



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN
DE UN PLAGUICIDA ORGÁNICO A PARTIR DE LA SAPONINA
DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) EN COPROBICH”**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: VICTORIA ALEXANDRA CASTAÑEDA OROSCO

TUTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA

Riobamba-Ecuador

2018

©2018, Victoria Alexandra Castañeda Orosco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo técnico: DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE UN PLAGUICIDA ORGÁNICO A PARTIR DE LA SAPONINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) EN COPROBICH, de responsabilidad de la señorita Victoria Alexandra Castañeda Orosco, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera

**DIRECTORA DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Marcela Yolanda Brito Mancero

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Victoria Alexandra Castañeda Orosco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 18 de julio de 2018

Victoria Alexandra Castañeda Orosco
060407510-1

Yo, Victoria Alexandra Castañeda Orosco soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Victoria Alexandra Castañeda Orosco

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor a mis padres quienes han sido mis guías y quienes me han inculcado desde pequeña que es trabajar para alcanzar los sueños, a mi padre un hombre trabajador que al culminar esta etapa está recogiendo los frutos de lo que ha sembrado junto con mi madre que ha sido mi gran apoyo incondicional, por ser mi ejemplo gracias, ustedes se merecen mucho más papito Oswaldo Castañeda y María Orosco, los amo.

A mi pequeña hija Doménica Orozco que desde pequeña entendió cuando mamá estudiaba y comprendía el sacrificio que teníamos que hacer para alcanzar los sueños, por creer en mí y por ser mi luz de vida, mi inspiración, mi amor, por ti para que te sientas orgullosa de mamá y que sepas que juntas lo logramos mi pequeñita. Siempre juntas.

A mi hermana Paulinita quien con sus palabras de aliento siempre me dio fuerza en momentos de debilidad, gracias a mi familia que sin su apoyo no lo hubiese logrado.

Mamita Rosa jamás me olvidare de usted, quien sin duda ha sido parte fundamental en mi vida, siempre con su carisma y entusiasmo brindándome su apoyo en cualquier circunstancia. Todo mi esfuerzo es por ustedes.

Victoria Castañeda

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque él fue quien me puso en el lugar que estoy, sin duda él sabe que tiene preparado para mi vida y poco a poco fue cristalizando lo que tiene para mí a su tiempo y en el momento correcto, sin olvidarme de la virgen Dolorosa quien guio y me cubrió con su santo manto en cada paso que di.

Sin duda a mis padres quienes han sido mi pilar fundamental, quienes me han corregido y guiado hasta este momento importante de mi vida.

A mi hermana por su ayuda, Pauli tu mi cómplice, amiga te amo gracias hermana por tu tiempo, paciencia, tus regaños, por todo lo que haces por mí.

Sin duda a mis amigas que fueron parte importante en mi vida estudiantil, gracias Paito, Dianita, Anita, Jess amigas que empezamos juntas apoyándonos y enfrentando, tristezas y alegrías y hoy cada una de nosotras vamos terminando esta etapa donde pudimos compartir muchas anécdotas que mi mente jamás olvidara, no sin olvidarme que gracias a la escuela de ingeniería química llegué a conocer amigas extraordinarias Aleja, Karen, Katy, Geova gracias por su amistad sincera y que al pasar los años de estudio formaron parte de mi vida y quedaran en mi corazón gracias chicas.

No me puedo olvidar de agradecer a una persona que en el transcurso de mi carrera conocí, Cristhian gracias por ser esa persona especial que sin duda siempre quiere lo mejor para mí, por tu ayuda por tu amor y comprensión gracias.

A los ingenieros que formaron parte de mi instrucción académica, especialmente a la Ing. Mabel Parada y Ing. Marcela Brito quienes me brindaron su tiempo en la realización de mi tesis y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por permitirme formar parte de la institución.

Victoria Castañeda

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I	
1.DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Línea base del proyecto	2
<i>1.3.1 Antecedentes de la empresa</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2 Marco conceptual.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2.1. Quinoa.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2.2. La saponina.....</i>	<i>7</i>
<i>1.3.2.3. Plaguicida</i>	<i>10</i>
<i>1.3.2.4. Plaguicidas naturales de uso popular.....</i>	<i>10</i>
1.4 Beneficiarios directos e indirectos	11
<i>1.4.1. Beneficiarios Directos</i>	<i>11</i>
<i>1.4.2. Beneficiarios Indirectos</i>	<i>11</i>
CAPÍTULO II	
2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	12
2.1 General.....	12
2.2 Específicos.....	12
CAPÍTULO III	
3.ESTUDIO TÉCNICO	13
3.1 Localización del Proyecto	13
3.2 Ingeniería del Proyecto	14
<i>3.2.1. Tipo de estudio.....</i>	<i>14</i>

3.2.2. Metodología	14
3.2.3.1. <i>Técnicas</i>	15
3.2.4. Procedimiento a nivel de laboratorio	19
3.2.4.1. <i>Selección de materia prima</i>	19
3.2.4.2. <i>Caracterización de la materia prima</i>	20
3.2.4.3. <i>Descripción del procedimiento</i>	21
3.2.4.4. <i>Formulación del plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua</i>	28
3.2.4.5. <i>Variables del proceso</i>	32
3.2.4.6. <i>Operaciones Unitarias del Proceso</i>	33
3.2.5. Validación del proceso	34
3.2.6. Balance de masa y energía	38
3.2.6.1. <i>Balances de masa</i>	38
3.2.6.2. <i>Balance de energía</i>	51
3.2.7. Dimensionamiento de equipos	57
3.2.7.1. <i>Secado</i>	57
3.2.7.2. <i>Macerador</i>	60
3.2.7.3. <i>Filtro al vacío</i>	66
3.2.7.4. <i>Sistema de destilado</i>	78
3.2.7.5. <i>Homogeneizador</i>	96
3.2.8. Resultados	101
3.2.8.1. <i>Resultados de la validación del producto</i>	101
3.2.7.2. <i>Propuesta de diseño de equipos</i>	102
3.2.9. Proceso de producción	105
3.2.9.1. <i>Materia prima e insumos</i>	105
3.2.9.3. <i>Diagrama del proceso</i>	106
3.2.9.4. <i>Descripción del proceso de elaboración de plaguicida orgánico a partir de saponina de quinua</i>	108
3.2.9.5. <i>Distribución y diseño de la planta</i>	109
3.3 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	110
3.3.1. <i>Requerimientos de Equipos</i>	110
3.3.2. <i>Requerimientos para el funcionamiento de la planta</i>	112
3.4 Análisis de Costo/beneficio del proyecto	112
3.4.1. <i>Presupuesto</i>	112
3.4.2. <i>Análisis costo-beneficio</i>	115
3.5 Cronograma de ejecución del proyecto	116
ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	117

