

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Estudio de prefactibilidad de una planta de producción de un
colorante natural extraído de la semilla de aguacate para un
alimento funcional**

David Sebastián Heredia Silva

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Químico

Quito, 04 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Estudio de prefactibilidad de una planta de producción de un colorante natural extraído de la semilla del aguacate para un alimento funcional

David Sebastián Heredia Silva

Nombre del profesor, Título académico

Lourdes Orejuela, Ph. D

Juan Diego Fonseca, Ph.D

Quito, 05 de mayo de 2020

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 el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: David Sebastián Heredia Silva

Código: 00131784

Cédula de identidad: 1716753478

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2020

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UNPUBLISHED DOCUMENT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

Este estudio se enfocará en cubrir la demanda de colorante de la provincia de Pichincha-Ecuador. Es importante la implementación de una planta de colorante natural como una alternativa para los colorantes artificiales, prohibidos en gran cantidad de países por sus efectos secundarios perjudiciales. La producción de colorante benzotropano glicosilado ($C_{29}H_{30}O_{14}$) no produce efectos dañinos y provee gran cantidad de beneficios.

Para la implementación de esta planta se ha propuesto la adquisición de semillas de aguacate en restaurantes de la ciudad de Quito, los cuales tienen un alto consumo de aguacates. La extracción se realizará con solvente orgánico, etanol 70% v/v, el diseño de la planta se ha partido de los balances de masa para obtener las dimensiones de cada equipo, de acuerdo con los caudales de entrada y salida de cada operación. Para estimar los costos de los equipos, se emplearon los métodos factoriales de Hand y factorial detallado. Adicionalmente, se investigó en el mercado el costo de equipos con características similares, obteniendo menores costos. Se obtuvo un tiempo de retorno de 5,6 años, por lo que esta planta se considera rentable; buscando una mayor rentabilidad se sugiere: añadir la operación de liofilización después del lavado de la semilla para retirar su humedad, lo cual aumentará el rendimiento de extracción del colorante natural; realizar la extracción con una solución alcohólica acidificada para disminuir el tiempo de extracción y por último se propone utilizar sistemas de calentamiento a partir de vapor, pues implicaría una gran disminución del consumo energético.

Palabras clave: Benzotropano glicosilado, etanol, proceso, colorante natural, extracción, biomasa.

ABSTRACT

The present work seeks to design a pilot plant using the avocado seed as raw material to produce natural anthocyanin glycosylated benzotropone dye. It will cover the demand of the Pichincha province, in Ecuador. The production of natural colorants is important because they are an alternative for artificial colorants which have been banned in many countries due to their secondary effects related to health. The production of glycosylated benzotropone compound ($C_{29}H_{30}O_{14}$) do not produce harmful effects on health but provides many benefits. For the implementation of this plant, the acquisition of avocado seeds from restaurants in Quito has been considered. The extraction will be performed with an organic solvent, 70% v / v ethanol. For the design, the mass balances have been used to consider the sizes of each equipment according to the input and output flows of each operation. Each equipment has been designed to estimate the cost of equipment with two different methods: Hand and Detailed Factorial, as an addition the cost of each equipment is calculated according to its characteristics and those offered in the market, achieving lower costs. The return time (5.6 years) is not high, so it is concluded that the implementation of this plant is profitable, it is also proposed to add the freeze drying operation after washing the seed to remove moisture from it, which would increase the natural colorant extraction yield and perform the operation with an acidified alcoholic solution to increase the natural colorant extraction. In addition, the use of steam heating systems is proposed, as this would imply a great decrease in energy consumption.

Key words: Anthocyanin, ethanol, process, dye, colored solution, biomass.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introducción | 13 |
| 1.1 | Antecedentes | 13 |
| 1.2 | Justificación | 17 |
| 1.3 | Objetivos | 19 |
| 1.4 | Resultados Esperados..... | 19 |
| 2 | Bases del Diseño | 21 |
| 2.1 | Fundamentos Teóricos..... | 21 |
| 2.2 | Terminología Especializada..... | 21 |
| 2.3 | Descripción del Producto..... | 22 |
| 2.4 | Limitaciones y Normas | 24 |
| 2.5 | Selección del Proceso | 25 |
| 3 | Resultados y Discusión | 29 |
| 3.1 | Objetivo específico 1: Definir el Proceso de Extracción..... | 29 |
| 3.2 | Objetivo específico 2: Diseño de la Planta para Extracción de Colorante | 31 |
| 3.3 | Objetivo específico 3: Análisis Económico..... | 37 |
| 4 | Conclusiones y Recomendaciones..... | 40 |
| 5 | Referencias Bibliográficas..... | 42 |
| 6 | Anexo A: Metodología | 49 |
| 6.1 | Balances de Masa..... | 49 |
| 6.2 | Balance de Energía | 50 |
| 6.3 | Diagrama de Flujo..... | 50 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.4 | Diseño de Equipos | 50 |
| 6.5 | Determinación de Costos de la Planta | 57 |
| 7 | Anexo B: Resolución Balances de Masa y Energía | 59 |
| 7.1 | Balance de Masa | 59 |
| 7.2 | Balance de Energía. | 60 |
| 8 | Anexo C: Dimensionamiento | 62 |
| 8.1 | Tanques | 62 |
| 8.2 | Agitador | 65 |
| 8.3 | Bomba..... | 66 |
| 8.4 | Molino..... | 66 |
| 8.5 | Filtración..... | 67 |
| 8.6 | Secador..... | 67 |
| 8.7 | Evaporador y Condensador..... | 68 |
| 9 | Anexo D: Costos de la Planta..... | 72 |
| 9.1 | Costos Comunes de equipos de planta..... | 72 |
| 9.2 | Costos ISBL por Método de Hand y Factorial Detallado | 74 |
| 9.3 | Costos ISBL por Valores Conseguídos en el Mercado..... | 75 |
| 9.4 | Costos Materias Primas..... | 76 |
| 9.5 | Ganancia por Venta..... | 76 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Propiedades físicas importantes del etanol. | 23 |
| Tabla 2. Nomenclatura de equipos del proceso. | 27 |
| Tabla 3. Valores de las variables conocidas. | 29 |
| Tabla 4. Caudales y corrientes obtenidas en los balances de masa para un día de producción. | 30 |
| Tabla 5. Requerimiento energético para los equipos. | 31 |
| Tabla 6. Dimensiones de tanques..... | 32 |
| Tabla 7. Dimensión tanque de lavado..... | 33 |
| Tabla 8. Condiciones de operación del molino de bolas. | 33 |
| Tabla 9. Dimensiones para el tanque extractor. | 34 |
| Tabla 10. Dimensiones para el área de filtración..... | 35 |
| Tabla 11. Dimensiones para la bomba. | 35 |
| Tabla 12. Dimensiones para el evaporador..... | 36 |
| Tabla 13. Potencia del condensador..... | 36 |
| Tabla 14. Dimensiones del horno. | 36 |
| Tabla 15. Estimación de costos de cada equipo de la planta | 37 |
| Tabla 16. Estimación de costos de cada equipo con los precios de mercado. | 38 |
| Tabla 17. Inversión de capital fijo teórico. | 38 |
| Tabla 18. Inversión de capital fijo para costos del mercado..... | 38 |
| Tabla 19. Costos de materias primas. | 39 |
| Tabla 20. Tiempo de retorno de los distintos métodos. | 39 |
| Tabla 21. Valores de las variables conocidas en el proceso. | 59 |
| Tabla 22. Temperaturas de operación del mezclador. | 61 |

| | |
|--|----|
| Tabla 23. Cálculos del diseño del tanque mezclador..... | 62 |
| Tabla 24. Relaciones para el diseño del agitador..... | 65 |
| Tabla 25. Cálculos del diseño de la bomba..... | 66 |
| Tabla 26. Datos tomados en cuenta para el diseño del filtro. | 67 |
| Tabla 27. Cálculos realizados para el área de filtración. | 67 |
| Tabla 28. Datos tomados en cuenta para el diseño del secador. | 67 |
| Tabla 29. Cálculos realizados para el diseño del secador. | 67 |
| Tabla 30. Costo de los equipos en el método de Hand y el Factorial detallado. | 74 |
| Tabla 31. Costos ISBL y OSBL en los distintos métodos. | 74 |
| Tabla 32. Costos generados por el ISBL y OSBL. | 74 |
| Tabla 33. Costo de los equipos en el mercado..... | 75 |
| Tabla 34. Costos ISBL y OSBL en los distintos métodos. | 75 |
| Tabla 35. Costos generados por el ISBL y OSBL. | 75 |
| Tabla 36. Precio de la obtención de semillas de aguacate. | 76 |
| Tabla 37. Precio de la obtención de semillas de aguacate. | 76 |
| Tabla 38. Costos de materia prima y electricidad por unidad de venta. | 76 |
| Tabla 39. Ganancia por unidad de venta..... | 76 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama de Bloque para proceso de extracción de colorante..... | 25 |
| Figura 2. Diagrama de Bloque para proceso de extracción del colorante añadiendo la operación de liofilización. | 26 |
| Figura 3. Diagrama de Flujo para proceso de extracción de colorante..... | 27 |
| Figura 4. Subsistemas para resolución de balance de materia. | 30 |
| Figura 5. Relaciones de medidas entre el mezclador y el agitador. | 52 |
| Figura 6. Relaciones entre Reynolds y la velocidad del agitador. | 53 |
| Figura 7. Cálculos realizados para el dimensionamiento de TK-001. | 62 |
| Figura 8. Cálculos realizados para el dimensionamiento de TK-002. | 63 |
| Figura 9. Cálculos realizados para el dimensionamiento de TK-001. | 64 |
| Figura 10. Cálculos realizados para el dimensionamiento de WH-201..... | 65 |
| Figura 11. Cálculos realizados para el dimensionamiento de WH-201..... | 66 |
| Figura 12. Componentes utilizados para en la simulación. | 68 |
| Figura 13. Paquete termodinámico utilizado. | 68 |
| Figura 14. Especificaciones de la corriente C41..... | 69 |
| Figura 15. Composiciones de la corriente C41..... | 69 |
| Figura 16. Corrientes del evaporador..... | 69 |
| Figura 17. Dimensiones del evaporador. | 69 |
| Figura 18. Especificaciones de la corriente C05..... | 70 |
| Figura 19. Especificaciones de la corriente C20..... | 70 |
| Figura 20. Corrientes del condensador. | 70 |
| Figura 21. Diferencia de temperatura del condensador. | 70 |
| Figura 22. Especificaciones de la corriente de salida del condensador. | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 23. Diseño de la simulación de evaporador y condensador..... | 71 |
| Figura 24. Corrientes del material. | 71 |
| Figura 25. Composiciones de las corrientes. | 71 |
| Figura 26. Potencia del evaporador y condensador. | 71 |
| Figura 27. Costos comunes en equipos de planta. | 72 |
| Figura 28. Costos comunes en equipos de planta. | 73 |

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los colorantes en la industria alimenticia son aditivos que proporcionan color a los alimentos, modificándolos y ajustando sus cualidades físicas de acuerdo con las especificaciones del consumidor. El primer registro oficial del uso regulado de colorantes se dio en 1886, cuando el Congreso de EE. UU. aprobó el uso de colorantes amarillos para la elaboración de mantequilla, para 1900 varios alimentos ya poseían colorantes (FoodInnova, 2014).

Existen varias razones para el uso de colorantes en la industria alimentaria, entre estos encontramos la necesidad de mejorar el aspecto de algunos alimentos y recuperar el color que se ha perdido en el proceso de elaboración y producción de dichos alimentos para que sean aceptados por el consumidor.

El marketing es importante en la industria ya que permite conocer, comunicar y entregar al consumidor lo que este está esperando. Una de las ramas del marketing es el neuro-marketing, el cual se entiende como el estudio del proceso de la toma de decisiones de los posibles consumidores antes, durante y después de la compra, por medio de estímulos (De Andreis, 2012). En la industria alimentaria, el paladar no es el único involucrado en el disfrute de la comida, tanto la vista como el olfato son igual de importantes, por esta razón se elaboran pocos alimentos de color azul, ya que el cerebro no percibe este color como apetitoso, por el contrario, los rojos, naranjas y amarillos si son colores atractivos al paladar, es por esto que al momento de crear nuevos alimentos se utiliza la gama de colores cálidos (Durà-Castany, 2017).

Según La Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA), los colorantes en la industria alimentaria se pueden dividir en dos grandes grupos, artificiales y

naturales; esta clasificación depende de las materias primas de las cuales se obtienen. Los colorantes naturales son aquellos que se extraen del mismo alimento u otras materias naturales (Hatzakis, 2019).

Actualmente, se ha visto un decrecimiento en el uso de colorantes artificiales en el mundo, un claro ejemplo son empresas como McDonald's, Kellogg y General Mills quienes indicaron que están eliminando los colorantes artificiales por cuanto la gente rehúye cada vez más a cualquier alimento que no se sienta natural (New York AP, 2018) esto se debe a sus efectos negativos en la salud de sus consumidores, entre los que encontramos: crisis de asma, migrañas, problemas de visión, cáncer, alergias e hiperactividad (Morales, 2020). Por estas razones varios de los colorantes que se utilizaban por su reducido costo, han sido prohibidos; un claro ejemplo es el colorante Red 2G, el cual ha sido prohibido en Reino Unido por sus efectos cancerígenos, mientras que en otros países se ha aprobado su uso hasta en 20 mg por kilo (Bruselas, 2020).

La demanda de colorantes naturales crece a una tasa de 8% al año y que representa un mercado de más de USD 3.500 millones en el mundo y que se estima superará los USD 7 800 millones en la próxima década (Gaete, 2017). Uno de los principales pigmentos que compete con los colorantes sintéticos son las antocianinas, estas abarcan una gama de colores desde el rojo al azul y han atraído gran interés debido a que son antioxidantes (Bertking et al., 2007) y a sus efectos terapéuticos, reducción de enfermedades coronarias, efectos anticancerígenos, antitumorales, antiinflamatorios, efectos antidiabéticos y mejoramiento en la agudeza visual (Garzón, 2008). Se espera que el mercado de colorantes alimentarios alcance los US \$ 3.75 mil millones para el 2022, teniendo en cuenta que la demanda del consumidor ha puesto énfasis en la salud y procesos de bienestar y ecológicos, es decir teniendo una percepción negativa hacia los colorantes sintéticos y teniendo más afinidad hacia los colorantes naturales (Rizvi y Pantalón, 2016).

Las antocianinas son el pigmento hidrosoluble más importante. Está presente en varias frutas, vegetales y cereales acumulados en las vacuolas de la célula. Estas representan una alternativa al Rojo No.2 y al Rojo No. 40 que ya han sido prohibidos en Austria, Japón, Noruega y Suecia, en Estados Unidos, aún se encuentra en escrutinio (Garzón, 2008).

Existe mayor acumulación de antocianinas en flores y frutas, aunque también están presentes en hojas, tallos, órganos de almacenamiento y granos (Aguilera, 2011). La ingesta de antocianinas en el mundo ha aumentado exponencialmente debido a la evidencia de sus beneficios para la salud y el aumento del mercado de extractos de jugos de frutas y vegetales con alto contenido de antocianinas (Tsuda, 2012).

Una de las principales limitaciones al momento de usar antocianinas es la obtención de la materia prima de la cual se extraen; por esta razón se han realizado estudios para utilizar biomasa residual.

Por otro lado, se encuentran las enzimas polifenol oxidasas (PPO) quienes son las responsables de la producción de pigmentos amarillo-rojo y se encuentran en bacterias, mamíferos y plantas. Estas enzimas tienen la capacidad de unirse a una molécula externa de difenol y oxidarla a una O-quinona. Estas O-quinonas se convierten a través de vías no enzimáticas en pigmentos rojos, marrones y negros que son los que observamos en manzanas y plátanos; en algunas ocasiones las PPO contribuyen en el desarrollo de teaflavinas con estructura de benzotropolone que son pigmentos generalmente de color amarillo, naranja, rojo o marrón (Hatzakis, 2019). Estos pigmentos, poseen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas, antidiabéticas y cardioprotectores; varios estudios demuestran que el cuerpo humano absorbe el 94% de las teaflavinas lo cual es beneficioso para que las propiedades dichas anteriormente reaccionen el ser consumidas (Pereira, 2017).

