_{27} = 89.16 \text{ kg}$$



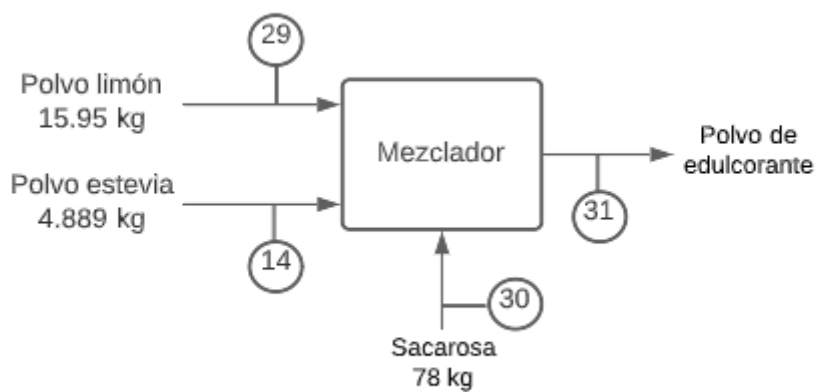
**Figura 19.** Balance de masa del secado por atomización

Balance p/solidos

$$(1 - 0.83)C_{27} = (1 - 0.08)C_{29}$$

$$C_{29} = 15.95 \text{ kg}$$

Balance en el mezclador final polvo limón



**Figura 20.** Balance de masa del mezclador final

Balance Global

$$C_{31} = C_{29} + C_{14} + C_{30}$$

$$C_{31} = 98.84 \text{ kg}$$

**ANEXO D: Reporte generado por software de simulación para balances de energía**

**Tabla 18.** Balance de energía usando la simulación

**Heat Transfer Agent Demand**

**1.1a Total Heat Transfer Agent Demand**

<b>Heat Transfer Agent</b>	<b>kg/yr</b>	<b>kg/batch</b>	<b>kg/kg MP</b>
<b>Chilled Water</b>	0.00	0.00	N/A
<b>Cooling Water</b>	0.00	0.00	N/A
<b>Steam</b>	39,095.43	112.99	N/A
<b>Steam (High P)</b>	0.00	0.00	N/A

**1.1b Heat Transfer Agent Demand (Section Breakdown)**

<b>Chilled Water</b>	<b>kg/yr</b>	<b>kg/batch</b>	<b>kg/kg MP</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>N/A</b>

<b>Cooling Water</b>	<b>kg/yr</b>	<b>kg/batch</b>	<b>kg/kg MP</b>
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>N/A</b>

<b>Steam</b>	<b>kg/yr</b>	<b>kg/batch</b>	<b>kg/kg MP</b>
<b>Main Section</b>	39,095.43	112.99	N/A
<b>TOTAL</b>	<b>39,095.43</b>	<b>112.99</b>	<b>N/A</b>

Steam (High P)	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>N/A</b>

### 1.1c Heat Transfer Agent Demand (Procedure Breakdown)

Chilled Water	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>N/A</b>

Cooling Water	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>N/A</b>

Steam	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
<b>Main Section</b>			
SMSX-101 : P-2	5,938.16	17.16	N/A
TFE-101 : P-6	11,274.51	32.59	N/A
FDR-101 : P-11	21,882.76	63.24	N/A
<b>Section Total</b>	<b>39,095.43</b>	<b>112.99</b>	<b>N/A</b>
<b>TOTAL</b>	<b>39,095.43</b>	<b>112.99</b>	<b>N/A</b>

Steam (High P)	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>N/A</b>

<b>1.2 Heat Transfer Agent Cost</b>					
<b>Heat Transfer Agent</b>	<b>Unit Cost</b>	<b>Basis</b>	<b>Demand (per yr)</b>	<b>Total Cost (\$/yr)</b>	<b>Cost (%)</b>
<b>Chilled Water</b>	0.40	\$/MT	0.00	0.00	0.00
<b>Cooling Water</b>	0.05	\$/MT	0.00	0.00	0.00
<b>Steam</b>	12.00	\$/MT	39.10	469.15	100.00
<b>Steam (High P)</b>	20.00	\$/MT	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>				<b>469.15</b>	<b>100.00</b>

### 1.3 Power Demand

#### 1.3a Total Power Demand

<b>Power Type</b>	<b>kW-h/yr</b>	<b>kW-h/batch</b>	<b>kW-h/kg MP</b>
<b>Std Power</b>	4,979.83	14.39	N/A
<b>TOTAL</b>	<b>4,979.83</b>	<b>14.39</b>	<b>N/A</b>