CONCLUSIONES..... 120

RECOMENDACIONES..... 122

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Quinoa.....	6
Figura 2-1: Sección longitudinal media del grano de quinoa	6
Figura 3-1: Estructura de la Saponina.....	9
Figura 1-3: Localización COPROBICH	14
Figura 2-3: Curva de secado	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Taxonomía de la quinua (<i>Chenopodium quinua</i>)	4
Tabla 1-3: Coordenadas geográficas de Colta	13
Tabla 2-3: Determinación de densidad	16
Tabla 3-3: Determinación de Ph.	16
Tabla 4-3: Determinación de cenizas.....	17
Tabla 5-3: Determinación de humedad.....	17
Tabla 6-3: Determinación cualitativa de saponina.....	18
Tabla 7-3: Requisitos Fisicoquímicos de la Materia Prima	20
Tabla 8-3: Requisito Fisicoquímico de la Materia Prima	21
Tabla 9-3: Operaciones del proceso parámetros óptimos de obtención del plaguicida orgánico	33
Tabla 10-3: Datos de secado	40
Tabla 11-3: Cálculos de secado	40
Tabla 12-3: Datos para curva de secado	41
Tabla 13-3: Datos de investigación extracción saponina.....	61
Tabla 14-3: Datos de la simulación.....	66
Tabla 15-3: Datos para curva de filtración.....	69
Tabla 16-3: Datos de tamizado	73
Tabla 17-3: Catálogo de bombas de vacío	78
Tabla 18-3: Datos del agua de enfriamiento	84
Tabla 19-3: Datos del vapor de agua-etanol 1:1	84
Tabla 20-3: Resultados de validación de formulación N°1	102
Tabla 21-3: Resultados de validación de formulación N°2	102
Tabla 22-3: Dimensionamiento del secador de bandejas	103
Tabla 23-3: Dimensionamiento del tanque macerador	103
Tabla 24-3: Dimensionamiento del filtro al vacío	104
Tabla 25-3: Dimensionamiento del sistema de destilado.....	104
Tabla 26-3: Dimensionamiento del homogeneizador	105
Tabla 27-3: Materia Prima	105
Tabla 28-3: Insumos	106
Tabla 29-3: Requerimientos para la implementación del proceso de elaboración de plaguicida	111
Tabla 30-3: Requerimientos para el funcionamiento de la planta.....	112
Tabla 31-3: Costos para la implementación del proceso de obtención de plaguicida orgánico.....	112

Tabla 32-3: Costos de materia prima e insumos	113
Tabla 33-3: Costos de mano de obra.....	113
Tabla 34-3: Costos de requerimientos energéticos	114
Tabla 35-3: Costos totales de implementación del proceso	114
Tabla 36-3: Costos de producción	115

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1-1: Saponina	7
Fotografía 1-3: Recepción de la materia prima	21
Fotografía 2-3: Cuartiles de la muestra	22
Fotografía 3-3: Pesaje de la materia prima	22
Fotografía 4-3: Eliminación de humedad del mojuelo	23
Fotografía 5-3: Preparación de disolvente para extracción.	23
Fotografía 6-3: Maceración de muestra.....	24
Fotografía 7-3: Filtración al vacío en laboratorio.....	24
Fotografía 8-3: Prueba positiva de espuma	25
Fotografía 9-3: Prueba positiva de alcaloides.....	25
Fotografía 10-3: Destilación simple (Dean stark)	26
Fotografía 11-3: Saponina en el balón.....	26
Fotografía 12-3: Saponina envasada.....	27
Fotografía 13-3: Formulaciones de plaguicida.....	27
Fotografía 14-3: Maceración con mojuelo húmedo.....	28
Fotografía 15-3: Formulación N°1	29
Fotografía 16-3: Formulación N°2	30
Fotografía 17-3: <i>Drosophila melanogaster</i>	35
Fotografía 18-3: Molido de fruta de alimentación.....	35
Fotografía 19-3: Capturas de moscas <i>Drosophila melanogaster</i>	36
Fotografía 20-3: Trasvaso de moscas	37
Fotografía 21-3: Atomización a los insectos	37
Fotografía 22-3: Contabilización de los insectos muertos.....	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Curva de secado.....	41
Gráfico 2-3: Esquema de balance de masa general.....	50
Gráfico 3-3: Dimensiones de bandeja.....	58
Gráfico 4-3: Esquema de secador de bandejas.....	60
Gráfico 5-3: Esquema de macerador.....	63
Gráfico 6-3: Medidas de macerador.....	65
Gráfico 7-3: Curva de filtración.....	69
Gráfico 8-3: Esquema de filtración.....	73
Gráfico 9-3: Esquema de sistema de destilado	79
Gráfico 10-3: Esquema de evaporador con serpentín	82
Gráfico 11-3: Esquema de condensador	96
Gráfico 12-3: Diagrama de proceso.....	107
Gráfico 13-3: Capacidad de producción de planta.....	110

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Resultado de la caracterización del mojuelo

ANEXO B: Determinación del contenido de saponina por el método espumoso

ANEXO C: Diagrama número de potencia

ANEXO D: Diagrama de la planta de COPROBICH

ANEXO E: Diagrama de los equipos

ANEXO F: Etiqueta

RESUMEN

Este trabajo de titulación tuvo por objetivo diseñar un proceso industrial para la obtención de un plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua (*Chenopodium quinoa*) para la empresa COPROBICH. Para poder realizar el diseño del proceso de obtención del plaguicida se realizó una revisión bibliográfica de los métodos más eficaces para la obtención de la saponina, que es el principio activo del plaguicida, y se realizaron varias pruebas para concluir qué método es el más eficiente, pues al realizarse con la materia prima (mojuelo) seca se obtuvieron mayor rendimiento de saponina, con respecto a la obtención de la misma sin la operación de secado. Luego de la obtención de la saponina se realizó la formulación del plaguicida y se validó el mismo aplicando la prueba de la dosis letal media con la muerte del 50 % de animales puestos a prueba. Con los datos obtenido se realizó el diseño a nivel industrial de los equipos que intervienen en el proceso de obtención del plaguicida, entre ellos está la operación de secado, macerado, filtrado, destilado y homogeneizado. Las variables que se deben controlar incluyen la temperatura de secado del mojuelo, el tiempo de maceración a temperatura ambiente y la temperatura de destilado para separar la saponina de la disolución etanólica. Es recomendable que la operación de extracción solido-liquido no sea mayor a las 96 horas establecidas ya que se puede existir una saturación en la mezcla y afectar el rendimiento en el proceso de extracción de saponina.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <MOJUELO>, <QUINUA (*Chenopodium quinoa*)>, <EXTRACCION SÓLIDO-LÍQUIDO>, <DOSIS LETAL MEDIA (DL₅₀)>, <PLAGUICIDA ORGÁNICO>.

ABSTRACT

This degree research was aimed at designing an industrial process for obtaining an organic pesticide from the saponin of quinoa (*Chenopodium quinoa*) for the company COPROBICH. In order to perform the design of the process of obtaining of the pesticide a bibliographic review was made of the most effective methods for obtaining the saponin, which is the active principle of the pesticide, and several evidence to conclude that method is the most efficient, therefore to be done with the raw (example) dry were obtained higher performance of saponin, with regard to the obtaining of the same without the drying operation. After obtaining the saponin was the formulation of the pesticide and validated it by applying the test of the median lethal dose with the death of 50% of animals tested. With the data retrieved was the industrial design of the teams involved in the process of obtaining of the pesticide, among them are the operation of dry, macerated, filtered, distilled and homogenized. Variables that should be monitored include the drying temperature of the mojuelo, the time of maceration at room temperature and the temperature of distillation to separate the saponin of the solution in ethanol. It is recommended that the operation of solid - liquid extraction does not exceed 96 hours established since it can exist a saturation in the mix and affect the performance in the process of extraction of saponin.

KEY WORDS: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <MOJUELO>, <QUINOA (*Chenopodium quinoa*)>, <SOLID-LIQUID EXTRACTION>, <MEDIAN LETHAL DOSE >, <ORGANIC PESTICIDE >.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

El desafío que enfrentan los productores locales es la invasión de las plagas y enfermedades que llegan a sufrir las plantas antes de poder cosechar sus frutos, por esta razón se llega a perder gran cantidad de producto debido a estos problemas.