De acuerdo con lo propuesto por Tituaña, 2019 se ha encontrado que el pH afecta el comportamiento del colorante, al entrar en contacto con la leche (pH entre 6.6 y 6.8) toma un

color rosáceo, por otro lado, al añadirse en yogurt (pH entre 4.4 y 4.6) toma un color anaranjado intenso, por lo tanto se considera que el uso del colorante, benzotropona glicosilada, es potencialmente el más adecuado para reemplazar los colorantes utilizado en el yogurt de durazno.

El yogurt es un alimento lácteo obtenido de la fermentación bacteriana de la leche. Su sabor y textura se lo obtiene de la conversión de la lactosa en ácido láctico. Las bacterias necesarias para la preparación de este alimento son *Lactobacillus bulgaricus* y el *Spreptococcus thermophilus* a bajas temperaturas; estas bacterias empiezan a ingerir la lactosa de la leche, liberando ácido láctico (Vele, 2012). Se le atribuyen cualidades beneficiosas para salud entre las cuales encontramos: disminución de colesterol, absorción de grasas, combate las diarreas y el estreñimiento, combate las infecciones y reconstruye la flora intestinal (Quinatoa, 2011).

Las principales industrias lácteas en el Ecuador son Alpina y Kiosko, Toni y Nestlé, Pasteurizadora Quito, Andina las cuales han realizado gran innovación en su tecnología para competir en el mercado de lácteos (Freire, 2014).

Desde el 2017 se ha observado como la industria láctea ecuatoriana se ha dinamizado gracias a las mejoras tecnológicas y de producción, un claro ejemplo es la empresa Pasteurizadora Quito que se ha visto beneficiada aumentando en un 44% las ventas de yogurt debido a la incorporación de las nuevas marcas de yogurt Vita Life (González, 2017). La industria láctea en el país mueve cerca de \$1 400 millones en el año (Guevara, 2019).

El consumo de yogurt en la ciudad de Quito tiene un crecimiento promedio de 11,6%, esto se debe a su buena inserción en la dieta de los ecuatorianos y a los beneficios al consumirlo (Freire, 2014).

En el Ecuador el consumo de yogurt es de 9 000 000 L, de los cuales Pichincha representa el 17% de este consumo, siendo aproximadamente 1 000 000 L de yogurt, donde aproximadamente el 30% de la población de pichincha prefiere el yogurt de durazno. (Ramírez, 2020). Para un litro de yogurt son necesarios 20 g de colorante (lo cual es equivalente a una

cucharada sopera), esto se lo estimó a partir de varias investigaciones que extraen un colorante similar en lo que se refiere a su absorbancia y espectro visible (Vicente, 2018).

Para abastecer el mercado de Pichincha son necesarios 6 600 kg de colorante al año, es decir, 550 kg de colorante al mes.

1.2 Justificación

Hoy en día, lo que los países están buscando es una bioeconomía sostenible y rentable, donde las biorrefinerías vienen a ser una herramienta clave para este desarrollo (Moral, 2020). En Ecuador, la biomasa residual es una materia prima renovable tanto en la cosecha como en la planta industrial para su procesamiento, esta biomasa es rica en componentes químicos que pueden ser aprovechados como fuentes de bioenergía, biomateriales y bioproductos (Orejuela, 2018). Es necesaria la implementación de nuevas tecnologías innovadoras de bienes de consumo de calidad y amigables con el medio ambiente, para que de esta forma la industria nacional sea más competitiva (Encinck, 2018).

Las industrias forestales, agrícolas, agroindustriales y de alimentos generan grandes volúmenes de biomasa residual que causan polución y deterioro ambiental, por lo tanto, la implementación de una economía cero desechos y circular viene a ser una alternativa positiva para el medio ambiente (Orejuela, 2019).

En el presente proyecto se utilizará como materia prima semillas de aguacate para la extracción de colorante que se utilizaría en el yogurt de durazno. En los distintos locales de comida japonesa, mexicana y nacional, se utiliza el aguacate como producto principal en sus platos. La semilla de aguacate es un desperdicio alimenticio por lo que se lo trata como basura, en promedio los restaurantes de comida japonesa, mexicana y tradicional en la ciudad de Quito utiliza 100 aguacates diarios, este dato se obtuvo al visitar varios restaurantes de la ciudad de

Quito y obtener el consumo promedio del aguacate. Anualmente se desechan 1 437 toneladas métricas de semilla de aguacate (El Comercio, 2019), y que podrían ser utilizadas como materia prima para distintos procesos para la obtención de diferentes bioproductos con alto valor agregado (Orejuela, 2019).

Una de las características principales que diferencia a Ecuador del resto de países, es que en nuestro país se puede producir aguacate durante todo el año, por lo que este cultivo promete ser una gran alternativa de producción y exportación compitiendo con países productores que no poseen esta ventaja y abarcando gran parte del mercado chileno, colombiano y estadounidense (INIAP, 2014). Esta es una característica importante ya que la materia prima para obtener el colorante benzotropona glicosilada siempre estará disponible y siendo un desecho alimenticio tendrá un costo bajo o sería gratuito.

El colorante natural a partir de la semilla de aguacate es soluble en agua, es biodegradable, no genera efluentes tóxicos, se lo obtiene en polvo y es estable a la luz y a toda la gama de pH alimenticio (Tituaña, 2019). Se logra la tinción y un producto de alta calidad que no presenta efectos secundarios, por el contrario, tiene beneficios para la salud, lo cual resulta atractivo para los consumidores (Orejuela, 2018).

La industria de pigmentos naturales se proyecta como una gran oportunidad en el mercado de colorantes, debido a que se proyecta que al año 2024 el mercado global de tintes naturales crezca a los 5,54 billones, siendo el rubro de alimentos y bebidas el sector con mayor crecimiento (+1,16 billones de dólares) (PROMPERÚ, 2019).

De igual forma la implementación de una nueva planta industrial, implicaría: nuevas plazas de trabajo, una idea innovadora que no se ha puesto en práctica en el país, se espera logre evitar la salida de divisas por la importación de colorantes del extranjero, la cual asciende al monto de USD 159 097 importado desde 65 países (INTRACEN, 2019) siendo una inversión que podría redirigirse a sectores estratégicos, conseguiría una economía circular lo cual es

beneficioso para el medio ambiente y ampliaría la oferta de productos manufacturados en Ecuador dentro de los cuales el sector de producción de colorantes es poco relevante teniendo un valor de exportaciones de solamente USD 9 894 (INTRACEN, 2019).

1.3 Objetivos

Objetivo general.

- Realizar un estudio de prefactibilidad de una planta piloto para la extracción de colorante de la semilla del aguacate por medio de Etanol al 70% v/v para abastecer la demanda de colorante para yogurt de durazno de la provincia de Pichincha.

Objetivos específicos.

- Definir el proceso de extracción.
- Diseñar la planta para extracción de colorante.
- Realizar un análisis económico para la implementación de la planta.

1.4 Resultados Esperados

La factibilidad del mercado se espera que sea viable, no solo por la buena acogida que se ha visto en el mercado de colorantes naturales (New York AP, 2018), sino también por su valor agregado explicado anteriormente. Se espera que los consumidores al saber la gran ventaja del uso del aditivo natural en la oferta de yogurt de durazno, sea bien recibido incluso aumentando la cantidad de consumidores de yogurt.

Una de las principales limitaciones al producir colorante natural, radica en su escasa y costosa materia prima para su producción (Beltrán, 2014), lo cual no aplicaría en este caso. La innovación de la entrega de un producto obtenido a partir de una materia prima natural llama la atención del mercado al formar parte de la corriente de reciclaje y economía sustentable tan

arraigada en la cultura actual, por otro lado, la producción de este tipo de colorante beneficiará a las industrias ya que permitirá utilizar un producto de origen natural buscando así evitar su prohibición, tal como se ha visto en distintos países de la Unión Europea quienes han aplicado prohibiciones al uso de colorantes artificiales (Bruselas, 2020).

2 BASES DEL DISEÑO

2.1 Fundamentos teóricos.

El colorante obtenido pertenece al grupo de los flavonoides y su estructura molecular consta de un núcleo flavona, el cual está constituido de dos anillos aromáticos unidos por una unidad de tres carbonos (Moreno, 2013). El estudio realizado por Hatzakis (2019) propone que el colorante extraído de la semilla del aguacate posee varios compuestos que pueden contribuir a su color final como las antocianinas que se creía era el más abundante, aunque la investigación de Hatzakis ha demostrado que, además de estar conformado por antocianinas y PPO, el más abundante es un novedoso compuesto llamado benzotropona glicosilada, cuya identificación es reciente y del cual se han descrito aspectos beneficiosos para la salud tales como efectos antioxidantes (Dabas, 2019), antiinflamatorios y anticancerígenos (Dabas, 2012). Para su extracción generalmente se utiliza metanol o etanol, en estos distintos medios de extracción no se encuentran diferencias en la absorbancia ni en la eficiencia de la extracción (Abdel-Aal y Hucl, 1999). Es recomendable la utilización de etanol, ya que posee índices bajos de toxicidad, por lo que su extracto puede ser utilizado en la industria alimentaria o farmacéutica.

2.2 Terminología especializada.

- Antocianina: Pigmentos hidrosolubles presentes en las vacuolas de las células vegetales. Posee tonalidades desde rojo a púrpura (Burton-Freeman, 2016).
- Flavonoides: Los flavonoides son sustancias fenólicas aisladas de una amplia gama de plantas vasculares, con más de 8000 compuestos individuales conocidos. Son un grupo de nutrientes vegetales que se encuentran en frutas, verduras y especias.

2.3 Descripción del producto.

El extracto se obtiene en estado sólido, por medio de la evaporación del solvente utilizado, esto es beneficioso para el manejo del producto pues su empaquetado y distribución se lo realizará por peso en seco. La evaporación del etanol es sencilla ya que, al ser un compuesto volátil se realiza a una temperatura relativamente baja (79°C) lo cual no implica altos costos energéticos (Torres, 2011). Su sabor no es de aguacate y no interfiere al añadirlo con otros alimentos, posee ligero aroma a té (Zeigler, 2019).

Su conservación y almacenamiento es independiente del solvente utilizado, es estable tanto a temperatura ambiente (25°C) como a refrigeración (4°C) indistintamente de las condiciones de luz durante 15 días. Después de 15 días tiende a presentar fluctuaciones (Tituaña, 2019).

Para su presentación comercial se recomienda sea en sistemas con poca disponibilidad de agua o impermeables (Tituaña, 2019).

Descripción de materias primas.

Las materias primas necesarias para este proceso son:

- Semillas de Aguacate
- Solución de Etanol al 70 % v/v

Semilla del aguacate.

La semilla se encuentra dentro del fruto, esta es redonda de color amarillo claro de 5 a 6 cm de largo, se encuentra recubierta de una delgada capa leñosa de color marrón, su peso varía de entre 40 a 75 gramos, esto depende de la temporada y las condiciones del cultivo, posee componentes fenoles que funcionan como antioxidantes, además posee gran cantidad de

fibra, ácidos grasos, vitamina E, minerales como magnesio, fibra y más de 20 nutrientes esenciales (Barbosa, 2016).

Esta materia prima se obtendrá de los desperdicios alimentarios de los distintos restaurantes de Quito, para esto se ha dialogó con varios restaurantes de comida japonesa, quienes indicaron que en promedio al día consumen 100 aguacates por local, teniendo como desperdicio la semilla de éste.

Para el presente trabajo es necesario visitar 92 locales para abastecer la demanda de un mes de producción.

El almacenamiento se lo realizará a temperatura una temperatura de 15-20°C, evitando el contacto con la luz solar.

Etanol 70% v/v.

Tabla 1. Propiedades físicas importantes del etanol.

| Propiedad | Unidad | Valor |
|------------------------------|---------------|--------------|
| Punto de ebullición | °C | 78,32 |
| Temperatura critica | °C | 243,1 |
| Densidad | g/mL | 0,7893 |
| Color de combustión a 25°C | J/g | 29676,69 |
| Temperatura de autoignición | °C | 793 |
| Límites inflamables en aire: | | |
| Bajo | vol% | 4,3 |
| Alto | vol% | 19 |

Fuente: (Torres, 2011)

El etanol es un componente que se obtiene de la caña de azúcar, su principal uso en el Ecuador es para la producción de gasolina Eco-país (ARP SURA, 2020). Los principales productores de etanol en el Ecuador son Producargo, Soderal y Codana. Estas tres alcoholeras tenían planeado en el 2019 despachar 110,5 millones de litros de etanol en 14 meses (El Comercio, 2019). El precio del litro de etanol en el 2018 fue de USD 0,80, mientras que el importado era de USD 0,72 y USD 0,74. (El Comercio, 2019).

Su transporte y almacenamiento se lo realiza de la misma forma que la gasolina, en transporte especializado, esto se lo realiza por carreteras evitando el tránsito de la ciudad. Se debe tener precaución para no contaminar con agua, residuos de gasolina, Diesel, biodiesel y óxido de hierro (García, 2008).

2.4 Limitaciones y normas.

Limitaciones.

Los estudios indican que los colorantes sintéticos pueden resistir altas temperaturas y exposición de luz, mientras que los colorantes naturales tienen baja resistencia a estas condiciones, convirtiéndose esto en una de sus desventajas, lo que no ocurre con el colorante extraído de la semilla de aguacate, que ha demostrado ser una molécula estable a una variedad de condiciones de luz y temperatura lo cual lo hace más atractivo para la industria, esto se puede deber a su aromaticidad ya que posee un sistema aromático de electrones (Hatzakis, 2019) .

Para el uso alimentario de este colorante, es necesario cumplir ciertas normas de toxicidad. La medida de toxicidad de cualquier producto se divide en dos tipos: toxicidad aguda y la genotoxicidad, realizando las pruebas a la solución etanólica de la semilla de aguacate, se obtuvieron los siguientes resultados:

a. Toxicidad aguda: se debe a los distintos métodos de extracción. Para un extracto etanólico la dosis letal media es de 1200,75 mg/kg. (Cuenca and Sabando, 2020)

b. Genotoxicidad: Con una concentración de 250 mg/kg no se presentó células dañadas, por lo que no existe esta forma de toxicidad. (Cuenca and Sabando, 2020)

Una de las limitaciones más importantes al extraer un pigmento derivado de antocianina es el efecto del pH, este altera el color del pigmento dependiendo en el grado de acidez de la sustancia en la cual va a ser insertado.

Normas.

Las normas que rigen el uso de aditivos alimentarios es la Codex Alimentarius, estas son un conjunto de normas que son aprobadas por una Comisión del Codex Alimentarius conocida por su acrónimo CAC, constituye el elemento central del Programa Conjunto FAO/OMS, de las normas establecidas por la OMS y la FAO (ALIMENTARIOS, S. A. 2010).

2.5 Selección del proceso.

Existen distintos métodos que se han empleado para la extracción de colorante natural, entre los principales encontramos: extracción con agua, dióxido de carbono, agua acidificada, metanol y etanol. Para todos estos métodos de extracción se utiliza las mismas operaciones unitarias el único cambio es el solvente utilizado para la extracción (Menéndez, 2008).

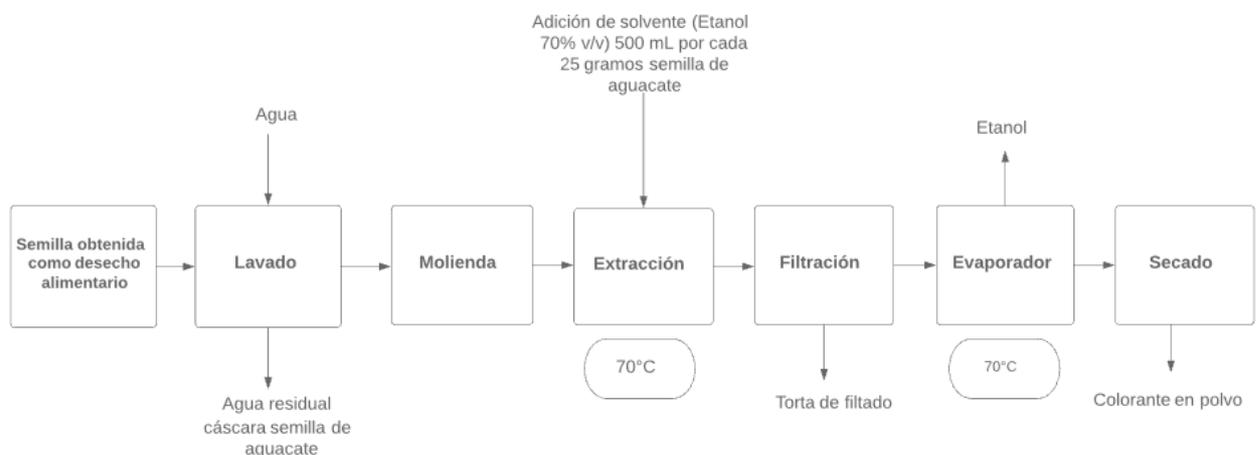


Figura 1. Diagrama de Bloque para proceso de extracción de colorante.