#### 1.3b Power Demand (Section Breakdown)

<b>Std Power</b>	<b>kW-h/yr</b>	<b>kW-h/batch</b>	<b>kW-h/kg MP</b>

<b>Main Section</b>	4,979.83	14.39	N/A
<b>TOTAL</b>	<b>4,979.83</b>	<b>14.39</b>	<b>N/A</b>

### 1.3c Power Demand (Procedure Breakdown)

Std Power	kW-h/yr	kW-h/batch	kW-h/kg MP
<b>Main Section</b>			
<b>SMSX-101 : P-2</b>	41.94	0.12	N/A
<b>PM-101 : P-3</b>	14.85	0.04	N/A
<b>MF-101 : P-1</b>	1,142.00	3.30	N/A
<b>UF-101 : P-4</b>	913.84	2.64	N/A
<b>RO-101 : P-5</b>	1,279.71	3.70	N/A
<b>FDR-101 : P-11</b>	591.33	1.71	N/A
<b>V-101 : P-16</b>	0.20	0.00	N/A
<b>Unlisted Equipment</b>	248.99	0.72	N/A
<b>General Load</b>	746.97	2.16	N/A
<b>Section Total</b>	<b>4,979.83</b>	<b>14.39</b>	<b>N/A</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4,979.83</b>	<b>14.39</b>	<b>N/A</b>



### ANEXO E: Tabla Excel parte económica (simulación)

- **Formulación 1**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>ESTIMATION OF CAPITAL INVESTMENT BY PERCENTAGE OF DELIVERED EQUIPMENT METHOD</b>									
2	(See Table 6-9)									
3	The fractions in the cells below are approximations applicable to typical chemical									
4	plants. These values may differ depending on many factors such as location, process type, etc.									
5	Required user input		Default			Subtotal		Result		
6	Required, from a linked sheet or entered						Notes & comments			
7	Project Identifier: Illustration 101			Fraction of delivered equipment			User: copy	Calculated		
8				Solid-	Solid-fluid	Fluid	from	values,		
9				processin	processin	processin	values at	million \$		
10				g plant	g plant	g plant	left or			
11	<b>Direct Costs</b>									
12	Purchased equipment, E'							1.598		
13	Delivery, fraction of E'			0.10	0.10	0.10	0.10	0.160		
14	Subtotal: delivered equipment							1.758		
15	Purchased equipment installation							0.826		
16	Instrumentation & Controls (installed)							0.633		
17	Piping (installed)							1.195		
18	Electrical systems (installed)							0.193		
19	Buildings (including services)							0.316		
20	Yard improvements							0.176		
21	Service facilities (installed)							1.230		
22	Total direct costs							6.328		
23										
24	<b>Indirect Costs</b>									
25	Engineering and supervision							0.580		
26	Construction expenses							0.721		
27	Legal expenses							0.070		
28	Contractor's fee							0.387		
29	Contingency							0.773		
30	Total indirect costs							2.531		
31										
32	Fixed capital investment (FCI)							8.859		
33	Sent to 'Evaluation' and 'Year-0 \$', there									
34	Working capital (WC)							1.564		adjusted as described below
35										
36	Total capital investment (TCI)							10.424		
37	The investments are made over a period of time. This is represented on the basis that startup									
38	(time 0) will be three years after the date of the estimate, that 15% of the fixed capital investment									

Figura 21. Inversión de capital formulación 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
4	User input				<b>RESULT</b>					
5	Required, may be calculated here, in linked worksheet, or entered manually.									
6	Project identifier: Illustration 101									
7	Capacity		0.03		10 <sup>6</sup> kg per year					
8	Fixed Capital Investment, FCI		9.100		million \$					
9				Default factor, user may change	Basis	Basis cost, million \$/y	Cost, million \$/y			
10	Item									
11										
12	Raw materials						0.474			
13	Operating labor						0.017			
14	Operating supervision		0.15		of operating*	0.017	0.003			
15	Utilities						0.000			
16	Maintenance and repairs		0.06		of FCI	9.100	0.546			
17	Operating supplies		0.15		of maintenar*	0.546	0.082			
18	Laboratory charges		0.15		of operating*	0.017	0.003			
19	Royalties (if not on lump-sum bas*		0.01		of c <sub>o</sub>	2.056	0.021			
20	Catalysts and solvents		0		--		0.000			
21			<b>Variable cost =</b>				<b>1.145</b>	Sent to 'Evaluation' and		
22	Taxes (property)		0.02		of FCI	9.100	0.182		'Year-0 \$'	
23	Financing (interest)		0		of FCI	9.100	0.000			
24	Insurance		0.01		of FCI	9.100	0.091			
25	Rent		0		of FCI	9.100	0.000			
26	Depreciation		* Calculated separately							
27						<b>Fixed Charges*</b>	<b>0.273</b>			
28	Plant overhead, general		0.6		of labor, sup*	0.566	0.339			
29						<b>Plant Overhead*</b>	<b>0.339</b>			
30						<b>Manufacturing cost *</b>	<b>1.758</b>			
31	Administration		0.2		of labor, sup*	0.566	0.113			
32	Distribution & selling		0.05		of c <sub>o</sub>	2.056	0.103			
33	Research & Development		0.04		of c <sub>o</sub>	2.056	0.082			
34						<b>General Expense *</b>	<b>0.298</b>			
35	<b>TOTAL PRODUCT COST WITHOUT DEPRECIATION = c<sub>o</sub> =</b>							<b>2.056</b>		
36										
37							Sent to 'Evaluation'			
38							and 'Year-0 \$'			
39										
40										