COPROBICH (Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo) es una comunidad de productores indígenas que incluyen 56 comunidades que se encuentran en los cantones de Riobamba, Colta y Guamate, los cuales exporta quinua a mercados internacionales como: Alemania, Canadá, Colombia y Holanda (COPROBICH, 2017).

La producción de quinua ocasiona una gran cantidad de polvillo (mojuelo), que se da por el descascarado por fricción en la quinua (escarificado o pulido), el cual es desechado sin ninguna utilidad, dando como resultado un desperdicio del residuo, esto podría ser aprovechado en diferentes procesos, conociendo que el mojuelo contiene cantidades de saponina, la cual se puede utilizar como mecanismo de defensa de las plantas como el control de ciertas plagas, también poseen importantes propiedades biológicas como actividad antimicrobiana, nematicida, inmunológicas así como agente plaguicida además de conferir un sabor amargo y poseer factores anti nutricionales (Núñez, 2017,p.6.).

El propósito es dar una solución a esta problemática por lo que se plantea diseñar un proceso industrial para la obtención de un plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua, que se va aprovechar todos los compuestos presentes en este subproducto, generando posibles alternativas de producción y rentabilidad para la empresa.

1.2 Justificación del proyecto

La Corporación de Productores y Comercializadores Bio Taita Chimborazo (COPROBICH) se encuentra ubicado en el Cantón Colta, Parroquia Cajabamba, está integrada con más de 541 familias asociadas.

La producción de quinua en la provincia de Chimborazo ha tomado gran relevancia en los últimos años debido a la gran responsabilidad social de tener una alimentación sana. La industria está desarrollando nuevos productos en base a quinua lo que ha generado una gran demanda de esta materia prima. Ciertas empresas que ofertan quinua a nivel nacional como internacional, generan considerables volúmenes de mojuelo que contienen saponinas y por su amargor es desechado.

La realización de este proyecto se da como respuesta a la problemática que presenta COPROBICH para lo cual se buscó una solución que se dará mediante la reutilización del residuo, teniendo como alternativa el estudio de la obtención de un plaguicida orgánico a partir de la saponina de la quinua, considerando que las saponinas tienen un efecto germicida el cual podría ser empleado para la elaboración de un pesticida natural que controle las plagas en cultivos

1.3 Línea base del proyecto

1.3.1 Antecedentes de la empresa

La Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH), fue reconocida legalmente mediante acuerdo ministerial N° 184 del 21 de julio del 2003 del ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) pegado a lo que contiene el Título XXX del Código Civil, en su artículo 564 (Coprolich, 2017).

La regulación de las actividades de COPROBICH, gracias al criterio del asesor Jurídico del MAGAP, se encarga el sector financiero Popular y Solidario, a través de la SUPERINTENDENCIA DE ECONOMÍA POPULAR Y SOLIDARIA (Coprolich, 2017). En el artículo 15 de esta ley especifica que las organizaciones del sector comunitario son todas aquellas que están vinculadas por relaciones de territorio, identidades étnicas, culturales, de género, de cuidado de la naturaleza, urbanas o rurales; o, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades, que mediante el trabajo conjunto, tienen por objeto la producción, comercialización, distribución y el consumo de bienes o servicios lícitos y socialmente necesarios, en forma solidaria y auto gestionada, bajo los principios de la presente Ley (Coprolich, 2017).

La aplicación de esta ley se dio desde el 13 de abril del año 2011, lo que significa que mediante avanza, su aplicación es progresiva en cada una de las cooperativas de toda clase en el Ecuador, las mismas que han tenido que acoplarse a éstas (Coprolich, 2017).

Los principales productos comercializados por COPROBICH son la quinua, el trigo, arroz de cebada y otros productos agropecuarios que son cosechados de manera orgánica. Actualmente COPROBICH trabaja en mejoras e innovación dentro del sistema de producción agroecológica, la misma que permite o abarca una producción libre de químicos o transgénicos tratando de utilizar al máximo los recursos de la tierra permitiendo la fertilidad del mismo combinada con la actividad biológica, trata también de minimizar el uso de los recursos no renovables y procura no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana, por esta razón la empresa apoya la propuesta de reemplazar plaguicidas sintéticos por plaguicidas orgánicos, mismos que servirán para la producción agrícola de sus productos, además que será de gran apoyo para fomentar la investigación en un futuro, ya que los residuos de la quinua del escarificado (mojuelo), que realiza la empresa contiene ciertas cantidades de saponina que pueden actuar en el control de varios tipos de plagas, pudiendo utilizarse como materia prima para la elaboración de un plaguicida orgánico.

1.3.2 Marco conceptual

1.3.2.1. Quinua

La quinua es una planta herbácea que pertenece a la familia de los Chenopodiaceas, (Rivera,1995; citado en Chacchi, 2009), ésta es considerada como uno de los alimentos más completos a nivel nutricional, mayormente se cultiva en la zona de los Andes, como por ejemplo en Bolivia, Perú y Ecuador. La mayor producción de la quinua se da específicamente en las zonas rurales, y se la ha utilizado desde hace 3000 años para la alimentación de los pueblos.

Según la organización de la FAO (2011), la quinua en la actualidad es conocida en Europa, Asia y África por los programas de investigación en la diversificación de cultivos en universidades, y está siendo empacada y distribuida por empresas especializadas en productos vegetarianos y naturales lo cual conlleva un valor estratégico para la seguridad alimentaria y nutrición en la humanidad.

A la quinua se la conoce con el nombre científico de *Chenopodium quinoa willd.*, y su clasificación se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1-1: Taxonomía de la quinua (*Chenopodium quinua*)

Reino	Vegetal
División	Fanerógama
Clase	Dicotiledónea
Orden	Angiosperma
Familia	Chenopodiáceas
Genero	<i>Chenopodium</i>
Sección	Chenopodia
Subsección	Cellulata
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i> , Will

Fuente: Mújica, I, 1993

Descripción Botánica

La quinua es una planta herbácea de ciclo anual que alcanza alturas entre uno y dos metros que presenta pequeñas semillas que son utilizadas para la alimentación, se encuentran ubicadas en los extremos superiores de las ramificaciones por lo general esta planta se considera bisexual y se autofertiliza, su fruto es seco mide aproximadamente 2 mm de diámetro. (Fontan, 2002, pp.17-21).



Figura 1-1: Quinua

Fuente: <http://www.calidad.ebizar.com/importacion-quinua-ofrece-nuevas-opciones-mercado/>

- Raíz

La raíz en la tierra se introduce de forma perpendicular y vigorosa es bastante ramificada y fibrosa, lo cual le da resistencia a la sequía y buena estabilidad a la planta por lo que puede alcanzar hasta 1,80 cm de profundidad, sus ramificaciones presentan un tallo principal y varias laterales cortas que son características de la zona del altiplano, característico en los ecotipos que se cultivan en los valles interandinos.

- Tallo

Los tallos son delgados de una forma cilíndrica en el cuello de la planta, de esta manera puede tener ramificaciones secundarias.