En algunos métodos es recomendable la adición de una liofilización antes de la molienda para eliminar toda la humedad en la semilla, reduciendo en un 30% el tiempo de extracción del colorante, esto implicaría menor costo energético en la operación de extracción (Menéndez, 2008).

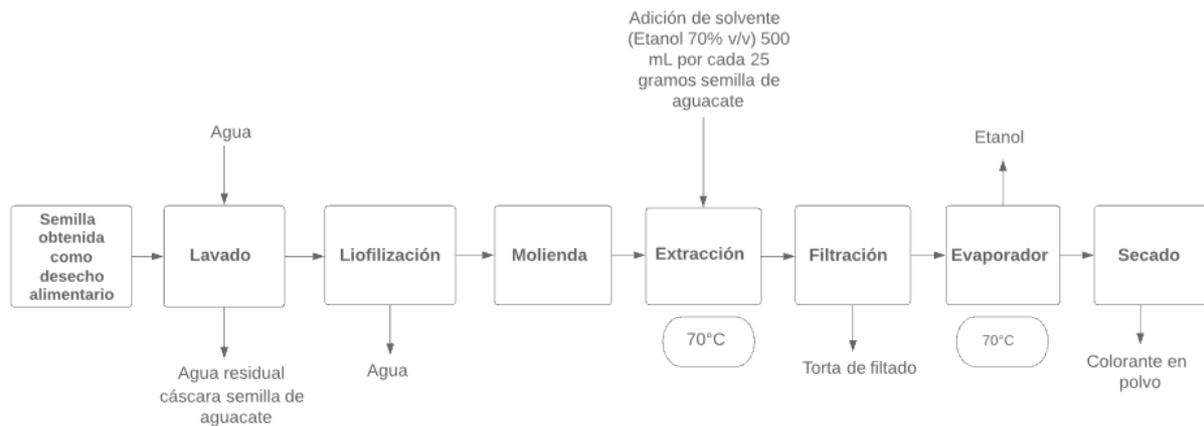


Figura 2. Diagrama de Bloque para proceso de extracción del colorante añadiendo la operación de liofilización.

Papadopoulou, Efstathiadou, Patila, Polydera, & Stamatis, (2016) indicaron que el método óptimo para la extracción de colorante destinados a la industria alimentaria es mediante etanol, esto es debe a que su extracto no resulta tóxico y pose buenas concentraciones de pigmento en comparación con los métodos de extracción mencionados anteriormente.

La metodología utilizada para la extracción con etanol al 70% v/v es una combinación de las metodologías propuestas por Segovia et al., 2016 y Suarez et al., 2016 las cuales presentan un rendimiento de 23%.

Posteriormente se elimina esta solución alcohólica de la solución mediante temperatura y presiones elevadas que permiten la separación del etanol de la solución.

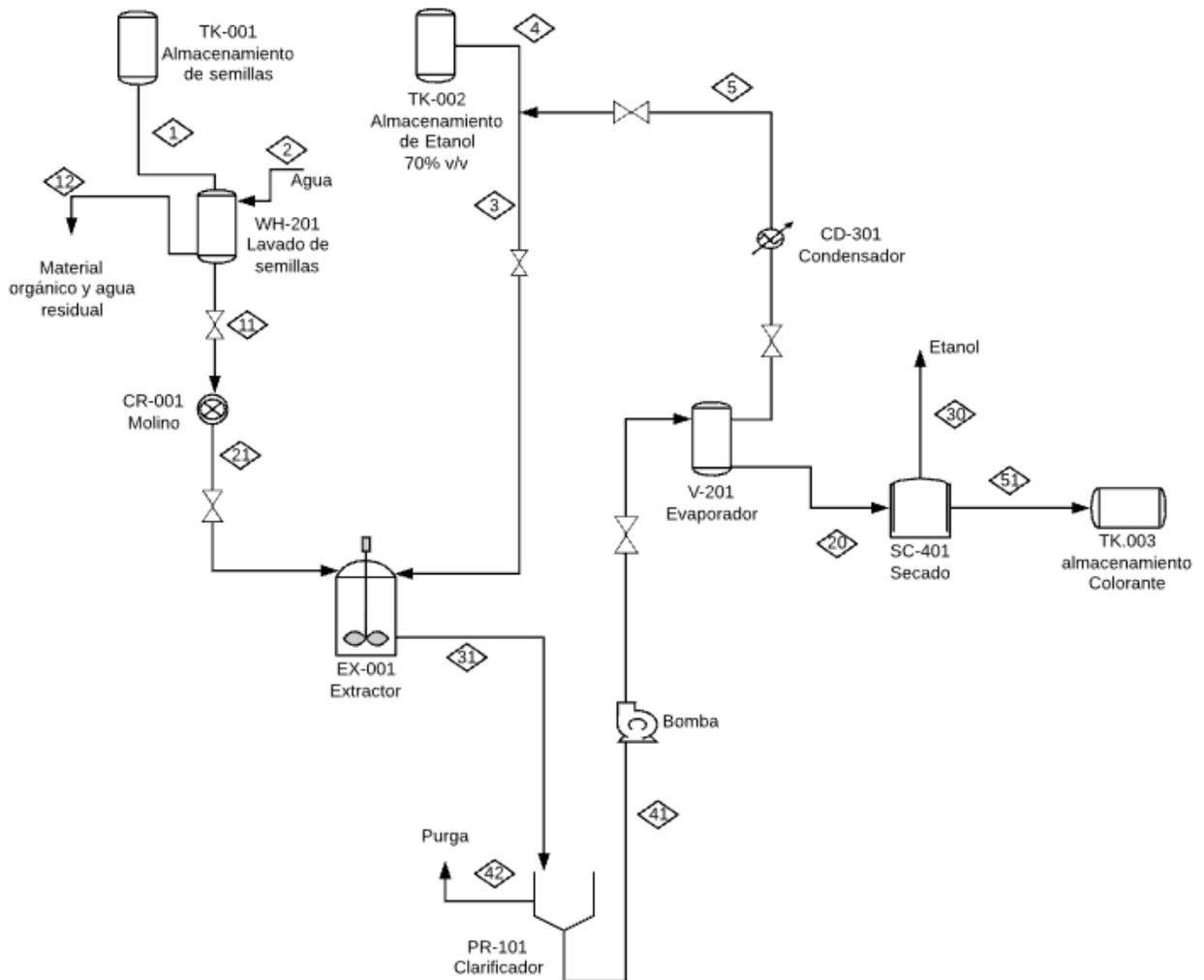


Figura 3. Diagrama de Flujo para proceso de extracción de colorante.

Tabla 2. Nomenclatura de equipos del proceso.

| Nomenclatura de equipo | Descripción |
|------------------------|---|
| TK-001 | Tanque de almacenamiento de semillas |
| TK-002 | Tanque de almacenamiento de Etanol |
| TK-003 | Tanque de almacenamiento de colorante |
| WH-201 | Tanque de Lavado |
| CR-001 | Molino |
| EX-001 | Tanque extractor de la solución coloreada |
| PR-101 | Percolador |
| V-201 | Evaporador |
| SC-401 | Secado |
| CD-301 | Condensador |

Ubicación.

La planta estaría ubicada en la ciudad Machachi, perteneciente al Cantón Mejía, localizado a 2945 msnm con un clima promedio de 14°C. La principal economía de esta zona está dada por la producción de agua mineral, la agricultura, la ganadería y el transporte. Los principales ingresos se dan por el comercio formal e informal lo cual ha dado como resultado la formación de microempresas dedicadas a los lácteos.

Algunas de las empresas dedicadas a la producción de lácteos en Machachi son: Ecuilac, Caserio, Adrianita, Manuelita, Productos ZUU, Doplim, Alpina entre otros. Como se puede observar existen grandes y pequeñas empresas dedicadas a la producción de yogurt en la ciudad de Machachi por lo que la implementación de aditivos para yogurt en esta zona sería beneficioso para obtener nuestro producto en estas empresas. El transporte de la semilla de aguacate se lo realizará en camiones de 10 toneladas, cuyo arriendo tiene un costo entre de USD 30 y USD 50 y se planea hacer una vez por mes lo cual se puede concluir que es relativamente barato y al ubicar la planta cerca de industrias lácteas se espera que esto sea más cómodo y atractivo para estas industrias ya que podrían obtener el producto en menor tiempo.

Machachi tiene su propio parque industrial, existen lotes de distintos tamaños en venta, el precio del m^2 es de USD 100.

El parque cuenta con:

- Garita de acceso.
- Cerramiento perimetral.
- Sistema de seguridad interno.
- Vías de hormigón de 14 m de ancho cubierta con adoquines de colores.
- Cableado subterráneo.
- Fuentes de agua.
- Áreas verdes y comunales de aprox. 13 hectáreas.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Objetivo específico 1: Definir el proceso de extracción.

Para diseñar el proceso se deben definir los caudales y composiciones de las corrientes, así como las condiciones de operación y requerimientos energéticos de los equipos para los cuales son necesarios.

El caudal de producción y de materias primas se determinó al realizar un estudio del mercado de yogurt de durazno en la provincia de Pichincha, teniendo una oferta de 25 000 L de yogurt de durazno al mes, para el cual son necesarios 550 kg de colorante y $11m^3$ de etanol, esto se justifica con el rendimiento del 23% que tiene el proceso de extracción.

Para las corrientes se realizaron balances de masa, para los requerimientos energéticos balances de energía y para las condiciones de operación se definieron según resultados experimentales y bibliografía. Las corrientes conocidas se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de las variables conocidas.

| Corriente | Descripción | Cantidad | Unidad |
|-----------|----------------------|----------|--------|
| C01 | Semillas de aguacate | 79.70 | kg |
| C02 | Agua de Lavado | 318.80 | L |
| C03 | Etanol 70% v/v | 1655 | kg |
| C21 | Semillas molidas | 77.39 | kg |
| C42 | Torta de filtración | 383 | kg |
| C51 | Colorante en polvo | 18.33 | kg |

Los balances de masa y energía se realizaron según la metodología descrita en el Anexo A. Se definieron los siguientes subsistemas:

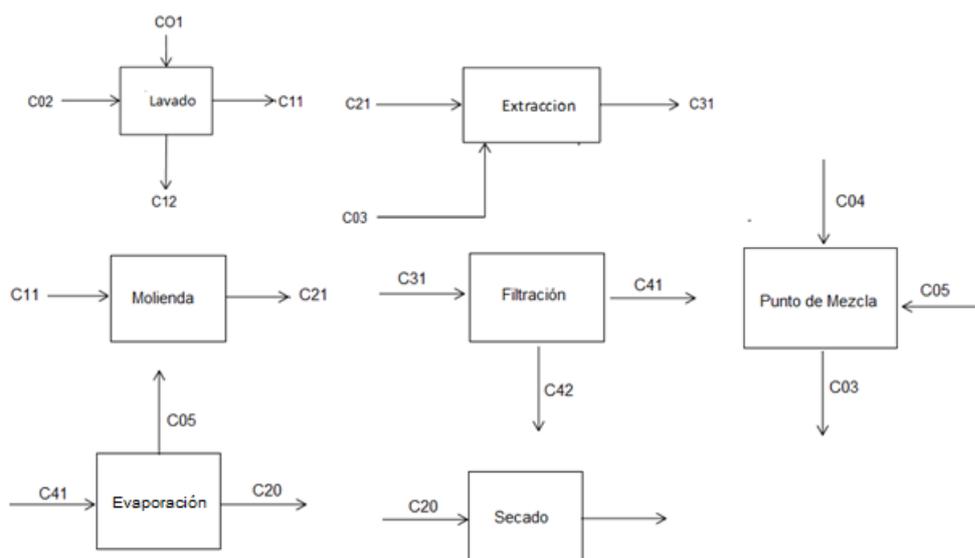


Figura 4. Subsistemas para resolución de balance de materia.

Al realizar los balances de materia en los subsistemas representados en la Figura 4, se obtuvieron los caudales de todas las corrientes como se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Caudales y corrientes obtenidas en los balances de masa para un día de producción.

| Corriente | Descripción | Cantidad | Unidad |
|-----------|--------------------------------------|----------|----------------|
| C01 | Semillas de Aguacate | 79,70 | kg |
| C02 | Agua de lavado | 318,80 | L |
| C03 | Etanol 70% v/v | 2,10 | m ³ |
| C04 | Etanol del Tanque Principal | 0,21 | m ³ |
| C05 | Recirculación Etanol | 1,89 | m ³ |
| C21 | Semillas molidas | 77,31 | kg |
| C31 | Solución coloreada | 1732,31 | kg |
| C42 | Torta de filtración | 58,98 | kg |
| C41 | Clarificado | 1673,33 | kg |
| C20 | Solución evaporada | 183,83 | kg |
| C51 | Colorante en polvo | 18,33 | kg |
| C30 | Etanol residual | 0,21 | m ³ |
| C12 | Aguas residuales y elemento orgánico | 321,19 | kg |
| C11 | Semillas lavadas | 398,5 | kg |

Tabla 5. Requerimiento energético para los equipos.

| Nomenclatura de equipo | Descripción | Cantidad | Unidad |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|---------------|
| EX-001 | Tanque extractor | 60,3 | kWh |
| V-201 | Evaporador | 27,0 | kWh |
| SC-401 | Secado | 0,9 | kWh |
| BM-001 | Bomba | 0,1 | kWh |
| CD-301 | Condensador | 21,0 | kWh |

Se logró balancear el proceso y describir todas las corrientes de este. Con estos resultados es posible determinar la capacidad de los equipos donde se llevarán las operaciones unitarias, además de estimar los costos de producción variables del proceso.

3.2 Objetivo específico 2: Diseño de la planta para extracción de colorante.

Para definir el proceso de extracción se tomó en cuenta que el producto va a estar destinado a la industria alimentaria, por lo tanto, los equipos y el proceso deberá ser adaptado para esta industria. Las condiciones de operación de cada equipo se obtuvieron de la Tesis “Evaluación del uso potencial del colorante extraído de la semilla del aguacate (*Persea americana*) como producto funcional alimenticio” de Tituaña, 2019 logrando de esta forma un escalonamiento a la industria, eligiendo equipos que efectúen la misma función que los seleccionados a escala laboratorio y operen a las mismas condiciones para lograr dicho rendimiento.

Aplicando el balance de masa se obtuvieron los volúmenes necesarios para el dimensionamiento de cada equipo para un tiempo de producción de un día, dado que se realizará un proceso Batch.

Tanques.

Se diseñaron 3 tanques de almacenamiento para las materias primas (semillas de aguacate, etanol y colorante extraído) con capacidad de un mes de producción. Dependiendo

el producto o materia prima almacenada se escogió entre 2 materiales para su construcción: Acero Inoxidable AISI 304 para el tanque de etanol y HDPE (High Density Polyethylene) para los tanques de almacenamiento de semillas de aguacate y colorante obtenido.

El diseño de estos tanques se realizó de acuerdo con la metodología propuesta en el Anexo A, tomando los caudales de entrada como el volumen del tanque ya que es un proceso Batch con un sobredimensionamiento del 15% por seguridad.

Al realizar los cálculos expuestos en el Anexo C-Tanques se calcularon las dimensiones expuestas en la Tabla 6.

Tabla 6. Dimensiones de tanques.

| Tanque | Volumen (m³) | Diámetro (m) | Altura (m) | Grosor de pared (mm) |
|---------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| TK-001 | 9,1 | 1,97 | 2,96 | 6,51 |
| TK-002 | 7,2 | 1,83 | 2,74 | 6,27 |
| TK-003 | 0,7 | 0,82 | 1,24 | 4,55 |

Los materiales de fabricación fueron elegidos por sus propiedades, para el TK-002 se optó por un acero inoxidable ya que, al ser un material resistente a la corrosión debida al medio ambiente, además es ampliamente utilizado en industrias alimenticias, cervecera, farmacéutica, dental, etc. No se optó por HDPE ya que a pesar de ser más económico no sería recomendable ya que el etanol al ser una sustancia volátil es recomendable almacenarlo en recipientes de acero para evitar accidentes por estática (Torres, 2011).