Figura 22. Costo total anual de producción formulación 1

- **Formulación 2**

<b>ESTIMATION OF CAPITAL INVESTMENT BY PERCENTAGE OF DELIVERED EQUIPMENT METHOD</b>					
(See Table 6-9)					
The fractions in the cells below are approximations applicable to typical chemical plants. These values may differ depending on many factors such as location, process type,					
Required user input	Default			Subtotal	Result
<b>Required, from a linked sheet or entered manually</b>				Notes & comments	
Project Identifier: Illustration 101	Fraction of delivered equipment			User: copy from values at left or	Calculated values, million \$
	Solid-processing plant	Solid-fluid processing plant	Fluid processing plant		
<b>Direct Costs</b>					
Purchased equipment, E'					<b>1.853</b>
Delivery, fraction of E'	0.10	0.10	0.10	0.10	0.185
Subtotal: delivered equipment					<b>2.038</b>
Purchased equipment installation	0.45	0.39	0.47	0.47	0.958
Instrumentation & Controls (installed)	0.18	0.26	0.36	0.36	0.734
Piping (installed)	0.16	0.31	0.68	0.68	1.386
Electrical systems (installed)	0.10	0.10	0.11	0.11	0.224
Buildings (including services)	0.25	0.29	0.18	0.18	0.367
Yard improvements	0.15	0.12	0.10	0.10	0.204
Service facilities (installed)	0.40	0.55	0.70	0.70	1.427
Total direct costs	1.69	2.02	2.60	2.60	<b>7.338</b>
<b>Indirect Costs</b>					
Engineering and supervision	0.33	0.32	0.33	0.33	0.673
Construction expenses	0.39	0.34	0.41	0.41	0.836
Legal expenses	0.04	0.04	0.04	0.04	0.082
Contractor's fee	0.17	0.19	0.22	0.22	0.448
Contingency	0.35	0.37	0.44	0.44	0.897
Total indirect costs	1.28	1.26	1.44	1.44	<b>2.935</b>
<b>Fixed capital investment (FCI)</b>					<b>10.273</b>
Sent to 'Evaluation' and 'Year-0 \$', there adjusted as described below					
Working capital (WC)	0.70	0.75	0.89	0.89	<b>1.814</b>
<b>Total capital investment (TCI)</b>					<b>12.087</b>
The investments are made over a period of time. This is represented on the basis that startup (time 0) will be three years after the date of the estimate, that 15% of the fixed capital investment					