- Hojas

Sus hojas poseen un aspecto variado y los bordes tienen una forma dentada, su coloración varía de verde claro a verde oscuro, a su vez se va transformando en amarillas, rojas o púrpuras según su estado de maduración. (Tapia, 2007)

- Flores

Las flores son pequeñas con un tamaño de aproximadamente 3 mm y pueden ser hermafrodita, lo que permite una gran variación sexual según las diferentes variedades. (Rivera, 1995)

- Fruto

La quinua es pequeña y presenta diversas coloraciones. Tiene una capa externa que lo cubre es de superficie rugosa que se desprende con facilidad al contacto con el agua o al ser hervida. En esta capa se almacenan la sustancia amarga denominada saponina, cuyo grado de amargor varía según los tipos de quinua. (Rivera, 1995)

- Semilla

Se considera al fruto como maduro cuando no posee el perigonio, es de forma lenticular, elipsoidal, cónica o esferoidal, presenta tres partes bien definidas que son: Episperma que ha sido estudiado por Villacota y Talavera (1976), quienes describen la presencia de cuatro capas:

- Una capa externa que determina el color de la semilla y que es de superficie rugosa, quebradiza y seca que se desprende fácilmente con el vapor.
- El color de la segunda capa difiere de la primera y se observa solo cuando la primera capa es translúcida.
- La tercera capa es una membrana delgada, opaca de color amarillo.
- La cuarta capa es translúcida y está formada por una sola hilera de células que cubre el embrión.

- La cuarta capa es translúcida y está formada por una sola hilera de células que cubre el embrión.

La saponina está ubicada en la primera membrana. El contenido y adherencia en los granos es muy variable y ha sido el motivo de diferentes estudios y técnicas para eliminarlo, por el sabor amargo que otorga el grano.

El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye el 30% del volumen total de la semilla (Carrillo, 1999; Ayala, 1077; Gallardo y Gonzales, 1997) los que indican que el perisperma envuelve como un anillo, es de color amarillo.

El principal tejido es el perisperma donde se da el almacenamiento y está constituido mayormente por granos de almidón, es de color blanquecino y representa prácticamente el 60% de la superficie de la semilla. (Ver Figura 1- 3)

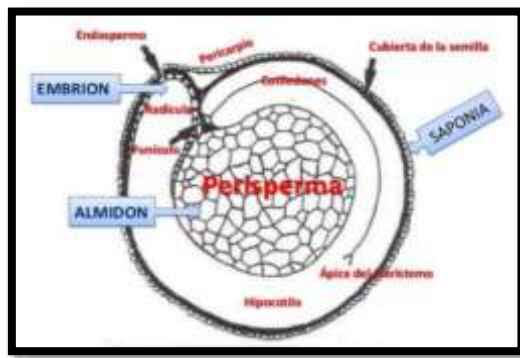


Figura 1-2: Sección longitudinal media del grano de quinua

Fuente: FLORES Didí, 2013.

Es importante conocer que la quinua es una planta de la que se aprovecha todo. Los tallos rojos o amarillos tienen mucha fibra que son buenos para la alimentación de animales, ganan peso y producen más leche. Las hojas tiernas sirven para preparar sopas y ensaladas y tras sacar el grano de las hojas, la cascarilla que envuelve a cada quinua se la quema y con esa se elabora “pasa” o lejía, utilizada en la masticación de coca (Azcuí, 2006).

1.3.2.2. La saponina



Fotografía 1-1: Saponina
Fuente: CASTAÑEDA, Victoria, 2018.

➤ Generalidades

El nombre de saponina se da a un grupo de glicosidos que se encuentran ubicados en la planta y que al disolverse en agua disminuye la tensión superficial, por lo tanto, cuando se agita la solución se forma una espuma abundante y estable.

Son solubles en disolventes polares, pero en los de baja polaridad no, como hexano o cloroformo. Se ven afectadas al pH de la solución, ya que a altos pH sufren hidrólisis, formándose saponina de menor peso molecular.

No posee una fórmula definida química, sin embargo, de manera general se puede sugerir el siguiente esquema: $C_nH_{2n-8}O_{10}$, posee elevado peso molecular y su aislamiento en estado puro ofrece ciertas dificultades. Son solubles en agua, etanol y metanol diluidos y en caliente.

Las pequeñas semillas de quinua están recubiertas por una delgada membrana que contiene hasta un 4% de saponina, sustancia amarga que produce abundante espuma al ser agitado en agua. (Zarate,2016, p.26)

Según Mujica (2011), se localiza en muchas especies vegetales como quillay (Quilaje saponaria) y saponaria (Saponaria officinalis), esta última rica en saponina y en el pasado fue materia prima para producir jabones.

La saponina es una sustancia que tiene la capacidad de formar espuma cuando son extraídas con agua, se logran identificar cuatro subgrupos: saponinas triterpénicas, saponinas esteroidales, saponinas esteroidales alcalinas y saponinas de organismo marino. Las saponinas triterpénicas se encuentran en abundancia en las dicotiledóneas, siendo el problema principal que enfrentan los productores de granos al obtener saponina en la cáscara del grano maduro, ya que estos glucósidos son ligeramente tóxicos y de un sabor amargo fuerte.

La saponina tiene un papel importante en la defensa contra la plaga de insectos, a nivel de maduración fisiológica de la planta. La saponina forma parte de las sustancias que están siendo investigadas para el tratamiento como subproducto de la quinua. Las saponinas tienen un amplio rango de actividades biológicas tales como la acción antimicótica, antiviral, anti cancerígena, diurética, molusquicida. (Mujica *et al*,2006)

La definición de saponina se basa en sus propiedades tensoactivas, por lo que forma en el agua espumas. Esto hace que presente actividad hemolítica, por lo que llega hacer tóxico para los peces y además de tener un sabor amargo. Sin embargo, estas propiedades no son comunes a todas las saponinas y no se pueden utilizar para definir lo que es saponina.

➤ Estructura de la saponina

Las saponinas son metabolitos secundarios que pertenecen al grupo de los glicósidos, donde se incluyen a las sustancias constituidas por azúcares en forma de acetales. Consisten de un núcleo lipofílico que puede presentar una estructura esteroide o triterpenoide, con una o más cadenas de carbohidratos. (Ver Figura). Al núcleo lipofílico se le denomina aglicón, por ser el grupo que está enlazado a un átomo de carbono anomérico, que es el átomo de carbono enlazado a dos oxígenos, o a un oxígeno y cualquier otro heteroátomo, como nitrógeno. (Wade, 2000)

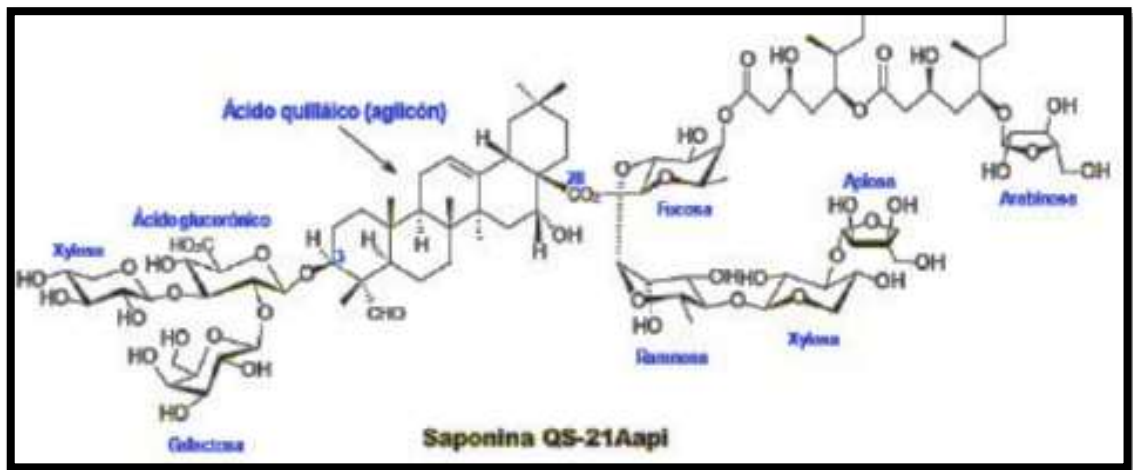


Figura 2-1: Estructura de la Saponina

Fuente: <https://es.slideshare.net/IgorVillalta/clase-15-glicosidos-saponinicos>

Bioactividad de las saponinas de quinua

La propiedad más importante de la saponina es su actividad anti fúngica; que se ha comprobado, que la saponina inhibe el crecimiento de *Candida Albicans*. (Woldemichael y Wink, 2001), muestra además propiedades insecticidas, nematocidas (se estudió la actividad nematocida de las saponinas de quinua sobre *Solanum tuberosum*), molusquicida y antibiótica. (Reilly *et al.*, 2004)