Lavado.

El lavado de semillas de aguacates necesarias para un día de producción se realiza en un tanque con aspersores a presión de agua y en su fondo tenga una malla que permita el paso de particulado menor a 2 cm de diámetro, de esta forma se eliminará el agua con las cáscaras

de las semillas de aguacate. Tanto los aspersores como la malla se lo toman en cuenta como factores de fabricación adicionales. Por lo que no se realizó su diseño.

El diseño del tanque se realizó mediante la metodología de diseño de tanques.

Al realizar los cálculos expuestos en el Anexo C-Tanques se determinaron las dimensiones expuestas en la Tabla 7.

Tabla 7. Dimensión tanque de lavado.

| Equipo | Volumen (m³) | Diámetro (m) | Altura (m) | Grosor de pared (mm) |
|---------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| WH-201 | 0,7 | 0,82 | 1,24 | 4,55 |

Al tener una entrada de agua a presión se optó como material el Acero Inoxidable AISI 304 ya que no es corrosivo con agua, y al realizar lavados todos los días este material es mucho más resistente que el HDPE.

Molino.

El molino va a triturar a la semilla ya lavada y seca para que la extracción de colorante sea mucho más efectiva, se optó por un molino de bolas ya que permite la reducción de partícula, pero sin pulverizarla y como ya se mencionó ya se ha utilizado para la extracción de colorante de semillas de achiote.

Al realizar los cálculos presentados en el Anexo C-Molino se obtiene los valores presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Condiciones de operación del molino de bolas.

| Equipo | Volumen (m³) | Velocidad adecuada (RPM) | Carga del molino (kg) | Potencia (kW) |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------|
| CR-001 | 0,36 | 43,94 | 3,27 | 0,011 |

Para realizar la molienda se ha propuesto utilizar bolas de acero ya que su material tiene gran dureza lo cual será útil para triturar las semillas de aguacate, de igual forma estas tienen un tamaño mayor que las semillas pues de esta forma aumenta el área de contacto con las semillas.

Extractor

Para la extracción se ha optado por un tanque con calentamiento y agitación, en donde entrará la semilla ya molida y el etanol necesario para el proceso de extracción. La extracción durará dos horas, tiempo estimado según la Tesis “Evaluación del uso potencial del colorante extraído de la semilla del aguacate (*Persea americana*) como producto funcional alimenticio” de Tituaña, 2019 para conseguir el rendimiento del 23% propuesto en la misma.

Para el diseño del tanque se lo realizó de la misma manera que para tanques. Al realizar los cálculos expuestos en el Anexo C- Extractor se calculó las dimensiones expuestas en la Tabla 9.

Tabla 9. Dimensiones para el tanque extractor.

| Equipo | Volumen (m³) | Diámetro (m) | Altura (m) | Grosor de pared (mm) |
|---------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| WH-201 | 2,71 | 1,59 | 2,15 | 7 |

El agitador de igual forma se lo dimensiona siguiendo la metodología propuesta en el Anexo A y mediante los cálculos realizados en el Anexo C-Agitador. Para el agitador se ha encontrado una potencia de 17 kW al día.

Filtro

La filtración permitirá eliminar los residuos orgánicos resultantes después de la extracción del colorante natural, para esto se utilizará un filtro de tambor rotatorio, para su

dimensionamiento se realizaron los cálculos presentados en el Anexo C-Filtro siguiendo la metodología expuesta. Se obtuvieron los siguientes datos del dimensionamiento:

Tabla 10. Dimensiones para el área de filtración

| Equipo | Diámetro de partícula (mm) | Área (m²) |
|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| PR-101 | 0,1 | 110,4 |

Bomba

La bomba que se utiliza es para el transporte de agua a los aspersores del tanque de lavado, en esta se considera una eficiencia de la bomba del 70% para encontrar la potencia real a la que debe trabajar la misma. Al realizar los cálculos presentados en el Anexo C-Bomba siguiendo la metodología propuesta se consiguieron los siguientes valores expuestas en la Tabla 11.

Tabla 11. Dimensiones para la bomba.

| Equipo | Potencia | Unidad |
|---------------|-----------------|---------------|
| BM-101 | 0,107 | kW |

Se tomó en cuenta que la altura que se transporta es desde el suelo como nivel de referencia hasta la altura del tanque de lavado de 2,71 m.

Evaporador y condensador

Una vez filtrada la solución del colorante natural esta debe pasar por un evaporador el cual evaporará el 90% del etanol de la solución para lograr una concentración mayor del colorante, el etanol evaporado pasa por un condensador el cual cambiará este vapor a estado líquido para permitir la recirculación de este. La potencia tanto del condensador y el evaporador se muestran en las tablas 12 y 13.

Tabla 12. Dimensiones para el evaporador.

| Dato | Valor | Unidad |
|-------------|--------------|----------------|
| Volumen | 0,4 | m ³ |
| Diámetro | 0,5 | m |
| Altura | 2,5 | m |
| Potencia | 27,0 | kW |

Tabla 13. Potencia del condensador.

| Dato | Valor | Unidad |
|-------------|--------------|---------------|
| Potencia | 21 | kW |

La potencia del evaporador podemos observar que es alta, se intentó disminuir este costo energético colocando un intercambiador de calor a la entrada del evaporador para que la diferencia de temperatura no sea tan alta en el condensador, pero este cambio no logró un cambio significativo en la energía, disminuyendo de 27 kW a 24 kW, pero si implica costos más altos en la implementación de un intercambiador de calor, por lo que no se adaptó este sistema. Al no existir suficientes investigaciones de la obtención de colorante a partir de la semilla de aguacate se ha optado por incluir su precursor el aminoácido L-fenilalanina para realizar la simulación en el software Aspen-Hysys.

Secador.

El secador actuará por 12 horas, con el fin de eliminar cualquier residuo de etanol presente en el colorante.

Tabla 14. Dimensiones del horno.

| Dato | Valor | Unidad |
|------------------|--------------|----------------|
| Área | 2,188 | m ² |
| Espesor de pared | 0,025 | m ² |
| Potencia | 871,539 | W |

Para el diseño del horno se utilizó como material el asbesto el cual tiene una conductividad térmica baja, esto es beneficioso para que el calor se concentre en el horno evitando pérdidas y el diseño del espesor de pared sea menor.

3.3 Objetivo específico 3: Análisis económico.

El estudio económico de la planta industrial se basó en las dimensiones encontradas en el apartado anterior, se logró estimar el costo de cada equipo en escala industrial mediante las figuras 27 y 28 del Anexo D obteniendo los valores mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15. Estimación de costos de cada equipo de la planta

| Equipo | Dimensión | Unidades | Costo Equipo (Ce) |
|---------------|------------------|-----------------|--------------------------|
| TK-001 | 9,075 | m ³ | 8977,80 |
| TK-002 | 7,237 | m ³ | 8497,54 |
| TK-003 | 0,486 | m ³ | 6122,69 |
| WH-201 | 0,669 | m ³ | 6228,38 |
| CR-001 | 0,077 | ton | 63917,53 |
| EX-001 | 2,706 | m ³ | 5420,36 |
| PR-101 | 110,402 | m ² | 11000,00 |
| BM.101 | 0,108 | kW | 1227,64 |
| V-201 | 0,413 | m ³ | 24939,22 |
| CD-301 | 21,000 | kW | 5974,81 |
| SC-401 | 0,003 | MW | 30710,28 |

Como se observa en la Tabla 15, los costos de cada equipo son sumamente elevados con respecto a las dimensiones encontradas, esto se debe a que esta estimación se la realiza para plantas industriales con caudales sumamente grandes, y debido a que la planta de estudio es una planta piloto, estos costos están sobreestimados. Debido a esto, se ha optado por realizar una tabla con los costos de los equipos con caudales similares ya presentes en el mercado, expuesta en la Tabla 16, estos costos son infravalorados ya que no se toma en cuenta el costo de importación, impuestos y otros costos de la maquinaria.

Tabla 16. Estimación de costos de cada equipo con los precios de mercado.

| Equipo | Dimensión | Unidades | Costo Equipo (Ce) |
|--------|-----------|----------------|-------------------|
| TK-001 | 9,075 | m ³ | 1000,00 |
| TK-002 | 7,237 | m ³ | 2000,00 |
| TK-003 | 0,486 | m ³ | 100,00 |
| WH-201 | 0,669 | m ³ | 300,00 |
| CR-001 | 0,077 | ton | 1000,00 |
| EX-001 | 2,706 | m ³ | 800,00 |
| PR-101 | 110,402 | m ² | 4000,00 |
| BM.101 | 0,108 | kW | 300,00 |
| V-201 | 0,413 | m | 20000,00 |
| CD-301 | 21,000 | kW | 1000,00 |
| SC-401 | 0,003 | MW | 1000,00 |

Para el estudio económico se utilizó dos métodos distintos de estimación el método de Hand y el Factorial detallado logrando con esto un margen de estimación de costos.

Tabla 17. Inversión de capital fijo teórico.

| | Hand | Factorial | Promedio entre los dos métodos |
|-------------------------------------|-----------|------------|--------------------------------|
| ISBL (USD) | 522965,30 | 681497,74 | 602231,52 |
| OSBL (USD) | 209186,12 | 272599,09 | 240892,61 |
| Gastos imprevistos (USD) | 73215,14 | 95409,68 | 84312,41 |
| ISBL+OSBL (USD) | 732151,42 | 954096,83 | 843124,13 |
| Inversión capital fijo (USD) | 951796,85 | 1240325,88 | 1096061,37 |
| 5% ISBL+OSBL (USD) | 36607,57 | 47704,84 | 42156,21 |

Tabla 18. Inversión de capital fijo para costos del mercado.

| | Hand | Factorial | Promedio entre los dos métodos |
|-------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|
| ISBL (USD) | 86400,00 | 205445,00 | 145922,50 |
| OSBL (USD) | 34560,00 | 82178,00 | 58369,00 |
| Gastos imprevistos (USD) | 12096,00 | 28762,30 | 20429,15 |
| ISBL+OSBL (USD) | 120960,00 | 287623,00 | 204291,50 |
| Inversión capital fijo (USD) | 157248,00 | 373909,90 | 265578,95 |
| 5% ISBL+OSBL (USD) | 6048,00 | 14381,15 | 10214,58 |

Los costos de las materias primas utilizadas se las realiza tanto para 18,33 kg que es la producción diaria como para 550 kg que es la producción mensual.

Tabla 19. Costos de materias primas.

| Reactivo | Cantidad necesaria para un día de producción (kg) | Numero de semillas | Promedio de precios para producir 18,33 kg de colorante | Cantidad necesaria para un mes de producción (kg) | Numero de semillas | Promedio de precios para producir 550 kg de colorante |
|------------------|---|--------------------|---|---|--------------------|---|
| Semilla aguacate | 79,70 | 1328,33 | 40,85 | 2391,00 | 39850 | 1225,50 |
| Etanol | 165,50 | | 167,81 | 4965,00 | | 3184,78 |
| | | Total | 208,66 | | Total | 4410,28 |

La Tabla 20 nos muestra una estimación del tiempo de retorno para cada uno de los métodos aplicados, por lo que se realiza un promedio entre todos para encontrar un tiempo de retorno más realista tomando los datos sobreestimados y los infravalorados.

Se estima que el tiempo de retorno sea de aproximadamente 5,6 años, tomando en cuenta los distintos métodos, se puede decir que esta estimación es correcta ya que se han tomado costos teóricos sobreestimados debido a que los coeficientes tabulados (Figura 27 y 28) para los cálculos de los costos de los equipos fueron concebidos para capacidades mucho mayores a las realmente necesarias en este estudio. Los costos de mercado fueron subestimados por el hecho de que se pudieron ignorar costos tales como: tasas de importación, exportación, registro, aduanas, entre otros.

Tabla 20. Tiempo de retorno de los distintos métodos.

| | Costos teóricos | Costos de mercado |
|--|-----------------|-------------------|
| Inversión de capital fijo (USD) | 1096061,4 | 265579,0 |
| Capital de trabajo (USD) | 42156,2 | 10214,6 |
| Costos de producción (USD) | 5512,8 | 5512,8 |
| Inversión total (USD) | 1143730,4 | 281306,4 |
| Ganancia neta (USD) | 10576,4 | 10576,4 |
| Tiempo de retorno (años) | 9,0 | 2,2 |
| Promedio (años) | | 5,6 |

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El presente trabajo propuso la implementación de una planta de colorante natural como alternativa a los colorantes artificiales disponibles en el mercado, proponiendo un aditivo alimenticio más atractivo para el consumidor por sus beneficios a la salud, logrando el diseño de una planta rentable con un sistema amigable con el medio ambiente.
- Debido a que su materia prima es un desecho alimenticio y gran parte del solvente utilizado es recirculado para su reutilización, es un sistema con costos asequibles a pesar de que su rendimiento no es alto.
- Proponer como solvente Etanol es ideal con aditivos direccionados para la industria alimenticia ya que no es tóxico y por su alta volatilidad no implican altos costos lograr extraer el mismo del colorante.
- El rendimiento que se plantea es del 23% lo cual es bajo, pero al optar por una materia prima relativamente barata no es tan significativo en el proceso, pero este puede aumentar con la adición de una liofilización después del lavado, para extraer toda la humedad de la semilla lo cual sería óptimo para que la extracción sea mucho más efectiva en cuanto al tiempo de extracción, ya que según Menéndez, 2008 éste disminuiría en un 30% siendo un porcentaje significativo para el consumo energético, pues el extractor es el equipo con mayor consumo energético.
- Se recomienda realizar la extracción con un 15% de ácido cítrico 1M con el fin de formar el catión flavilio que es más estable en medio ácido y hexano para eliminar materiales lipídicos (Aguilera, 2011).
- El consumo energético puede disminuir con la implementación de sistemas de calentamiento a través de vapor o fluidos calientes y no mediante resistencias eléctricas.

- A futuro se esperaría dirigir la venta de este colorante no solo para la industria de yogurt, sino también a toda la industria láctea como son quesos, leche, etc. Esto debido a su efecto con el pH siendo un potencial colorante para lácteos.
- Su uso puede ampliarse a otros sectores industriales, como el farmacéutico, nutracéutico, cosmético, textiles, papel y cartón, tintas, pigmentos para pinturas de niños, etc.
- Se puede mejorar el rendimiento de la planta al implementar una planta de productos secundarios como bioplásticos, a partir del almidón de los residuos de biomasa obtenidos en la producción del colorante y de esta forma cerrar el ciclo obteniendo dos distintos productos de alto valor agregado con potenciales aplicaciones en la industria farmacéutica, nutracéutica, cosmética, textil, papel y cartón, embalajes, tintas, etc.
- La implementación de esta planta puede motivar a la implementación de biorrefinerías de productos de alto valor agregado que sean capaces de competir en el mercado nacional como internacional.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Aal, E. S., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal chemistry*, 76(3), 350-354.

Aguilera-Otíz, M., del Carmen Reza-Vargas, M., Chew-Madinaveita, R. G., & Meza-Velázquez, J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia*, 13(2), 16-22.

ALIMENTARIOS, S. A. (2010). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias Comisión del Codex Alimentarius.

ARP SURA (2020). ALMACENAMIENTO SEGURO DE ALCOHOL. [online] Arlsura.com. Available at: https://www.arlsura.com/files/almacenamiento_seguro_alcohol.pdf [Accessed 21 Jan. 2020].

Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Obtención y Evaluación de la Estabilidad de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) en Bebidas. *Información tecnológica*, 25(3), 43-52.

Barbosa-Martín, E., Chel-Guerrero, L., González-Mondragón, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana* Mill.) seed fibrous residues. *Food and Bioproducts processing*, 100, 457-463.

Bedran, T. B. L., Morin, M. P., Spolidorio, D. P., & Grenier, D. (2015). Black tea extract and its theaflavin derivatives inhibit the growth of periodontopathogens and modulate interleukin-8 and β -defensin secretion in oral epithelial cells. *PLoS One*, 10(11).

Beltrán Ramírez, C. A. (2014). Diseño de un sistema de costos para una empresa agroindustrial de colorantes naturales—achiote.