**Figura 23.** Inversión de capital formulación 2

ANNUAL TOTAL PRODUCT COST AT 100% CAPACITY					
See Figure 6-7 and 6-8					
Default, may be changed		Subtotal	Notes & comments		
User input		RESULT			
Required, may be calculated here, in linked worksheet, or entered manually.					
Project identifier: Illustration 101					
Capacity	30	10 <sup>6</sup> kg per year			
Fixed Capital Investment, FCI	10.552	million \$			
Item	Default factor, user may change	Basis	Basis cost, million \$/y	Cost, million \$/y	
Raw materials				0.567	
Operating labor				0.017	
Operating supervision	0.15	of operating*	0.017	0.003	
Utilities				0.000	
Maintenance and repairs	0.06	of FCI	10.552	0.633	
Operating supplies	0.15	of maintenar*	0.633	0.095	
Laboratory charges	0.15	of operating*	0.017	0.003	
Royalties (if not on lump-sum bas*	0.01	of c <sub>s</sub>	2.396	0.024	
Catalysts and solvents	0	--		0.000	
Variable cost =				1.342	Sent to 'Evaluation' and
Taxes (property)	0.02	of FCI	10.552	0.211	'Year-0 \$'
Financing (interest)	0	of FCI	10.552	0.000	
Insurance	0.01	of FCI	10.552	0.106	
Rent	0	of FCI	10.552	0.000	
Depreciation	* Calculated separately				
Fixed Charges =				0.317	
Plant overhead, general	0.6	of labor, sup*	0.653	0.392	
Plant Overhead =				0.392	
Manufacturing cost =				2.050	
Administration	0.2	of labor, sup*	0.653	0.131	
Distribution & selling	0.05	of c <sub>s</sub>	2.396	0.120	
Research & Development	0.04	of c <sub>s</sub>	2.396	0.096	
General Expense =				0.346	
<b>TOTAL PRODUCT COST WITHOUT DEPRECIATION = c<sub>s</sub> =</b>				<b>2.396</b>	
					Sent to 'Evaluation' and 'Year-0 \$'

Figura 24. Costo total anual de producción formulación 2

- Formulación 3

ESTIMATION OF CAPITAL INVESTMENT BY PERCENTAGE OF DELIVERED EQUIPMENT METHOD						
(See Table 6-9)						
The fractions in the cells below are approximations applicable to typical chemical plants. These values may differ depending on various factors such as location, process type,						
Required user input	Default		Subtotal		Result	
Required, from a linked sheet or entered manually				Notes & comments		
Project Identifier: Illustration 101	Fraction of delivered equipment	Solid-fluid	Fluid	User copy	Calculated	
	Solid-processin	processin	processin	from	values,	
	g plant	g plant	g plant	values at	million \$	
				left or		
<b>Direct Costs</b>						
Purchased equipment, E'					2.138	
Delivery, fraction of E'	0.10	0.10	0.10	0.10	0.214	
Subtotal: delivered equipment					2.352	
Purchased equipment installation	0.45	0.39	0.47	0.47	1.105	
Instrumentation & Controls (installed)	0.18	0.26	0.36	0.36	0.847	
Piping (installed)	0.16	0.31	0.68	0.68	1.599	
Electrical systems (installed)	0.10	0.10	0.11	0.11	0.259	
Buildings (including services)	0.25	0.29	0.18	0.18	0.423	
Yard improvements	0.15	0.12	0.10	0.10	0.235	
Service facilities (installed)	0.40	0.55	0.70	0.70	1.646	
Total direct costs	1.69	2.02	2.60	2.60	8.466	
<b>Indirect Costs</b>						
Engineering and supervision	0.33	0.32	0.33	0.33	0.776	
Construction expenses	0.39	0.34	0.41	0.41	0.964	
Legal expenses	0.04	0.04	0.04	0.04	0.094	
Contractor's fee	0.17	0.19	0.22	0.22	0.517	
Contingency	0.35	0.37	0.44	0.44	1.035	
Total indirect costs	1.28	1.26	1.44	1.44	3.387	
<b>Fixed capital investment (FCI)</b>					<b>11.853</b>	Sent to 'Evaluation' and 'Year-0 \$', there adjusted as described below
Working capital (WC)	0.70	0.75	0.89	0.89	2.093	
<b>Total capital investment (TCI)</b>					<b>13.946</b>	
The investments are made over a period of time. This is represented on the basis that startup (time 0) will be three years after the date of the estimate, that 15% of the fixed capital investment is spent in the year beginning at the time of the estimate (year ending at time -2), 35% in the second year (ending at -1), and 50% in the third year (ending at time 0). These values may be						