Se conoce que posee propiedades anticancerígenas y que estimulan el sistema inmune. El ácido oleanico, uno de los cinco componentes de mayor abundancia en la saponina de quinua, muestra una significativa actividad antitumoral en células del colón. En la actualidad se ha determinado que las saponinas tienen beneficios y propiedades para la salud, entre las cuales se puede mencionar diversos efectos biológicos: por su actividad antiviral, como analgésico, antiinflamatorio, antimicrobiano, antioxidante, además de tener un importante efecto sobre la absorción de minerales y vitaminas, aumenta la permeabilidad de la mucosa intestinal. (Güclü-üstündag and Mazza, 2007)

La saponina se caracteriza por su sabor amargo, por la formación de espuma en soluciones acuosas. Forman espumas estables en concentraciones bajas 0,1 % y por lo tanto tienen aplicaciones industriales en bebidas como la cerveza, en la industria cosmética, en extinguidores de espuma para incendios, en fotografías, elaboración de shampoo y jabones, en la agricultura, etc. (San Martín y Briones, 1999)

Según Taylor y Parker (2002) un aspecto importante de la saponina de quinua es el sabor amargo que desempeña una función de defensa contra los pájaros, la saponina se considera tóxica para

diferentes organismos, además son el factor antinutricional presente en la cubierta de la semilla; por esta razón las saponinas que son contenidas en las semillas de quinua, específicamente en el pericarpio de la semilla deben ser removidas antes de ser consumido.

1.3.2.3. Plaguicida

Los plaguicidas son sustancias químicas que se utilizan para controlar, prevenir o destruir las plagas que afecta al sector agrícola, el desarrollo de los plaguicidas fue de gran apoyo para el crecimiento del agricultor, sin embargo, a largo plazo se ha demostrado que el uso excesivo de plaguicidas afecta al medioambiente e incluso modifica a la plaga haciéndolas más resistentes. (Pérez y Gardey, 2015)

Por su actividad biológica pueden clasificarse en: insecticidas, fungicidas, herbicidas y rodenticidas, según la toxicidad puede ser para insectos, hongos, malas hierbas o roedores. También existen los atrayentes, repelentes y esterilizantes de insectos que ayudan a su destrucción por medio de estas acciones. (Sánchez y Sánchez, 1984: p. 7)

La humanidad depende del consumo de vegetales, cereales como la obtención de su producto, según Bonifaz (2013) anualmente una tercera parte de la producción de alimentos se ve destruida por pestes.

Mencionado lo anterior se tiene la necesidad de estudiar nuevas alternativas para el control de plagas, sabiendo que las plantas en general tienen metabolismo secundario; esto quiere decir que producen sustancias de bajo peso molecular, hoy en día se sabe que el metabolismo secundario tiene un rol importante en la defensa de plantas, por lo que en los últimos años se está volviendo al uso de plantas como una fuente de plaguicidas los que serán más seguros para el ecosistema y los seres humanos.

1.3.2.4. Plaguicidas naturales de uso popular

Los plaguicidas de uso natural en estos tiempos han tenido una gran acogida ya que proviene de ciertas plantas o frutos, por lo cual es un producto netamente amigable con las plantas y el medio ambiente y de tal manera protegiéndolo de ciertas plagas que amenazan las cosechas.

Los más conocidos de uso popular son los siguientes:

- Fungicida con leche.
- Insecticida de ajo
- Insecticida de tomate
- Insecticida de pimienta
- Insecticida de cítricos
- Entre otros.

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1. Beneficiarios Directos

El presente proyecto beneficiará principalmente a COPROBICH aportando con un nuevo producto para comercializar y aprovechar los desechos que generan en cada lote de producción de la quinua.

Los socios y sus respectivas familias que buscan superarse en base al trabajo conjunto y bajo un enfoque socio empresarial.

1.4.2. Beneficiarios Indirectos

El consumidor final se verá beneficiado con un producto elaborado de una forma técnica y estandarizada, cuya composición sea natural y segura para el control de plagas.

Personas o familias que no sean parte de la empresa como socios; pero que son y serán proveedores de la materia prima e insumos necesarios para la elaboración del plaguicida.

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 General

Diseñar un proceso industrial para la obtención de un plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua (*Chenopodium quinoa*) en la Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH).

2.2 Específicos

- Caracterizar físico y químicamente el mojuelo de quinua como materia prima para el proceso de obtención del plaguicida orgánico.
- Identificar las variables del proceso de obtención del plaguicida orgánico a escala industrial.
- Determinar las operaciones de proceso y los parámetros óptimos para la obtención del plaguicida orgánico a nivel industrial.
- Validar el proceso mediante la determinación de la dosis letal 50 (DL₅₀).
- Establecer la factibilidad técnica y económica del diseño propuesto.

CAPÍTULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del Proyecto

El presente proyecto se implementará en la empresa COPROBICH, ubicada en la Provincia de Chimborazo, Cantón Colta en las calles Primero de Agosto sector Mishquili.

Tabla 1-3: Coordenadas geográficas de Colta

Limites Colta	Al Norte, con la Parroquia San Juan y Licán. Al sur, con el Cantón Pallatanga y parte del Cantón Guamote. Al este, con las parroquias Cacha, Punín, Flores y Cebadas de Guamote Al Oeste , con la Provincia de Bolívar
Longitud	78° 36´ a 78° 59´occidente
Latitud	1°39´ a 1° 54´sur
Rango altitudinal	2750 a 3280 m.s.n.m.

FUENTE: GAD CANTÓN COLTA

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018

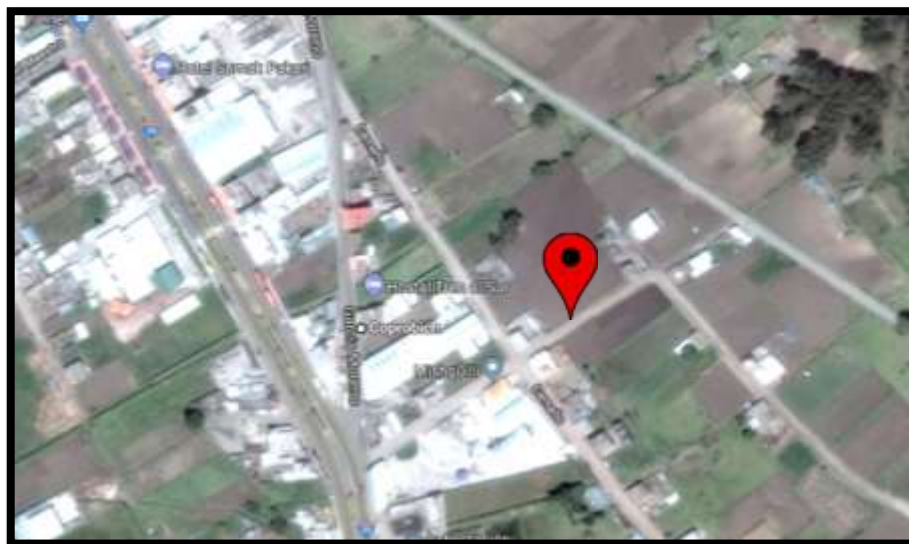


Figura 1-3: Localización COPROBICH

FUENTE: Google maps, 2018.