Benaiges, A., & Guillén, P. (2007). 8.5. Botanical Extracts. *Analysis of Cosmetic Products*, 50044-9.

Burton-Freeman, B., Sandhu, A., & Edirisinghe, I. (2016). Anthocyanins. In *Nutraceuticals* (pp. 489-500). Academic Press.

CODEX STAN 192-1995 (2020). NORMA GENERAL PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS. [online] Fao.org. Available at: http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf [Accessed 21 Jan. 2020].

Cuenca, K. and Sabando, D. (2020). Extracción de un colorante natural mediante la pepa del aguacate. [online] Available at: https://www.researchgate.net/publication/331318671_Extraccion_de_un_colorante_natural_mediante_la_pepa_del_aguacate [Accessed 21 Jan. 2020].

Dabas, D. (2019). Anti-Inflammatory Properties of a Colored Avocado Seed Extract. *Revista Openventio*, 1(1).

De Andreis, A. (2012). Neuromarketing: una mirada a la mente del consumidor. *Revista ADGNOSIS*, 1(1).

De Luis, D. A., & Aller, R. (2008, March). Papel de los flavonoides del té en la protección cardiovascular. In *Anales de Medicina Interna* (Vol. 25, No. 3, pp. 105-107). Arán Ediciones, SL.

Durà-Castany, M. (2017). Neurogastronomía: la influencia del oído y la vista en el sabor (Master's thesis).

Encinck, M. G. (2018). Crece el mercado de productos naturales por un público que paga más por mayor calidad. Recuperado de <https://www.cronista.com/negocios/Crece-el-mercado-de-productos-naturales-por-un-publico-que-paga-mas-por-mayor-calidad-20170815-0030.html>

Flores, G. (2020). Los desechos alimenticios producen energía. [online] El Comercio. Available at: <https://www.elcomercio.com/tendencias/desechos-alimenticios-energia-ambiente-reciclaje.html> [Accessed 21 Jan. 2020].

Freire, L. and Higuera, E., 2014. [online] Dspace.uce.edu.ec. Available at: <<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3059/1/T-UCE-0005-498.pdf>> [Accessed 22 April 2020].

Gaete, C., 2017. Colorantes Naturales: Un Nuevo Y Potente Rubro Para El Agro. [online] El Mercurio Campo. Available at: <<https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2017/08/28/Colorantes-naturales-un-nuevo-y-potente-rubro-para-el-agro.aspx?disp=1>> [Accessed 22 April 2020].

García, N., & Martínez, E. (2008) Diseño de Tanque para Almacenamiento de Etanol Anhidro, Capacidad 5000 Barriles, con Membrana Flotante y Domo Geodésico.

Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. Acta biológica colombiana, 13(3), 27-36.

Gontran, G., 2013. Focus On 'What Is A Plant Extract'. [online] Becarre-natural.com. Available at: <<https://www.becarre-natural.com/extraction.php>> [Accessed 6 February 2020].

González, P., 2017. La Industria Láctea Ecuatoriana Se Dinamizó Este 2017. [online] El Comercio. Available at: <<https://www.elcomercio.com/actualidad/industria-lactea-ecuador-ventas-produccion.html>> [Accessed 24 April 2020].

Guevara, J., 2019. Industria Láctea Mueve \$ 1.400 Millones. [online] Available at: <<https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/industria-lactea-ingresos-ecuador>> [Accessed 23 April 2020].

Hatzakis, E., Mazzola, E. P., Shegog, R. M., Ziegler, G. R., & Lambert, J. D. (2019). Perseorangin: A natural pigment from avocado (*Persea americana*) seed. Food chemistry, 293, 15-22.

Helmenstine, A., 2019. What Is A Solvent In Chemistry. [online] ThoughtCo. Available at: <<https://www.thoughtco.com/definition-of-solvent-604651>> [Accessed 6 February 2020].

Leite, J. J. G., Brito, É. H. S., Cordeiro, R. A., Brilhante, R. S. N., Sidrim, J. J. C., Bertini, L. M., ... & Rocha, M. F. G. (2009). Chemical composition, toxicity and larvicidal and antifungal activities of *Persea americana* (avocado) seed extracts. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 42(2), 110-113.

Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro sur*, 42(2), 57-66.

Menéndez, W. (2008). Obtención De Colorante Para Su Uso En Yogurt A Partir De La Flor De Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y Del Mortiño (*Vaccinium myrtillus* L.). *Escuela superior politécnica del litoral*.30-52

Moral, M. (2020). Estudio de los colorantes alimentarios para su aplicación en las Bellas Artes. [online] *Eprints.ucm.es*. Available at: <https://eprints.ucm.es/1724/1/T20054.pdf> [Accessed 21 Jan. 2020].

Moreno, Y. S., Salinas, C. G., Estrada, B. C., & Martínez, V. A. V. (2013). Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(3-A), 285-294.

New York AP, 2020. Buscan Reducir El Uso De Colorantes Artificiales, Un Método De Engaño De La Industria Alimentaria. [online] *El Universo*. Available at: <<https://www.eluniverso.com/larevista/2018/12/10/nota/7092540/buscan-reducir-uso-colorantes-artificiales-metodo-engano-industria>> [Accessed 21 April 2020].

Orejuela, L. M. (2018). Vista De Biorrefinería: Un Modelo De Negocios De Productos De Alto Valor Agregado A Partir De Desechos Agrícolas E Industriales Y Promotora De Desarrollo Sustentable En El Contexto De La Bioeconomía. [online] *Revistas.uazuay.edu.ec*. Available at: <<http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/187/177>> [Accessed 7 March 2020].

Orejuela, L. M. (2019). La Economía Circular, la Tecnología Cero Desperdicios, la Bioeconomía, la Biorrefinería y el Desarrollo Sostenible. *ÑAWPAY Revista Técnica Tecnológica*, 1(1), 10-10.

Palluzi, R., 2009. Pilot Plants. [online] Chemicalprocessing. Available at: <https://www.chemicalprocessing.com/assets/wp_downloads/pdf/pilot-plants-special-report-ContTech.pdf> [Accessed 3 February 2020].

Papadopoulou, A. A., Efstathiadou, E., Patila, M., Polydera, A. C., & Stamatis, H. (2016). Deep eutectic solvents as media for peroxidation reactions catalyzed by heme-dependent biocatalysts. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(18), 5145-5151.

Pereira-Caro, G., Moreno-Rojas, J. M., Brindani, N., Del Rio, D., Lean, M. E., Hara, Y., & Crozier, A. (2017). Bioavailability of black tea theaflavins: Absorption, metabolism, and colonic catabolism. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(26), 5365-5374.

Pietta, P., Minoggio, M., & Bramati, L. (2003). Plant polyphenols: Structure, occurrence and bioactivity. In *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 28, pp. 257-312). Elsevier.

Pineda, J. E. D., & Calderón, L. S. (2012). Planta piloto para obtener colorante de la semilla del achiote (*Bixa orellana*). *Revista Universidad EAFIT*, 39(131), 8-22.

Quinatoa, K., 2011. [online] Dspace.ups.edu.ec. Available at: <<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2145/1/UPS-QT02544.pdf>> [Accessed 24 April 2020].

Ramirez, S. (2020). El ecuatoriano consumió 2,45 litros de leche anuales menos el 2015. [online] El Comercio. Available at: <https://www.elcomercio.com/datos/ecuatoriano-consumio-litros-leche-data.html> [Accessed 21 Jan. 2020].

Requisitos., N. (2020). NTE INEN 2074: Aditivos alimentarios permitidos para consumo humano. Listas positivas. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

: Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive. [online] Internet Archive. Available at: <https://archive.org/details/ec.nte.2074.2012/page/n21> [Accessed 21 Jan. 2020].

Segovia, F. J., Corral-Pérez, J. J., & Almajano, M. P. (2016). Avocado seed: Modeling extraction of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*, 85, 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.005>

Sharma, V. K., Bhattacharya, A., Kumar, A., & Sharma, H. K. (2007). Health benefits of tea consumption. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 6(3), 785-792.

Suárez, D., Marín, O., Dueñas, N., Ortiz, J., Puentes, A., Mejía, A., ... Zuluaga, C. (2016). Evaluation of the extraction conditions of a natural dye from avocado seeds. *Agronomía colombiana*, 34(1), S241–S243.

Torres-Jimenez, E., Jerman, M. S., Gregorc, A., Lisec, I., Dorado, M. P., & Kegl, B. (2011). Physical and chemical properties of ethanol–diesel fuel blends. *Fuel*, 90(2), 795-802.

Tsuda, T. (2012). Dietary anthocyanin-rich plants: biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Molecular nutrition & food research*, 56(1), 159-170.

Valdebenito, G. (2020). Alternativas de Procesamiento del Maqui en Chile, y Prefactibilidad del Negocio referido al desarrollo de una planta productora de colorante natural de Maqui para alimentación. [online] Pfnm.cl. Available at: http://www.pfnm.cl/paqtecnologicos/maqui/planta_colorantes_maqui.pdf [Accessed 21 Jan. 2020].

Valleboni (2017). Por qué las empresas apuestan por los productos naturales. [online] Apertura.com. Available at: <https://www.apertura.com/negocios/Por-que-las-empresas-apuestan-por-los-productos-naturales-20170905-0006.html> [Accessed 28 Jan. 2020].

Vele, A., 2012. LA INGENIERIA DE PROCESOS, LA PLANIFICACIÓN Y EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA DE LACTEOS JIMALACT. [online] Dspace.ucuenca.edu.ec. Available at:

<<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2410/1/tq1120.pdf>> [Accessed 24 April 2020].

Wrolstad, R. E. (2004). Anthocyanin pigments—Bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science*, 69(5), C419-C425.

6 ANEXO A: METODOLOGÍA

6.1 Balances de Masa

Para el presente trabajo se conoce que el rendimiento del proceso de extracción de colorante es del 23% (Tituaña, 2019). Mediante este rendimiento se conocerá la cantidad de producto obtenido al final del proceso.

Los distintos caudales se encontrarán en las mismas unidades de kg / [unidad de tiempo], esto permitirá facilitar el cálculo. Para el diseño de la planta industrial, se sugiere las siguientes actividades.

- a. Realizar un diagrama de bloque, mostrando cada una de las operaciones a realizarse y simbolizando los flujos con flechas.
- b. Rotular cada variable conocida en el proceso.
- c. Indicar todos los valores conocidos de composición y flujo.
- d. Elegir una base de cálculo, esta será la materia prima necesaria para producir el colorante necesario por día.
- e. Rotular con un símbolo las variables cuyo valor es desconocido, indicar la cantidad de variables desconocidas.
- f. Encontrar el número de grados de libertad para cada subsistema y el proceso en general. Se entiende como sistema a cualquier porción arbitraria o a la totalidad de un proceso, establecido específicamente para su análisis. Los límites o fronteras del sistema pueden ser reales o ficticios.
- g. Verificar mediante los grados de libertad si el proceso es posible de resolver. Esto es posible si el número de variables desconocidas es igual al número de ecuaciones independientes.
- h. Determinar las corrientes desconocidas mediante los balances de cada sistema (operaciones) definido en el diagrama de bloque.
- i. Resolver las ecuaciones.
- j. Verificar las respuestas.

6.2 Balance de Energía

- a. Determinar los equipos donde el intercambio de energía sea determinante, es decir donde se deba calentar o enfriar un fluido para cumplir el proceso
- b. Determinar la cantidad de energía necesaria para que cada operación lleve a cabo su cometido
- c. Transformar la unidad de energía encontrada a kWh, esto nos permitirá conocer el costo energético.

6.3 Diagrama de Flujo

- a. Realizar un diagrama reemplazando las operaciones definidas como bloques en el diagrama de bloques por la simbología representativa de cada operación a realizarse en el proceso.
- b. Incluir en el diagrama números y nombres de identificación del equipo, presiones y temperaturas, identificaciones de servicios y flujo másico/volumétrico de las corrientes seleccionadas. Una tabla de balance de materia ligada por medio de una clave de líneas de proceso.

6.4 Diseño de Equipos

Una vez realizado los balances de masa, se conocerá los caudales de entrada y salida para cada equipo, por lo que el dimensionamiento se realizará con base en dichos caudales, se añadirá un sobredimensionamiento del 15 % a cada equipo, como medida de seguridad.

Tanque de almacenamiento de Etanol 70%, semillas de aguacate y colorante obtenido.

- a. Tipo de tanque: esto se lo definirá comparando los distintos materiales y costos de cada uno, cuál es resistente a alcoholes y no sufre oxidación.
- b. Se calculará el diámetro y altura del tanque basándose en su volumen.
- c. Se calcula la presión del compuesto a partir de la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \rho gh \quad (1)$$

Donde:

- $\rho =$ densidad del compuesto.
- $g =$ gravedad.
- $h =$ altura.

d. Calcular la presión teórica:

$$P_t = \Delta P + P_c + P_{atm} \quad (2)$$

Donde:

- $P_c =$ presión de trabajo.
- $P_{atm} =$ presión atmosférica.

e. Calcular presión de diseño interna:

$$P_d = P_t * 1,15 \quad (3)$$

f. El espesor del tanque se lo calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P_d(r)}{S(E) - 0,6P_d} + C1 + C2 \quad (4)$$

Donde:

- $S =$ Tensión máxima admisible.
- $E =$ Módulo de elasticidad.
- $C1 =$ Margen o sobreespesor por corrosión.
- $C2 =$ Margen o sobreespesor de fabricación.

Tanque extractor.

La extracción del colorante se lo realizara en un tanque con agitación y calentamiento.

- a. Tipo de tanque: se definirá comparando los distintos materiales y costos de cada tanque, su resistencia a alcoholes, que no sufra oxidación, y que sea resistente a altas presiones.
- b. El material del tanque extractor debe ser resistente a temperaturas menores a 75°C ya que la extracción se la realizará a temperatura constante y es preferible tener un tanque que soporte temperaturas mayores a las de operación para evitar riesgos. Se añadirá calentamiento.

El diseño del tanque se lo realiza con la metodología de diseño de tanques.

- c. Para el diseño de la agitación se realiza las siguientes correlaciones, además del gráfico de H. Rushton, E.W. Costich y H. J. Everett, 1950:

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}; \quad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}; \quad \frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}; \quad \frac{E}{D_a} = 1; \quad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

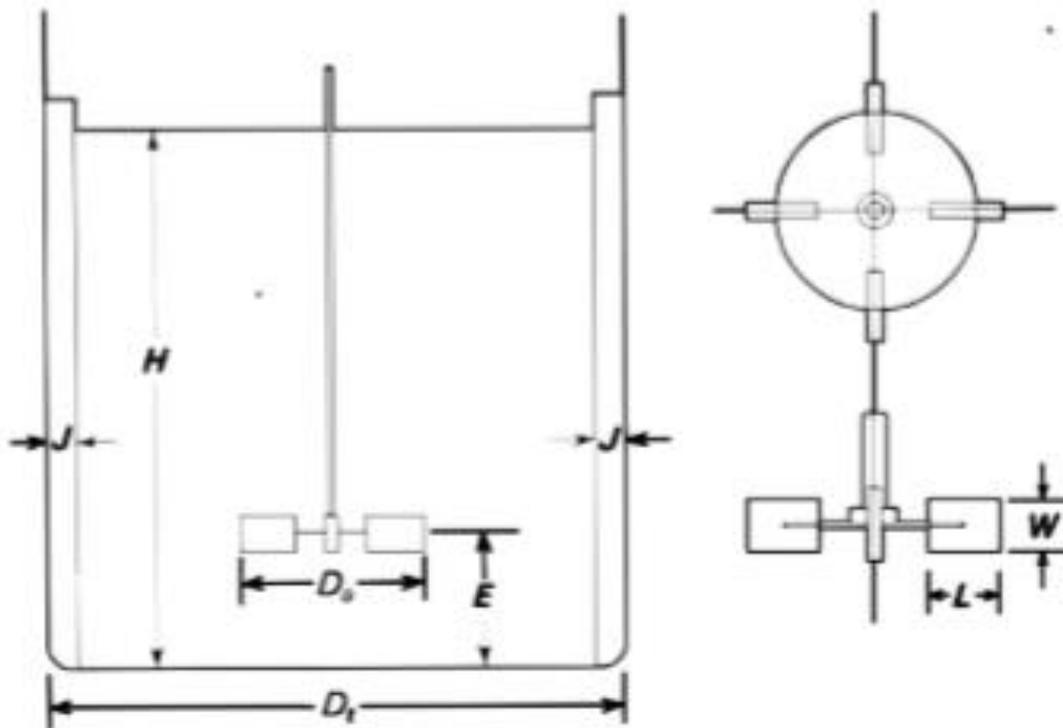


Figura 5. Relaciones de medidas entre el mezclador y el agitador.