Figura 25. Inversión de capital formulación 3

ANNUAL TOTAL PRODUCT COST AT 100% CAPACITY					
See Figure 6-7 and 6-8					
Default, may be changed		Subtotal	Notes & comments		
User input		RESULT			
Required, may be calculated here, in linked worksheet, or entered manually.					
Project identifier: Illustration 101					
Capacity	30	10 <sup>6</sup> kg per year			
Fixed Capital Investment, FCI	12.175	million \$			
Item	Default factor, user may change	Basis	Basis cost, million \$/y	Cost, million \$/y	
Raw materials				0.704	
Operating labor				0.017	
Operating supervision	0.15	of operating	0.017	0.003	
Utilities				0.001	
Maintenance and repairs	0.06	of FCI	12.175	0.731	
Operating supplies	0.15	of maintenance	0.731	0.110	
Laboratory charges	0.15	of operating	0.017	0.003	
Royalties (if not on lump-sum basis)	0.01	of $c_p$	2.814	0.028	
Catalysts and solvents	0	--		0.000	
Variable cost =				1.595	Sent to 'Evaluation' and
Taxes (property)	0.02	of FCI	12.175	0.244	'Year-0 \$'
Financing (interest)	0	of FCI	12.175	0.000	
Insurance	0.01	of FCI	12.175	0.122	
Rent	0	of FCI	12.175	0.000	
Depreciation	* Calculated separately				
Fixed Charges =				0.365	
Plant overhead, general	0.6	of labor, sup	0.750	0.450	
Plant Overhead =				0.450	
Manufacturing cost =				2.411	
Administration	0.2	of labor, sup	0.750	0.150	
Distribution & selling	0.05	of $c_p$	2.814	0.141	
Research & Development	0.04	of $c_p$	2.814	0.113	
General Expense =				0.403	
<b>TOTAL PRODUCT COST WITHOUT DEPRECIATION</b> = $c_p$ =				<b>2.814</b>	
					Sent to 'Evaluation' and 'Year-0 \$'

Figura 26. Costo total anual de producción formulación 3

## ANEXO F: Componentes finales de cada corriente en la simulación

Stream S-135 ( P-7 --&gt; P-16)

&gt;

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents  Total  Liquid/Solid  Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)
1	Esteviol	4.37571	95.0000	1377.942378
2	Solidos	0.00000	0.0000	0.000203
3	Water	0.23030	5.0000	72.523294

Total Flowrates

Mass Flow  kg/batch

Volumetric Flow  L/batch

Temperature  °C

Pressure  bar

Enthalpy  kW-h/batch

Units Mass  Vol.  Composition  Conc.  Enthalpy

Time Reference for Flows  Batch  Source Cycle  Destination Cycle  Time Avg (per RCT)

**Figura 27.** Componente producto final polvo de estevia

Stream S-116 ( P-15 --&gt; P-16)

✕

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents  Total  Liquid/Solid  Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)
1	Carbohydrates	10.96132	67.8571	774.889239
2	Citric Acid	4.38453	27.1429	309.955696
3	Water	0.80768	5.0000	57.097102

Total Flowrates

Mass Flow  kg/batch

Volumetric Flow  L/batch

Temperature  °C

Pressure  bar

Enthalpy  kW-h/batch

Units Mass  Vol.  Composition  Conc.  Enthalpy

Time Reference for Flows  Batch  Source Cycle  Destination Cycle  Time Avg (per RCT)

**Figura 28.** Componentes producto final polvo cítrico



Stream S-128 ( P-13 --&gt; OUTPUT )

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents  Total  Liquid/Solid  Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)
1	Amilopectina	40.40610	55.1473	592.644801
2	Ash	2.15752	2.9446	31.644736
3	Carbohydrates	9.82868	13.4144	144.159353
4	Fats	1.67807	2.2903	24.612572
5	Glucose	13.65840	18.6413	200.330637
6	Proteins	4.07531	5.5621	59.773390
7	Water	1.46539	2.0000	21.493173

Total Flowrates

Mass Flow  kg/batch

Volumetric Flow  L/batch

Temperature  °C

Pressure  bar

Enthalpy  kW-h/batch

Units Mass  Vol.  Composition  Conc.  Enthalpy

Time Reference for Flows  Batch  Source Cycle  Destination Cycle  Time Avg (per RCT)

**Figura 29.** Componentes finales del polvo comprimido fruta milagrosa

Stream S-136 ( P-16 --&gt; OUTPUT)

&gt;

Composition, etc. Physical State Env. Properties Comments

Stream Contents  Total  Liquid/Solid  Vapor

Composition Data

	Component	Flowrate (kg/batch)	Mass Comp. (%)	Concentration (g/L)
1	Carbohydrates	10.96132	11.0990	158.860222
2	Citric Acid	4.38453	4.4396	63.544089
3	Esteviol	4.37571	4.4307	63.416276
4	Solidos	0.00000	0.0000	0.000009
5	Sucrose	78.00000	78.9797	1130.438039
6	Water	1.03798	1.0510	15.043189

Total Flowrates

Mass Flow  kg/batch

Volumetric Flow  L/batch

Temperature  °C

Pressure  bar

Enthalpy  kW-h/batch

Units Mass  Vol.  Composition  Conc.  Enthalpy

Time Reference for Flows  Batch  Source Cycle  Destination Cycle  Time Avg (per RCT)

**Figura 30.** Componentes finales del edulcorante

## ANEXO G: Proceso de simulación