3.2 Ingeniería del Proyecto

3.2.1. Tipo de estudio

La elaboración del plaguicida orgánico a partir de la saponina del mojuelo de quinua es un proyecto de tipo técnico e investigativo, ya que la información encontrada en fuentes confiables no fue suficientemente válida para la parte experimental realizado en la simulación, cuyo proceso de elaboración se ha desarrollado a través de métodos experimentales y de investigación exhaustiva, dando como resultado la propuesta del proceso de obtención del producto final mediante operaciones unitarias y/o procesos unitarios.

3.2.2. Metodología

Para llevar a cabo la elaboración del proyecto tipo técnico, se empezó realizando una investigación bibliográfica para la obtención de saponina a partir del mojuelo de la quinua. Posteriormente se realizó una prueba piloto y/o parte experimental en los laboratorios de Operaciones Unitarias y de investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para la obtención del plaguicida, es necesario determinar las variables que influyen en el proceso y dimensionarlos a escala industrial.

Método deductivo

Este método se justifica partiendo de la recolección de materia prima (mojuelo), realizando los análisis físico-químicos necesarios que nos permita determinar la calidad de la materia prima, que mediante su procesamiento a través de operaciones unitarias se pueda obtener un producto deseado (plaguicida), sin olvidar las condiciones para el diseño y sus respectivos cálculos ingenieriles aplicables al proceso.

Método inductivo

Este método nos permite partir de hechos particulares, en el presente proyecto se dio mediante la revisión bibliográfica, ya sea, física o digital adquiriendo el conocimiento del funcionamiento de procesos presentes en la formación del plaguicida requerido, que posteriormente al ser instalada actuara como una línea de proceso de la planta de COPROBICH.

Método experimental

Este método es de gran importancia para el desarrollo del proyecto, mediante la realización de varias practicas experimentales, las misma que se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias y Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, siguiendo diferentes técnicas, utilizando operaciones unitarias para la transformación de materia prima en un producto final, asegurando su calidad y validez de la línea de proceso requerida.

3.2.3.1. Técnicas

➤ Caracterización de la materia prima

Para la caracterización de la materia prima (mojuelo de quinua) no existen normas específicas, por lo tanto, se basó en las características encontradas bibliográficamente de diferentes estudios realizados a la quinua como materia prima.

Los parámetros de humedad, ceniza, densidad y pH se realizaron en SEIDLABORATORY CÍA. LTDA. Con número de acreditación 2102-01/02, ubicado en la provincia Pichincha cantón Quito, por lo tanto, se utilizaron las siguientes normas:

- Norma interna del laboratorio. Determinación de densidad

Tabla 2-3: Determinación de densidad

Parámetro	Densidad Relativa
Fundamento	La densidad relativa relaciona la densidad de la sustancia con el agua, ambas a la misma temperatura 20 °C
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Balanza analítica ✓ Picnómetro ✓ Barrilla
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lavar y posterior secar el picnómetro en la estufa ✓ Colocar el picnómetro vacío en la balanza y anotar el peso correspondiente. ✓ Colocar materia prima en el picnómetro y pesar. ✓ Realizar la diferencia de pesos y dividir para los ml del picnómetro. <p>Realizar el cálculo.</p>

Fuente: Seidlaboratory

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

- Norma interna del laboratorio. pH

Tabla 3-3: Determinación de Ph.

Parámetro	pH
Fundamento	Norma Nacional para medir el potencial de Hidrogeno pH , es una medida de acidez o alcalinidad de un compuesto
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Potenciómetro con electrodos de vidrio ✓ Vaso de precipitación de 250 cm³ ✓ Agitador ✓ Agua destilada
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparación de la muestra: Si la muestra es líquida, homogenizarla convenientemente mediante agitación. Si la muestra corresponde a productos sólidos, densos o heterogéneos, homogenizarla con ayuda de una pequeña cantidad de agua (recientemente hervida y enfriada) y mediante agitación. ✓ Procedimiento: Comprobar el correcto funcionamiento del potenciómetro y su correcta calibración. Colocar en el vaso de precipitación aproximadamente 10 g ó 10 cm³ de la muestra preparada, añadir 100 cm³ de agua destilada y agitar suavemente. Si existen partículas en suspensión, dejar en reposo el recipiente para que el líquido se decante Determinar el pH introduciendo los electrodos del potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que éstos no toquen las paredes del recipiente ni las partículas sólidas, en caso de que existan. Anotar el valor.

Fuente: Seidlaoratory.

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

- Método de Análisis AOAC International 923.03. Determinación de ceniza

Tabla 4-3: Determinación de cenizas.

Parámetro	Ceniza
Fundamento	Al determinar la ceniza se conoce el residuo inorgánico que queda después de calcinar el mojuelo de quinua. Nos basamos en este parámetro para conocer la cantidad total de minerales presentes en la muestra.
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mufla ✓ Desecador ✓ Crisol ✓ Balanza analítica ✓ Espátula
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar el crisol limpio y seco por una hora de Mufla a 550 ± 25 0C. ✓ Secar y llevar al desecador hasta enfriar. ✓ Pesar el crisol en la balanza analítica, C1. ✓ Colocar la muestra de 2 a 6 g de muestra, C2. ✓ Precalcinar previamente la muestra en un mechero evitando que se inflame. ✓ Introducir el crisol con la muestra a la mufla a una temperatura de 550 ± 25 0C hasta cenizas blancas o grisáceas, preenfriar en una la mufla apagada. ✓ Colocar el crisol en el desecador hasta enfriar. ✓ Presar y registrar con C3. ✓ Realizar el cálculo.

Fuente: AOAC International 923.03, 2015

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

- Método de Análisis Oficiales. AOAC 925.03. Determinación de Humedad

Tabla 5-3: Determinación de humedad

Parámetro	Humedad
Fundamento	Este método consiste en la medición de la pérdida de peso de la muestra debida a la evaporación de agua, el proceso puede efectuarse en estufa con circulación forzada de aire, a presión atmosférica o a vacío
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estufa ✓ Balanza analítica ✓ Capsula ✓ Espátula ✓ Desecador
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar la capsula limpia y seca por dos horas a 103 0C durante dos horas ✓ Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente ✓ Pesar la capsula con la balanza analítica. ✓ Colocar la muestra entre 5 y 10 g en la capsula e introducirla a la estufa a 103 ± 2 0C o a 70 0C si se utiliza vacío se mantiene entre 3 y 6 horas. ✓ Sacar la capsula y dejar en el desecador hasta enfriar. ✓ Pesar y registrar ✓ El procedimiento de secado y pesado se van repitiendo hasta que dos pesadas consecutivas sean constantes, en ese momento se sabrá que toda el agua se ha extraído. ✓ Registrar el peso final. ✓ Realizar el cálculo.

Fuente: AOAC International 923.03, 2015

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

Se determinó el contenido de saponina basado en la norma:

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1672:88. Determinación del contenido de saponina por el método espumoso.