Se encuentra el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho N D a^2}{\mu} (5)$$

Una vez se ha calculado el Reynolds, se obtiene a partir del gráfico siguiente el número de potencia (Np):

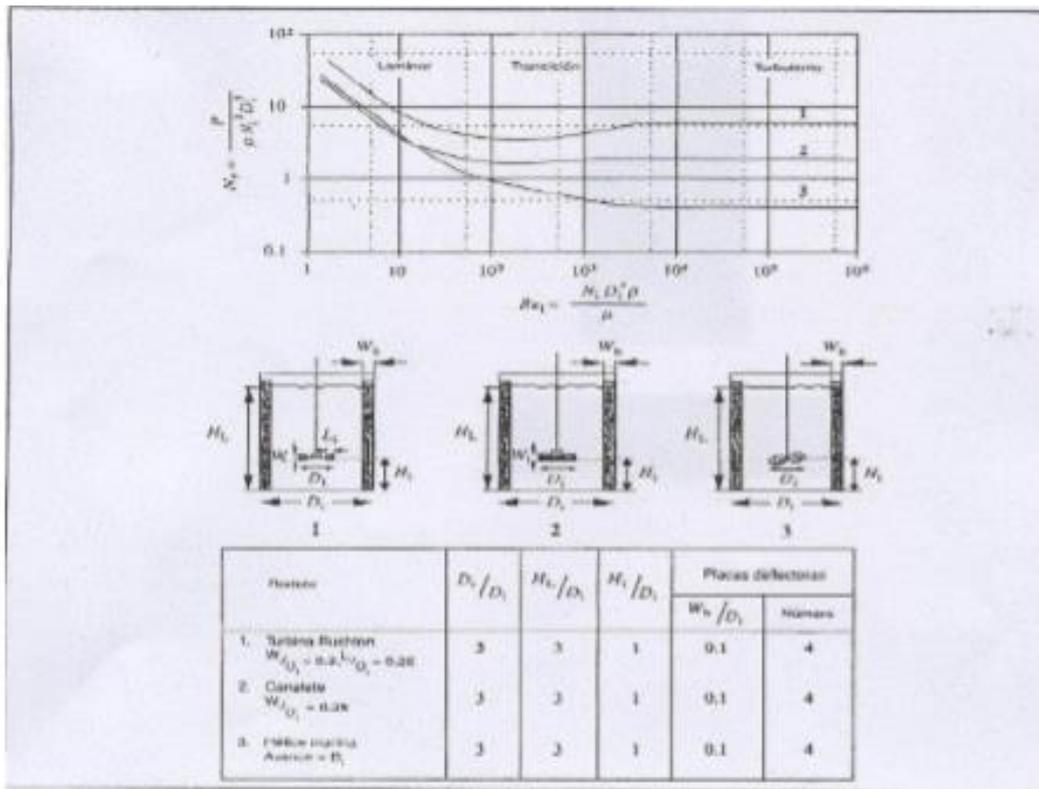


Figura 6. Relaciones entre Reynolds y la velocidad del agitador.

Una vez obtenido el número de potencia es posible encontrar la potencia mediante la siguiente ecuación: $P = N_p N^3 D a^3 \rho$ (6)

Molino.

El molino realiza la disminución del tamaño de partícula de la semilla de aguacate, para proseguir con la extracción, para el presente trabajo se ha propuesto el dimensionamiento de un molino de bolas, pues este se ha demostrado ser apto para la molienda de semillas dispuestas para la industria alimenticia, como se lo ha hecho para la extracción de colorante de las semillas de achiote (Pineda, 2012).

Para el dimensionamiento se realizan los siguientes cálculos:

- a) Cálculo del volumen ocupado por las bolas dentro del molino:

$$V_p = 113 - 126 \frac{H}{D} \quad (7)$$

Donde:

- $H =$ Distancia de la parte superior a la superficie nivelada [pies].
- $D =$ Diámetro interno del molino [pies].

b) Cálculo de la velocidad crítica del molino [RPM]:

$$N_c = \frac{76,6}{D^{1/2}} \quad (8)$$

c) Cálculo de la velocidad adecuada del molino [RPM]:

$$N_o = 56 - 40 \text{ Log } D \quad (9)$$

d) Cálculo del % de velocidad crítica a la que debe operar el molino:

$$C_s = 100 \left[\frac{N_o}{N_c} \right] \quad (10)$$

e) Cálculo del peso de la carga en bolas, esto se lo calcula conociendo el tipo de bola y el material que se va a utilizar, y basándose en el volumen ocupado por las bolas, se halla el peso de la carga.

f) Cálculo de la potencia:

$$Hp = 1.341 W_b [D^{0.4} C_s (0.0616 - 0.000575 V_p) - 0.1(2) \left[\frac{(C_s - 60)}{10} - 1 \right]] \quad (11)$$

Filtración.

El diseño de la filtración se lo realiza mediante la metodología propuesta por Coulson y Richardson's, 2002. Mediante esta metodología se puede encontrar el Área de contacto lo cual nos servirá para el coste de esta operación.

Bomba.

Para el diseño de la bomba, es necesario encontrar la potencia a que la misma deba, para esto es necesario aplicar la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta P}{\rho} + g(\Delta z) + \frac{1}{2} \Delta \frac{v^2}{\alpha} = \omega - e_v \left[\frac{J}{kg} \right] \quad (12)$$

Donde:

- $\Delta P =$ Incremento de presión entre dos puntos.
- $g =$ Gravedad.
- $\Delta z =$ Incremento de altura entre dos puntos.
- $\Delta v^2 =$ Incremento de velocidad desde la tubería al punto final.
- $\alpha =$ Constante del régimen de circulación.
Para flujo laminar $\alpha = 0,5$ y para turbulento $\alpha = 1$.
- $\omega =$ Trabajo por unidad de masa $\left[\frac{J}{kg}\right]$.
- $e_v =$ Pérdidas por fricción, accesorios, etc.

Para encontrar la potencia de la bomba en [W] se aplica la siguiente ecuación:

$$W \left[\frac{J}{s}\right] = \omega \left[\frac{J}{kg}\right] Q \left[\frac{kg}{s}\right] \quad (13)$$

La potencia real de la bomba se lo calcula dividiendo la potencia teórica para la eficacia de la bomba, este dato es proporcionado por el proveedor.

Evaporador y condensador

Para el diseño del evaporador junto a un condensador que permita condensar la corriente ligera del mismo, se lo realiza en el software de simulación de procesos, Aspen Hysys.

Los pasos que se deben seguir para realizar la simulación son los siguientes:

- a) Elección del paquete termodinámico.
- b) Selección de los compuestos a usarse.
- c) Definir las corrientes de entrada y salida de los distintos equipos a usar en este caso del evaporador y el condensador.
- d) Definir los equipos a usarse.
- e) Insertar las condiciones de cada corriente y equipos.
- f) Correr la simulación y obtener las potencias de cada equipo.

Horno.

Para el diseño del horno es necesario encontrar la potencia a la cual este va a trabajar, conociendo el caudal de entrada del horno podemos encontrar el volumen que este necesita, y a partir de esta las dimensiones de altura, largo y profundidad.

Una vez conocida las dimensiones se calcula el área de contacto y el espesor de pared suponiendo que el diseño de este es un cubo, por lo tanto:

$$A = 2(h * x) + 2(p * x) * 2(h * p) \quad (14)$$

$$\Delta x = \frac{x_i - x_e}{2} \quad (15)$$

Donde:

- $h =$ *Altura.*
- $x =$ *Largo.*
- $p =$ *Profundidad.*
- $x_i =$ *Largo interno .*
- $x_e =$ *Largo externo.*
- $\Delta x =$ *Espesor de pared.*

Una vez encontrada el área y el ancho de pared, se utiliza la ley de Fourier de transferencia de calor por conducción a través de una superficie plana.

$$\frac{Q}{\Delta t} = -K \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (16)$$

Donde:

- $\frac{Q}{\Delta t} =$ *Calor transmitido por unidad de tiempo*
- $k =$ *Conductividad térmica del material.*
- $\Delta T =$ *Diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frio.*
- $\Delta x =$ *Espesor de pared.*

Despejando los datos conocidos de la ecuación 16 encontramos la potencia que debe tener el horno con estas condiciones.

6.5 Determinación de Costos de la Planta

Inversión de Capital Fijo

- a. Determinar costos Inversión en el Interior del Límites de la Batería situados (ISBL)
 - Determinar costo campo directo - cada uno de los equipos mediante el método factorial detallado
 - Determinar costo campo indirecto – ej.: alquiler maquinas, seguro construcción, beneficio de trabajadores
- b. Determinar costos Inversión Fuera del Límite de Batería (OSBL)
 - 40% ISBL
- c. Determinar costos de ingeniería y construcción
 - Ingeniería de detalle
 - Supervisión construcción
 - Gastos administrativos
- d. Gastos Imprevistos
 - 10% (ISBL + OSBL)

Capital de Trabajo

- a. Determinar el valor inventario de materias primas
 - Costo de materia prima en dos semanas de producción
- b. Determinar el valor inventario de productos y subproductos
 - Costo de producción por dos semanas
- c. Determinar el efectivo en caja
 - Producción 1 semana
- d. Determinar cuentas a cobrar
 - Costo de producción 1 mes
- e. Determinar crédito cuentas pendientes
 - Costo total suministros utilizados 1 mes

f. Determinar inventario de repuestos

- 2% (ISBL + OSBL)

Costos de Producción

a. Determinar costos Variables

- Materias primas
- Servicios auxiliares
- Embalaje y transporte
- Tratamiento/eliminación de desechos

b. Determinar costos fijos

- Labor de operación (25% costo labor de operación)
- Gastos salariales directos (40-60% (costos labor operación + supervisión))
- Mantenimiento (3-5% ISBL)
- Impuestos sobre propiedad y seguros (1-2% ISBL)
- Alquiler tierra (1-2% (ISBL + OSBL))
- Gastos generales planta (65% del trabajo total + mantenimiento)
- Gastos medioambientales (1% (ISBL + OSBL))

Componentes Ingresos del proyecto

a. Determinar Margen bruto

- Suma de ingreso p/v producto y subproducto – costo de materias primas

b. Determinar el Coste en Efectivo de Producción (CCOP)

- Costo de operación fijo + costo de operación variable

c. Determinar Beneficio Bruto

- Ingreso por la venta de producto principal – CCOP

d. Determinar Beneficio Neto

- Beneficio bruto – impuestos

7 ANEXO B: RESOLUCIÓN BALANCES DE MASA Y ENERGÍA

7.1 Balance de masa

Se observa en la siguiente tabla las corrientes:

Tabla 21. Valores de las variables conocidas en el proceso.

| Corriente | Descripción | Cantidad | Unidad |
|------------------|----------------------|-----------------|---------------|
| C01 | Semillas de aguacate | 79,7 | kg |
| C02 | Agua de Lavado | 318,8 | L o kg |
| C03 | Etanol 70% v/v | 1655 | kg |
| C21 | Semillas molidas | 77,309 | kg |
| C42 | Torta de filtración | 383 | kg |
| C51 | Colorante en polvo | 18,33 | kg |

Basándose en la figura 4 se prosigue a realizar los cálculos para cada uno de los subsistemas existentes.

Lavado.

$$C01+C02= C11+C12$$

Molienda.

$$C11+C12=398,5$$

$$C11=C21$$

$$C21=77,309$$

$$C12=321,191$$

Punto de Mezcla.

$$C03=C04+C05$$

Conociendo que la recirculación es el 90% de la corriente C03.

$$C05=1489,5$$

$$C04=165,5$$

Secado.

$$C20=C30+C51$$

Conociendo que en el secado se seca el 10% sobrante de etanol.

$$C30=165,5$$

$$C20=183,83$$

Filtración

$$C03+C21=C31$$

$$C41=1673,33$$

$$C42=58,98$$

7.2 Balance de energía.

Sabiendo que el consumo energético industrial en el ecuador es de \$ 0,1009 el kWh, es posible calcular el costo energético de cada uno de los equipos y encontrar el consumo energético mensual.

Bomba.

El consumo energético de la bomba se lo encuentra en la Tabla 12, con estos datos es posible encontrar el consumo energético es de \$ 0,011 al día.

Mezclador.

Tabla 22. Temperaturas de operación del mezclador.

| Dato | Valor | Unidad |
|--------|-------|--------|
| T0 [K] | 293 | K |
| T1 [K] | 343 | K |

Aplicando la ecuación:

$$Q = m \, c_p \, \Delta T$$

Donde:

- Q = Calor necesario.
- m= Flujo másico
- cp= Capacidad calorífica de la mezcla
- $\Delta T = \text{Diferencia de temperatura}$

$$Q = 215377,978 \text{ KJ} = 60,3058338 \text{ kWh}$$

Evaporador y condensador.

Las potencias con las que trabajan estos equipos se las obtiene de la simulación en el software Aspen Hysys mostrada en Anexo B-Evaporador y condensador, las potencias de estos equipos se muestran en las tablas 12 y 13. Con estas potencias es posible encontrar el costo energético siendo este de \$ 9,69 al día.

Secador.

Una vez encontrada la potencia del secador, expuesta en la Tabla 13, y conociendo que este operará 12 horas al día, es posible encontrar el consumo energético, siendo este \$ 1,08 al día.

Una vez obtenidos el consumo energético de cada equipo al día es posible encontrar el consumo que tendrá la planta al mes, siendo este \$ 688,57.

8 ANEXO C: DIMENSIONAMIENTO

8.1 Tanques.

Mezclador

Tabla 23. Cálculos del diseño del tanque mezclador.

| | | | |
|-----------------------------|------------------------|-------|--------|
| Caudal de entrada | Qv1 | 2,35 | m3/día |
| Volumen | Vt=Qv1.tr | 2,4 | m3 |
| Sobredimensionamiento 15% | Vs=Vt.1,15= | 2,71 | m3 |
| Diámetro y altura de tanque | Diámetro | 1,59 | m |
| | Altura= (1,7) Diámetro | 2,71 | m |
| % Ocupado | (Vt/Vs)100% | 86,95 | % |

TK-001.

| | | | | | | |
|-------------------------------|--|-----------|-----|-----------------|----------|-------|
| TK-001 | | | | | | |
| Volumen | $Vl=(Qm.ta)/\rho$ | 7,891089 | m3 | | | |
| Sobredimension 15% | $Vt=Vl*1,15$ | 9,074752 | m3 | | | |
| Diámetro interno | $D_i = 2r$ | | | | | |
| | $V_{de} = \pi r^2 \cdot h$ | | | | | |
| | $h \geq 1.5 \cdot D_i$ | | | | | |
| | $V_t = \pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \cdot 1.5 \cdot D_i$ | | | | | |
| Altura Cilindro | D_i | 1,974928 | m | Área | 3,06332 | m2 |
| | h | 2,962392 | m | Fuerza | 23455,71 | N |
| Volumen cilindro | $V_{dc}=\pi r^2 h$ | 9,074752 | m3 | Esfuerzo | 0,007657 | N/mm2 |
| %Ocupación | V_{rt} | 86,95652 | % | | 7656,958 | Pa |
| Presión compuesto | | | | | | |
| | | 7656,9581 | Pa | | 0,075568 | atm |
| Presión diseño teórica | $P_t = \Delta P_i + P_t + P_{atm}$ | 16,07557 | atm | | | |
| Presión diseño interna | $P_d=P_t*1,15$ | 18,4869 | atm | | | |
| Presión diseño externa | P_{de} | 1 | atm | | | |
| Temperatura de diseño | $T_d = T_t + 20^\circ C$ | 245 | °C | | | |

Figura 7. Cálculos realizados para el dimensionamiento de TK-001.