Tabla 6-3: Determinación cualitativa de saponina

Parámetro	Presencia de Saponina
Fundamento	Este método consiste en la medición cualitativa de saponina en una muestra.
Materiales y Reactivos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pipeta ✓ Tubo de ensayo ✓ Balanza ✓ Espátula ✓ Gradilla
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pesar 0,5 g de saponina extraída ✓ Colocar la saponina junto a 5 ml de agua destilada ✓ Agitar vigorosamente durante 30 segundos. ✓ Esperar 10 segundos ✓ Medir la cantidad de espuma generada

Fuente: AOAC International 923.03, 2015

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

➤ Validación del producto (DL₅₀)

La única manera de validar el proceso propuesto es mediante la determinación de la capacidad toxicológica del plaguicida. La prueba de dosis letal media (DL₅₀) es una de las más adecuadas para la aprobación de un plaguicida natural que puede ser utilizado en el ámbito de la agroindustria.

La prueba de dosis letal media es una prueba estadística que al administrarse a una población de individuos (animales de laboratorio) es capaz de matar al 50% de ellos en condiciones controladas. Generalmente se expresa como miligramos de toxico por kilogramo de peso vivo, especificando las características generales de los animales utilizados en la prueba.

Para la medición de toxicología adecuada de un producto toxico natural como el plaguicida a base de saponina, la prueba DL₅₀ es la ideal ya que, el mismo puede ser utilizado en la fumigación de plantas de las cuales se extraigan frutos, por ende, el nivel toxicológico puede ser de categoría IV, según la clasificación de la norma NTE INEN 1898, para plaguicidas biológicos y afines.

Se incluyen en este ítem también varias normas con respecto a su presentación en el mercado que registran y controlan los productos de uso agrícola, con el objetivo de garantizar la calidad y eficacia del control de plagas a nivel de cultivos.

- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1838. Plaguicida y productos afines.
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1913 Plaguicida. Etiquetado, requisitos.
- Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1927 Plaguicidas. Almacenamiento y transporte. Requisitos.

3.2.4. Procedimiento a nivel de laboratorio

3.2.4.1. Selección de materia prima

La selección del mojuelo para la obtención del plaguicida orgánico, se desarrolló mediante una investigación previa que dedujo que en la Corporación de Productores Bio Taita Chimborazo en el proceso de escarificado de la quinua. Siendo este un sub-producto no recibe ningún tratamiento y es desechado sin ningún tratamiento previo que le dé un valor agregado.

Hay recalcar que el porcentaje de saponina en la muestra es el parámetro más importante en todo el proceso de obtención del producto.

La empresa ingresa diariamente 80 sacos de 100 lb de quinua sin escarificar, de la cual se obtienen 5 sacos al día de mojuelo. Es decir que del 100% (80 sacos) de materia prima que ingresa, el 6,25% de ésta es el residuo con el que se va a trabajar.

La investigación con respecto a la experimentación se empieza con la toma de pesos de cada saco de mojuelo que se obtiene y se obtiene un promedio de los mismos. Los siguientes pesos tomados un día al azar son: 76, 75, 70, 60.87 y 69.93 libras, siendo 70.36 libras el promedio. El muestreo aplicado en la selección de la materia prima es un muestreo estadístico por cuartiles que es una medida aplicada de posición que va ser determinado en valores que dividirán un conjunto en valores iguales, tomada para la elaboración de la prueba piloto, donde se aplicara la ecuación siguiente:

$$n = \frac{NG^2Z^2}{(N-1)e^2 + G^2Z^2}$$

Dónde:

$$n = \frac{(70.36)(0.5^2)(1.96)^2}{(70.36^{-1})(0.05^2) + (0.5^2)(1.96^2)}$$
$$n = 70.23 \text{ lb}$$

Se tomara tres pesos por saco, de aproximadamente 4.66 lb en la parte inferior, media y superior del cada saco respectivamente, a cual se aplicara los cuartiles dándonos un valor de 14 lb \cong 6.35 Kg de mojuelo.

Por capacidad del equipo de secado por bandejas existente en el laboratorio se optó por tomar una muestra de 850 g proveniente del cuartil resultante, para la realización de los cálculos pertinentes para el dimensionamiento de equipos.

3.2.4.2. Caracterización de la materia prima

La caracterización fisicoquímica de mojuelo de quinua como materia prima se muestra en Tabla 4-3 y tabla 5-3, la misma que se utilizó para la obtención del plaguicida orgánico. Hay que tomar en cuenta que para los análisis no existen normas específicas por lo tanto se basó en Normas Técnicas Ecuatorianas y en Métodos Oficiales de Análisis (AOAC), obteniendo resultados óptimos. **Ver Anexo a**

Tabla 7-3: Requisitos Fisicoquímicos de la Materia Prima

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Ph	INTERNO	----	6.57
Densidad 20 °C	INTERNO	g/mg	0.0927
Ceniza	AOAC 923.03	%	7.22
Humedad	AOAC 925.09	%	12.88

Fuente: SEIDLABORATORY CÍA. LTDA.

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

Tabla 8-3: Requisito Fisicoquímico de la Materia Prima

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Saponina	NORMA INEN 1672:88	%	0.36

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1988

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria. 2018

Con los resultados óptimos que indica la Tabla 9-3 del porcentaje de saponina que tiene la materia prima, encontrándose dentro del rango indicados dentro de la norma INEN 1672:88 comprendidos entre 0.005% hasta 0.37%, siendo el parámetro más importante.

3.2.4.3. Descripción del procedimiento

El procedimiento que se realizó para la elaboración del plaguicida orgánico se realizó en dos fases para corroborar que existe una influencia en la parte de la eliminación de la humedad del mojuelo.

Procedimiento en base a materia prima seca

El procedimiento en base a la materia prima seca describe a continuación desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del plaguicida a base de saponina:

- Primero se recepto la materia prima (mojuelo) desde la empresa COPROBICH.



Fotografía 1-3: Recepción de la materia prima
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se realizó un muestreo estadístico mediante la aplicación de cuartiles como se explicó anteriormente y se obtuvo una muestra representativa.



Fotografía 2-3: Cuartiles de la muestra
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se llevó las muestras al laboratorio donde se pesaron 850 g de mojuelo en la bandeja de secado para realizar la primera operación unitaria para la obtención de la saponina.



Fotografía 3-3: Pesaje de la materia prima
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se eliminó la humedad de la muestra en el secado de bandejas a 90 °C hasta que reveló un peso constante.



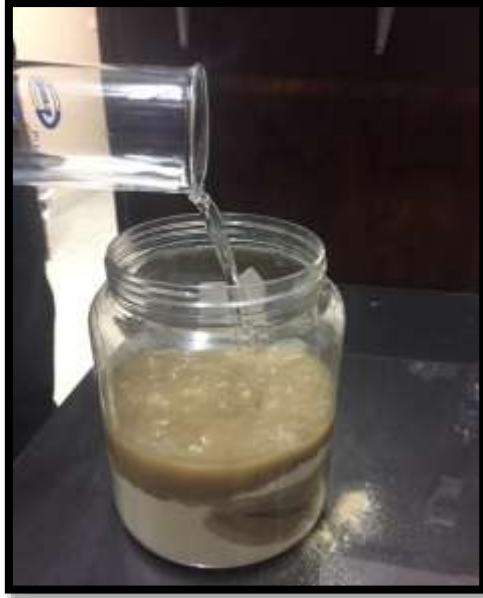
Fotografía 4-3: Eliminación de humedad del mojuelo
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Para la operación de maceración se preparó un litro de solución de relación 1:1, agua-etanol al 96%.