Espesor del tanque:

$$t=6,54 \text{ mm}$$

$$t=7 \text{ mm}$$

TK-002.

| <u>TK-002</u> | | | |
|-------------------------------|--|-------------|----------------|
| Volumen | $Vl=(Qm.ta)/\rho b$ | 6,292775665 | m ³ |
| Sobredimension 15% | $Vt=Vl*1,15$ | 7,236692015 | m ³ |
| Diámetro interno | $D_i = 2r$ | | |
| | $V_{dc} = \pi r^2 \cdot h$ | | |
| | $h \geq 1.5 \cdot D_i$ | | |
| | $V_t = \pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \cdot 1.5 \cdot D_i$ | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| Altura Cilindro | D_i | 1,831413101 | m |
| | h | 2,747119651 | m |
| Volumen cilindro | | | |
| | $V_{dc}=\pi(r^2)h$ | 7,236692015 | m ³ |
| %Ocupación | V_{rt} | 86,95652174 | % |
| Presión compuesto | | | |
| | $h_i = \frac{V_t}{\pi \cdot \left(\frac{D_i}{2}\right)^2}$ | 2,388799697 | m |
| | | | |
| | $\Delta P_i = \rho_p \cdot g \cdot h_i$ | 0,182477421 | atm |
| Presión diseño teórica | | | |
| | $P_t = \Delta P_i + P_s + P_{atm}$ | 16,18247742 | atm |
| Presión diseño interna | | | |
| | $P_d=P_t*1,15$ | 18,60984903 | atm |
| Presión diseño externa | | | |
| | P_{de} | | 1 atm |
| Temperatura de diseño | | | |
| | $T_d=T_t+20\text{ C}=25\text{ C}+20$ | | 45° C |

Figura 8. Cálculos realizados para el dimensionamiento de TK-002.

Espesor del tanque:

$$t=6,26 \text{ mm}$$

$$t=7\text{mm}$$

TK-003.

| <i>TKK-003</i> | | | | | | | |
|-------------------------------|--|----------|----------------|-----------------|----------|-------------------|----------|
| Volumen | | | | | | | |
| | $Vl=(Qm.ta)$ | 0,423 | m ³ | | | | |
| Sobredimension 15% | | | | | | | |
| | $Vt=Vl*1,15$ | 0,48645 | m ³ | | | | |
| Diámetro int | | | | | | | |
| | $D_i = 2r$ | | | | | | |
| | $V_{dc} = \pi r^2 \cdot h$ | | | | | | |
| | $h \geq 1.5 \cdot D_i$ | | | | | | |
| | $V_t = \pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \cdot 1.5 \cdot D_i$ | | | | | | |
| | D_i | 0,74465 | m | Área | | | |
| Altura Cilindro | h | 1,116975 | m | | 0,435506 | m ² | 435506,5 |
| Volumen cilindro | $V_{dc}=\pi(r^2)h$ | 0,48645 | m ³ | Fuerza | 5394,519 | N | |
| %Ocupación | V_{rt} | 86,95652 | % | Esfuerzo | 0,012387 | N/mm ² | 12386,77 |
| Presión compuesto | | | | | | | |
| | | 12386,77 | Pa | | 0,122248 | atm | |
| Presión diseño teórica | | | | | | | |
| | $P_t = \Delta P_i + P_c + P_{atm}$ | 16,12225 | atm | | | | |
| Presión diseño interna | | | | | | | |
| | $P_d=P_t*1,15$ | 18,54059 | atm | | | | |
| Presión diseño externa | | | | | | | |
| | P_{de} | 1 | atm | | | | |
| Temperatura de diseño | | | | | | | |
| | $T_d=T_t+20^\circ C$ | 45 | °C | | | | |

Figura 9. Cálculos realizados para el dimensionamiento de TK-001.

Espesor del tanque:

$$t=4,20 \text{ mm}$$

$$t=5 \text{ mm}$$

WH-201.

| WH-201 | | | | | | |
|------------------------|---|--------------------------|----------|-------------------------------|---------------------------|--|
| Volumen | $V_l = (Q_{m, \text{tal}}) / \rho_b$ | 0,6 m ³ | | | | |
| Sobredimensión 15% | $V_t = V_l \cdot 1,15$ | 0,7 m ³ | | | | |
| Diámetro interno | $D_i = 2r$ | | | | | |
| | $V_{dc} = \pi r^2 \cdot h$ | | | | | |
| | $h \geq 1,5 \cdot D_i$ | | | | | |
| | $V_c = \pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2 \cdot 1,5 \cdot D_i$ | | | | | |
| Altura Cilindro | D_i | 0,828144 m | Área | 0,538643667 m ² | 538643,67 mm ² | |
| | h | 1,2422159 m | Fuerza | 117278,55 N | | |
| Volumen cilindro | $V_{dc} = \pi (r^2) h$ | 0,6691117 m ³ | Esfuerzo | 0,217729377 N/mm ² | 217729,38 Pa | |
| %Ocupación | V_{rt} | 86,956522 % | | | | |
| Presión compuesto | | 217729,3768 Pa | | 2,1488219 atm | | |
| Presión diseño teórica | $P_d = \Delta P_i + P_c + P_{atm}$ | 18,148822 atm | | | | |
| Presión diseño interna | $P_{di} = P_d \cdot 1,15$ | 20,871145 atm | | | | |
| Presión diseño externa | P_{de} | 1 atm | | | | |
| Temperatura de diseño | $T_d = T_l + 20^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C} \text{ a } 45^\circ\text{C}$ | | | | | |

Figura 10. Cálculos realizados para el dimensionamiento de WH-201.

Espesor del tanque:

$$t = 4,56 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

8.2 Agitador.

Tabla 24. Relaciones para el diseño del agitador.

| | |
|-----------|------|
| Da | 0,53 |
| W | 0,11 |
| L | 0,13 |
| E | 0,53 |
| J | 0,13 |

$$\text{Reynolds} = 1025634,9$$

$$N_p = 8$$

$$\text{Potencia teórica} = 11904,97 \text{ W}$$

La potencia real del motor se la calcula con un rendimiento del 70%

$$\text{Potencia real} = 17,01 \text{ kW}$$

8.5 Filtración.

Tabla 26. Datos tomados en cuenta para el diseño del filtro.

| Dato | Valor | Unidad |
|---------------------|-------|--------------------|
| e | 0,48 | |
| Densidad colorante | 1300 | Kg/ m ³ |
| Densidad partícula | 2600 | Kg/ m ³ |
| u | 0,003 | Ns/ m ² |
| Diámetro partícula | 0,1 | mm |
| Volumen | 3,29 | m ³ |
| Tiempo de operación | 10 | min |

Tabla 27. Cálculos realizados para el área de filtración.

| Dato | Valor | Unidad |
|------------|-------------|----------------|
| μ_{mf} | 4,97249E-05 | m/s |
| Área | 110,4017668 | m ² |

8.6 Secador.

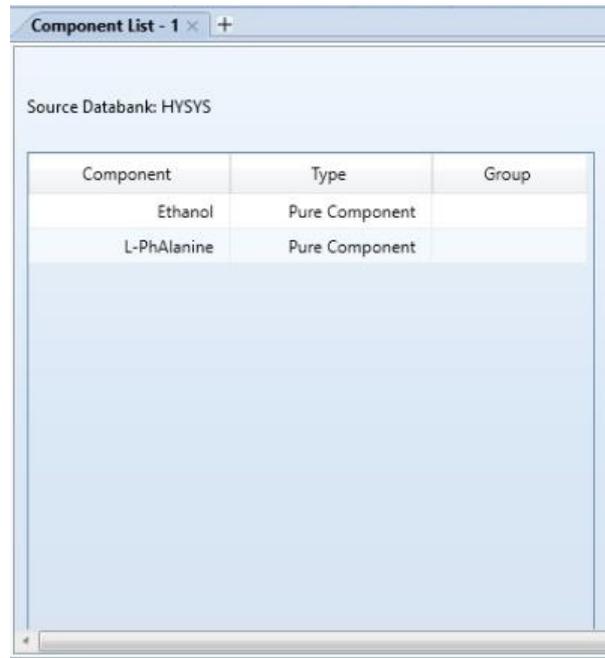
Tabla 28. Datos tomados en cuenta para el diseño del secador.

| Dato | Valor | Unidad |
|-------------------------------------|-------|----------------|
| Volumen | 0,2 | m ³ |
| Altura | 0,61 | m |
| Largo interno | 0,46 | m |
| Profundidad | 0,76 | m |
| Largo externo | 0,51 | m |
| Conductividad del asbesto | 0,166 | W/m K |
| Temperatura del horno | 80 | ° C |
| Temperatura pared externa del horno | 20 | ° C |

Tabla 29. Cálculos realizados para el diseño del secador.

| Dato | Valor | Unidad |
|------------------|---------|----------------|
| Área | 2,187 | m ² |
| Espesor de pared | 0,025 | m ² |
| Potencia | 871,539 | W |

8.7 Evaporador y condensador.



| Component | Type | Group |
|-------------|----------------|-------|
| Ethanol | Pure Component | |
| L-PhAlanine | Pure Component | |

Figura 12. Componentes utilizados para en la simulación.

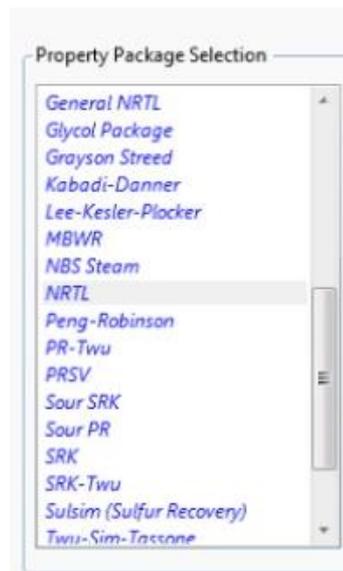


Figura 13. Paquete termodinámico utilizado.

| Stream Name | C41 | Liquid Phase |
|-------------------------------|-------------|--------------|
| Vapour / Phase Fraction | 0,0000 | 1,0000 |
| Temperature [C] | 70,00 | 70,00 |
| Pressure [kPa] | 101,3 | 101,3 |
| Molar Flow [kgmole/h] | 17,90 | 17,90 |
| Mass Flow [kg/h] | 836,7 | 836,7 |
| Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h] | 1,045 | 1,045 |
| Molar Enthalpy [kJ/kgmole] | -2,717e+005 | -2,717e+005 |
| Molar Entropy [kJ/kgmole-C] | 53,51 | 53,51 |
| Heat Flow [kJ/h] | -4,864e+006 | -4,864e+006 |
| Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h] | 1,044 | 1,044 |
| Fluid Package | Basis-1 | |
| Utility Type | | |

Figura 14. Especificaciones de la corriente C41.

| | Mass Fractions | Liquid Phase |
|-------------|----------------|--------------|
| Ethanol | 0,9800 | 0,9800 |
| L-PhAlanine | 0,0200 | 0,0200 |

Figura 15. Composiciones de la corriente C41.

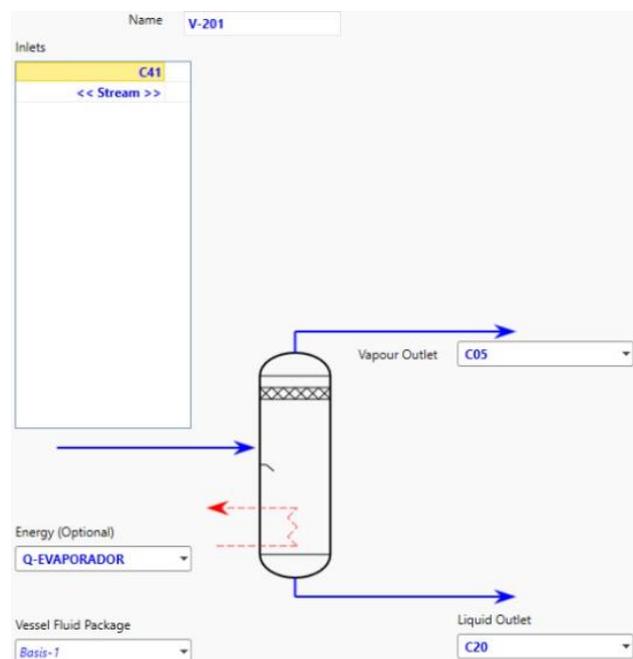


Figura 16. Corrientes del evaporador.

| Geometry | |
|-----------------|--|
| Orientation: | <input checked="" type="radio"/> Vertical <input type="radio"/> Horizontal |
| Volume [m3] | 0,4128 |
| Diameter [m] | 0,4572 |
| Height [m] | 2,515 |
| Head height [m] | <empty> |

Figura 17. Dimensiones del evaporador.

| Stream Name | C05 | Vapour Phase | Liquid Phase |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Vapour / Phase Fraction | 1,0000 | 1,0000 | 0,0000 |
| Temperature [C] | 78,33 | 78,33 | 78,33 |
| Pressure [kPa] | 101,3 | 101,3 | 101,3 |
| Molar Flow [kgmole/h] | 1,965 | 1,965 | 0,0000 |
| Mass Flow [kg/h] | 90,54 | 90,54 | 0,0000 |
| Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h] | 0,1137 | 0,1137 | 0,0000 |
| Molar Enthalpy [kJ/kgmole] | -2,313e+005 | -2,313e+005 | -2,704e+005 |
| Molar Entropy [kJ/kgmole-C] | 169,1 | 169,1 | 60,19 |
| Heat Flow [kJ/h] | -4,545e+005 | -4,545e+005 | 0,0000 |
| Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h] | 0,1137 | 0,1137 | 0,0000 |
| Fluid Package | Basis-1 | | |
| Utility Type | | | |

Figura 18. Especificaciones de la corriente C05.

| Stream Name | C20 | Vapour Phase | Liquid Phase |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Vapour / Phase Fraction | 0,0000 | 0,0000 | 1,0000 |
| Temperature [C] | 78,33 | 78,33 | 78,33 |
| Pressure [kPa] | 101,3 | 101,3 | 101,3 |
| Molar Flow [kgmole/h] | 15,93 | 0,0000 | 15,93 |
| Mass Flow [kg/h] | 746,1 | 0,0000 | 746,1 |
| Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h] | 0,9311 | 0,0000 | 0,9311 |
| Molar Enthalpy [kJ/kgmole] | -2,704e+005 | -2,313e+005 | -2,704e+005 |
| Molar Entropy [kJ/kgmole-C] | 60,19 | 169,1 | 60,19 |
| Heat Flow [kJ/h] | -4,309e+006 | 0,0000 | -4,309e+006 |
| Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h] | 0,9306 | 0,0000 | 0,9306 |
| Fluid Package | Basis-1 | | |
| Utility Type | | | |

Figura 19. Especificaciones de la corriente C20.

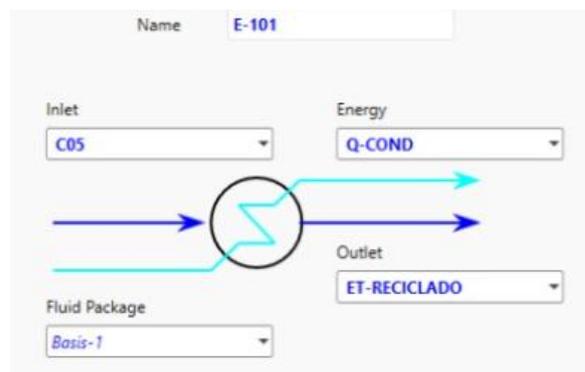


Figura 20. Corrientes del condensador.

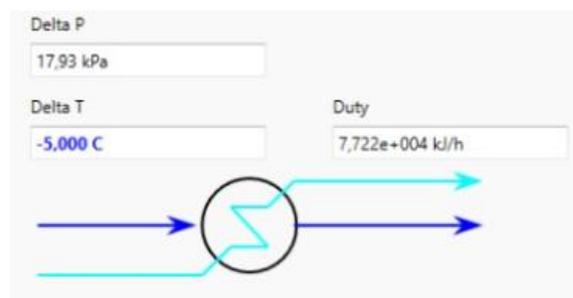


Figura 21. Diferencia de temperatura del condensador.

| Stream Name | ET-RECICLADO | Liquid Phase | Vapour Phase |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Vapour / Phase Fraction | 0,0000 | 1,0000 | 0,0000 |
| Temperature [C] | 73,33 | 73,33 | 73,33 |
| Pressure [kPa] | 83,39 | 83,39 | 83,39 |
| Molar Flow [kgmole/h] | 1,965 | 1,965 | 0,0000 |
| Mass Flow [kg/h] | 90,54 | 90,54 | 0,0000 |
| Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h] | 0,1137 | 0,1137 | 0,0000 |
| Molar Enthalpy [kJ/kgmole] | -2,706e+005 | -2,706e+005 | -2,316e+005 |
| Molar Entropy [kJ/kgmole-C] | 54,07 | 54,07 | 169,6 |
| Heat Flow [kJ/h] | -5,317e+005 | -5,317e+005 | 0,0000 |
| Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h] | 0,1137 | 0,1137 | 0,0000 |
| Fluid Package | Basis-1 | | |
| Utility Type | | | |

Figura 22. Especificaciones de la corriente de salida del condensador.

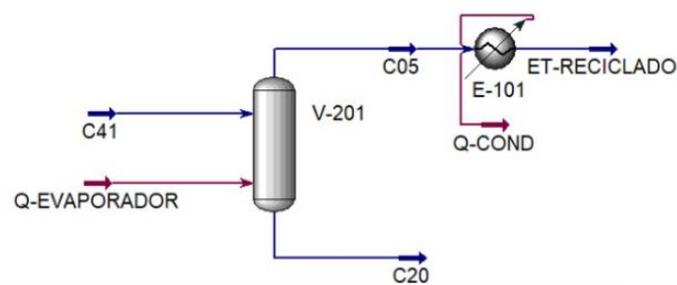


Figura 23. Diseño de la simulación de evaporador y condensador.

| Material Streams | Compositions | Energy Streams | Unit Ops |
|---------------------------|--------------|----------------|------------------|
| Name | C05 | C20 | C41 ET-RECICLADO |
| Vapour Fraction | 1,0000 | 0,0000 | 0,0000 0,0000 |
| Temperature [C] | 78,33 | 78,33 | 70,00 73,33 |
| Pressure [kPa] | 101,3 | 101,3 | 101,3 83,39 |
| Molar Flow [kgmole/h] | 1,965 | 15,93 | 17,90 1,965 |
| Mass Flow [kg/h] | 90,54 | 746,1 | 836,7 90,54 |
| Liquid Volume Flow [m3/h] | 0,1137 | 0,9311 | 1,045 0,1137 |

Figura 24. Corrientes del material.

| Name | C05 | C20 | C41 | ET-RECICLADO |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------------|
| Comp Mole Frac (Ethanol) | 1,0000 | 0,9936 | 0,9943 | 1,0000 |
| Comp Mole Frac (L-PhAlanine) | 0,0000 | 0,0064 | 0,0057 | 0,0000 |

Figura 25. Composiciones de las corrientes.

| Name | Q-EVAPORAD... | Q-COND |
|------------------|---------------|------------|
| Heat Flow [kJ/h] | 1,000e+005 | 7,722e+004 |

Figura 26. Potencia del evaporador y condensador.

9 ANEXO D: COSTOS DE LA PLANTA

9.1 Costos Comunes de equipos de planta

Para el cálculo de los costos estimados de cada equipo se utilizó la figura 19, para esto se utilizó la metodología de Sinnott, 2012.

| Equipment | Units for Size, <i>S</i> | <i>S</i> _{Lower} | <i>S</i> _{Upper} | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>n</i> | Note |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|----------|----------|----------|------|
| <i>Agitators & mixers</i> | | | | | | | |
| Propeller | driver power, kW | 5.0 | 75.0 | 4,300 | 1,920 | 0.8 | |
| Spiral ribbon mixer | driver power, kW | 5.0 | 35.0 | 11,000 | 420 | 1.5 | |
| Static mixer | Liters/s | 1.0 | 50.0 | 780 | 62 | 0.8 | |
| <i>Boilers</i> | | | | | | | |
| Packaged, 15 to 40 bar | kg/h steam | 5,000.0 | 200,000.0 | 4,600 | 62 | 0.8 | |
| Field erected, 10 to 70 bar | kg/h steam | 20,000.0 | 800,000.0 | -90,000 | 93 | 0.8 | |
| <i>Centrifuges</i> | | | | | | | |
| High-speed disk | diameter, m | 0.26 | 0.49 | 63,000 | 260,000 | 0.8 | |
| Atmospheric suspended basket | power, kW | 2.0 | 20.0 | 37,000 | 1,200 | 1.2 | |
| <i>Compressors</i> | | | | | | | |
| Blower | m ³ /h | 200.0 | 5,000.0 | 4,200 | 27 | 0.8 | |
| Centrifugal | driver power, kW | 132.0 | 29,000.0 | 8,400 | 3,100 | 0.6 | |
| Reciprocating | driver power, kW | 100.0 | 16,000.0 | 240,000 | 1.33 | 1.5 | |
| <i>Conveyors</i> | | | | | | | |
| Belt, 0.5 m wide | length, m | 10.0 | 500.0 | 21,000 | 340 | 1.0 | |
| Belt, 1.0 m wide | length, m | 10.0 | 500.0 | 23,000 | 575 | 1.0 | |
| Bucket elevator, 0.5 m bucket | height, m | 10.0 | 35.0 | 14,000 | 1,450 | 1.0 | |
| <i>Crushers</i> | | | | | | | |
| Reversible hammer mill | tonne/h | 20.0 | 400.0 | 400 | 9,900 | 0.5 | |
| Pulverizers | kg/h | 200.0 | 4,000.0 | 3,000 | 390 | 0.5 | |
| <i>Crystallizers</i> | | | | | | | |
| Scraped surface crystallizer | length, m | 7.0 | 280.0 | 41,000 | 40,000 | 0.7 | |
| <i>Distillation columns</i> | | | | | | | |
| See pressure vessels, packing, and trays | | | | | | | |
| <i>Dryers</i> | | | | | | | |
| Direct contact rotary | area, m ² | 11.0 | 180.0 | -7,400 | 4,350 | 0.9 | 1 |
| Pan | area, m ² | 1.5 | 15.0 | -5,300 | 24,000 | 0.5 | 2 |
| Spray dryer | evap rate kg/h | 400.0 | 4,000.0 | 190,000 | 180 | 0.9 | |
| <i>Evaporators</i> | | | | | | | |
| Vertical tube | area, m ² | 11.0 | 640.0 | 17,000 | 13,500 | 0.6 | |
| Agitated falling film | area, m ² | 0.5 | 12.0 | 29,000 | 53,500 | 0.6 | |

Figura 27. Costos comunes en equipos de planta.

| Equipment | Units for Size, S | S _{Lower} | S _{Upper} | a | b | n | Note |
|----------------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---------|--------|-----|------|
| <i>Exchangers</i> | | | | | | | |
| U-tube shell and tube | area, m ² | 10.0 | 1,000.0 | 10,000 | 88 | 1.0 | |
| Floating head shell and tube | area, m ² | 10.0 | 1,000.0 | 11,000 | 115 | 1.0 | |
| Double pipe | area, m ² | 1.0 | 80.0 | 500 | 1,100 | 1.0 | |
| Thermosiphon reboiler | area, m ² | 10.0 | 500.0 | 13,000 | 95 | 1.0 | |
| U-tube Kettle reboiler | area, m ² | 10.0 | 500.0 | 14,000 | 83 | 1.0 | |
| Plate and frame | area, m ² | 1.0 | 180.0 | 1,100 | 850 | 0.4 | 3 |
| <i>Filters</i> | | | | | | | |
| Plate and frame | capacity, m ³ | 0.4 | 1.4 | 76,000 | 54,000 | 0.5 | |
| Vacuum drum | area, m ² | 10.0 | 180.0 | -45,000 | 56,000 | 0.3 | |
| <i>Furnaces</i> | | | | | | | |
| Cylindrical | duty, MW | 0.2 | 60.0 | 53,000 | 69,000 | 0.8 | |
| Box | duty, MW | 30.0 | 120.0 | 7,000 | 71,000 | 0.8 | |
| <i>Packings</i> | | | | | | | |
| 304 ss Raschig rings | m ³ | | | 0 | 3,700 | 1.0 | |
| Ceramic intalox saddles | m ³ | | | 0 | 930 | 1.0 | |
| 304 ss Pall rings | m ³ | | | 0 | 4,000 | 1.0 | |
| PVC structured packing | m ³ | | | 0 | 250 | 1.0 | |
| 304 ss structured packing | m ³ | | | 0 | 3,200 | 1.0 | 4 |
| <i>Pressure vessels</i> | | | | | | | |
| Vertical, cs | shell mass, kg | 150.0 | 69,200.0 | -400 | 230 | 0.6 | 5 |
| Horizontal, cs | shell mass, kg | 250.0 | 69,200.0 | -2,500 | 200 | 0.6 | |
| Vertical, 304 ss | shell mass, kg | 90.0 | 124,200.0 | -10,000 | 600 | 0.6 | 5 |
| Horizontal, 304 ss | shell mass, kg | 170.0 | 114,000.0 | -15,000 | 560 | 0.6 | |
| <i>Pumps and drivers</i> | | | | | | | |
| Single-stage centrifugal | flow Liters/s | 0.2 | 500.0 | 3,300 | 48 | 1.2 | |
| Explosion-proof motor | power, kW | 1.0 | 2,500.0 | 920 | 600 | 0.7 | |
| Condensing steam turbine | power, kW | 100.0 | 20,000.0 | -19,000 | 820 | 0.8 | |
| <i>Reactors</i> | | | | | | | |
| Jacketed, agitated | volume, m ³ | 0.5 | 100.0 | 14,000 | 15,400 | 0.7 | |
| Jacketed, agitated, glass-lined | volume, m ³ | 0.5 | 25.0 | 13,000 | 34,000 | 0.5 | |
| <i>Tanks</i> | | | | | | | |
| Floating roof | capacity, m ³ | 100.0 | 10,000.0 | 53,000 | 2,400 | 0.6 | |
| Cone roof | capacity, m ³ | 10.0 | 4,000.0 | 5,700 | 700 | 0.7 | |
| <i>Trays</i> | | | | | | | |
| Sieve trays | diameter, m | 0.5 | 5.0 | 100 | 120 | 2.0 | 6 |
| Valve trays | diameter, m | 0.5 | 5.0 | 130 | 146 | 2.0 | 6 |
| Bubble cap trays | diameter, m | 0.5 | 5.0 | 200 | 240 | 2.0 | 6 |
| <i>Utilities</i> | | | | | | | |
| Cooling tower & pumps | flow liters/s | 100.0 | 10,000.0 | 61,000 | 650 | 0.9 | 7 |
| Packaged mechanical refrigerator | evaporator duty, kW | 50.0 | 1,500.0 | 4,900 | 720 | 0.9 | |
| Water ion exchange plant | flow m ³ /h | 1.0 | 50.0 | 6,200 | 4,300 | 0.7 | |

Figura 28. Costos comunes en equipos de planta.

9.2 Costos ISBL por método de Hand y Factorial detallado.

Tabla 30. Costo de los equipos en el método de Hand y el Factorial detallado.

| Equipo | Dimensión | Unidades | Costo Equipo (Ce) | Ce ISBL (Hand) | Ce ISBL (Método factorial) |
|--------|-----------|----------------|---------------------|------------------|----------------------------|
| TK-001 | 9,075 | m ³ | 8977,80 | 35911,20 | 22893,39 |
| TK-002 | 7,237 | m ³ | 8497,54 | 33990,15 | 27192,12 |
| TK-003 | 0,486 | m ³ | 6122,69 | 24490,77 | 19592,62 |
| WH-201 | 0,669 | m ³ | 6228,38 | 15570,95 | 15882,37 |
| CR-001 | 0,077 | ton | 63917,53 | 159793,83 | 162989,71 |
| EX-001 | 2,706 | m ³ | 5420,36 | 13550,90 | 17345,15 |
| PR-101 | 110,402 | m ² | 11000,00 | 27500,00 | 35200,00 |
| BM.101 | 0,108 | kW | 1227,64 | 3069,10 | 6138,20 |
| V-201 | 0,413 | m ³ | 24939,22 | 62348,04 | 199513,72 |
| CD-301 | 21,000 | kW | 5974,81 | 23899,24 | 76477,56 |
| SC-401 | 0,003 | MW | 30710,28 | 122841,12 | 98272,90 |
| | | | Total (ISBL) | 522965,30 | 681497,74 |

Tabla 31. Costos ISBL y OSBL en los distintos métodos.

| | Hand | Factorial | Promedio entre los dos métodos |
|-------------------------------|-----------|------------|--------------------------------|
| ISBL | 522965,30 | 681497,74 | 602231,52 |
| OSBL | 209186,12 | 272599,09 | 240892,61 |
| Gastos imprevistos | 73215,14 | 95409,68 | 84312,41 |
| ISBL+OSBL | 732151,42 | 954096,83 | 843124,13 |
| Inversión capital fijo | 951796,85 | 1240325,88 | 1096061,366 |
| 5% ISBL+OSBL | 36607,57 | 47704,84 | 42156,2064 |

Tabla 32. Costos generados por el ISBL y OSBL.

| | |
|-------------------------------|------------|
| Inversión Capital Fijo | 1049506,51 |
| Capital de Trabajo | 33070,48 |
| Costos de Producción | 1082577,00 |

9.3 Costos ISBL por valores conseguidos en el mercado.

Tabla 33. Costo de los equipos en el mercado.

| Equipo | Dimensión | Unidades | Costo Equipo (Ce) | Ce ISBL (Hand) | Ce ISBL (Método factorial) |
|---------------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------------|
| TK-001 | 9,1 | m3 | 1000,00 | 4000,00 | 2550,00 |
| TK-002 | 7,236692015 | m3 | 2000,00 | 8000,00 | 6400,00 |
| TK-003 | 0,48645 | m3 | 100,00 | 400,00 | 320,00 |
| WH-201 | 0,669 | m3 | 300,00 | 750,00 | 765,00 |
| CR-001 | 0,077 | ton | 1000,00 | 2500,00 | 2550,00 |
| EX-001 | 2,706 | m3 | 800,00 | 2000,00 | 2560,00 |
| PR-101 | 110,402 | m2 | 4000,00 | 10000,00 | 12800,00 |
| BM.101 | 0,108 | kW | 300,00 | 750,00 | 1500,00 |
| V-201 | 0,413 | m3 | 20000,00 | 50000,00 | 160000,00 |
| CD-301 | 21,000 | kW | 1000,00 | 4000,00 | 12800,00 |
| SC-401 | 0,00322 | m2 | 1000,00 | 4000,00 | 3200,00 |
| Total (ISBL) | | | | 86400,00 | 205445,00 |

Tabla 34. Costos ISBL y OSBL en los distintos métodos.

| | Hand | Factorial | Promedio entre los dos métodos |
|-------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------|
| ISBL (USD) | 86400,00 | 205445,00 | 145922,50 |
| OSBL (USD) | 34560,00 | 82178,00 | 58369,00 |
| Gastos imprevistos (USD) | 12096,00 | 28762,30 | 20429,15 |
| ISBL+OSBL (USD) | 120960,00 | 287623,00 | 204291,50 |
| Inversión capital fijo (USD) | 157248,00 | 373909,90 | 265578,95 |
| 5% ISBL+OSBL (USD) | 6048,00 | 14381,15 | 10214,58 |

Tabla 35. Costos generados por el ISBL y OSBL.

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Inversión Capital Fijo (USD) | 316385,30 |
| Capital de Trabajo (USD) | 33070,48 |
| Costos de Producción (USD) | 349455,78 |

9.4 Costos Materias Primas

Tabla 36. Precio de la obtención de semillas de aguacate.

| | |
|--|--------|
| Transporte semillas (\$) | 30 |
| Numero de restaurantes visitados al mes | 398,5 |
| 10% por restaurantes (\$) | 1195,5 |
| Total, precio (\$) | 1225,5 |

Tabla 37. Precio de la obtención de semillas de aguacate.

| Costo de materia prima de un mes | Salarios y demás | |
|---|---------------------------------|--------------|
| 75% de los costos de producción | 25% de los costos de producción | Total |
| 4410,28 | 1102,57 | 5512,85 |

Tabla 38. Costos de materia prima y electricidad por unidad de venta.

| Costo de producción por unidad de venta | |
|--|---------------|
| Electricidad | 229,52 |
| Materia Prima | 69,55 |
| Total, de costo | 299,08 |

9.5 Ganancia por venta.

Para el presente proyecto se estableció que al día se van a realizar 3 unidades de venta de 6 kg de colorante.

Tabla 39. Ganancia por unidad de venta.

| Por unidad de venta | |
|----------------------------|---------------|
| Costo de producción (\$) | 299,08 |
| Costo de venta (\$) | 416,59 |
| Ganancia (\$) | 117,52 |