Fotografía 5-3: Preparación de disolvente para extracción.
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Colocamos una muestra de 250 g del mojuelo seco junto al disolvente en el frasco, lo cerramos herméticamente en su totalidad durante 100 horas para una buena extracción a temperatura ambiente (20°C).



Fotografía 6-3: Maceración de muestra
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Después de la maceración se llevó a cabo la filtración al vacío en los laboratorios de investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para obtener extracto etanólico libre de sólidos.



Fotografía 7-3: Filtración al vacío en laboratorio
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se realizó el ensayo de espuma en el extracto, se adicionó 1 ml de agua destilada en el extracto disuelto de etanol, la misma que nos dio como resultado la presencia de saponina.



Fotografía 8-3: Prueba positiva de espuma
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- El método de precipitación para alcaloides: se utilizó el reactivo de Mayer, se añadió de 3 a 5 gotas de reactivo al extracto dándonos un precipitado pardo, lo que indica la presencia de alcaloides.



Fotografía 9-3: Prueba positiva de alcaloides
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se realizó la recuperación de solvente y se obtuvo el extracto, por método de extracción por destilación (Dean stark), hay que tener en cuenta la temperatura en la que empieza la ebullición del etanol, temperatura de 78 °C y del agua en la sierra es de 92°C.



Fotografía 10-3: Destilación simple (Dean stark)
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Una vez terminada la recuperación del solvente tomamos el balón y sacamos el extracto de saponina que es el producto final.



Fotografía 11-3: Saponina en el balón
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se colocó la saponina obtenida en un frasco para ser envasada.



Fotografía 12-3: Saponina envasada
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Para finalizar el proceso se realizó las formulaciones correspondientes del plaguicida.



Fotografía 13-3: Formulaciones de plaguicida
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

Procedimiento en base a materia prima húmeda

El procedimiento realizado con el mojuelo omitiendo la operación de secado se realizó para comprobar si existe una influencia importante en la parte extractiva del proceso de obtención de saponina, ya que, sin la operación de secado, los costos de implementación y de operación serían mucho menores para la empresa.

El procedimiento a seguir fue el mismo para la parte de la simulación con la materia prima seca con la omisión de la operación de secado, misma que influyó de manera importante en la extracción de la saponina con la disolución etanol-agua 1:1, ya que al no eliminar el porcentaje

de humedad presente existen tantos OH^- en la materia prima que no existe la posibilidad de realizar los puentes de hidrogeno necesarios para la extracción de la saponina con el disolvente utilizado.

Opuesto a lo que se podía esperar, la mezcla macerada sufrió una proliferación de microorganismos no deseados y por ende el fallido intento de la extracción solido-liquido como se muestra en la figura:



Fotografía 14-3: Maceración con mojuelo húmedo
Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

Por lo tanto, la obtención de datos y variables para los cálculos ingenieriles se tomaron netamente de la experimentación con la materia prima seca.

3.2.4.4. Formulación del plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua.

Las formulaciones realizadas en el laboratorio con la saponina obtenida en la parte experimental de este proyecto se realizaron en base a la normativa de la dosis letal media (DL_{50}) ya que al realizar una formulación aproximada se puede tomar como referencia en proporción a lo que hay que aumentar del compuesto de interés para que cumpla con la misma.

Primera formulación

De los 100 g aproximados de la saponina extraída en el proceso de investigación de este proyecto se tomaron 20 gr de la misma como referencia en la siguiente formulación para que cumpla con la dosis letal media (DL_{50}).

Con respecto a los demás componentes de la formulación se aprovechó la disolución alcohol-agua recuperada para la parte de homogeneización y por ende la obtención del plaguicida orgánico.



Fotografía 15-3: Formulación N°1

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

Esta formulación lleva el 5,40% de saponina, 60 % de alcohol y 34,6% de agua como se muestra a continuación:

Primera Formulación → 20 gr Saponina

(0,500 L) 300 ml OH
($5 \times 10^{-4} m^3$) 200 ml H_2O

$$20 \text{ gr saponina} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 0,020 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{740 \text{ Kg}} = 2,70 \times 10^{-5} m^3$$

$$Vol_{total} \rightarrow 5 \times 10^{-4} m^3 \rightarrow 100 \%$$

$$2,70 \times 10^{-5} m^3 \rightarrow x$$

$$x = 5,40 \% \text{ saponina}$$

$$0,300 \text{ L OH} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow 100 \%$$

$$3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow x$$

$$x = 60 \% \text{ OH}$$

$$\% H_2O = 100 \% \text{ saponina} - \text{OH}$$

$$\% H_2O = 100 - 5,40\% - 60\%$$

$$\% H_2O = 34,6\% \text{ de } H_2O$$

Con esta formulación se realizó la prueba de la dosis letal media (DL_{50}) y se obtuvo la muerte de 2-3 animales de 10, la prueba de la validación del producto (DL_{50}) se desarrolla y explica más adelante, por ende, se puede tomar como referencia para la segunda formulación ya que ésta no cumple con la prueba de validación.

Segunda formulación

Para la segunda formulación se dobló la cantidad de saponina que se consideró para la primera formulación del plaguicida desarrollado ya que la validación reveló un 20-30% de efectividad en muertes de animales puestos a prueba.

También se consideró el aumento de agua y por ende la baja de cantidad de alcohol en la nueva formulación, ya que en la formulación anterior se evidenciaba el olor característico del mismo.



Fotografía 16-3: Formulación N°2

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

La nueva formulación en porcentaje queda con un 10,82% de saponina, 40% de alcohol y 49,18% de agua, como se muestra a continuación:

Segunda Formulación → 40 gr Saponina

(0,500 L) 200 ml OH
 (5x10⁻⁴m³) 300 ml H₂O

$$40 \text{ gr saponina} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 0,040 \text{ Kg} \times \frac{1 \text{ m}^3}{740 \text{ Kg}} = 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\begin{array}{l} 0,500 \text{ L} \rightarrow 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow 100 \% \\ 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \rightarrow x \\ x = 10,82 \% \text{ saponina} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0,500 \text{ L} \\ 5,41 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ x = 10,82 \% \text{ saponina} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{Saponina en} \\ \text{disolución} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow 100 \% \\ 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow x \\ x = 40 \% \text{ OH} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ x = 40 \% \text{ OH} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{OH en} \\ \text{disolución} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= 100 - 40\% - 10,82\% \\ \text{Agua} &= 49,18 \% \rightarrow \text{agua en disolución} \end{aligned}$$

Como con la formulación anterior se realizó la prueba de la dosis letal media (DL₅₀) y se obtuvo la muerte de 5 animales de 10, evidenciándose que es acorde a lo que especifica la validación con la muerte del 50% de los animales puestos a experimentación, por lo tanto, se toma ésta como la formulación que se utilizará a nivel industrial para la comercialización del plaguicida.

A nivel industrial la cantidad de alcohol y agua que se debe añadir en el homogeneizador con respecto a la saponina extraída en el proceso son los siguientes:

$$8,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow 10,82 \% \text{ saponina}$$

$$x \leftarrow 40 \% \text{ OH}$$

$$x = 0,032 \text{ m}^3 \text{ alcohol}$$

$$8,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow 10,82 \% \text{ saponina}$$

$$x \leftarrow 49,18 \% \text{ H}_2\text{O}$$

$$x = 0,039 \text{ m}^3 \text{ agua}$$

Estos datos servirán para el diseño del tanque homogeneizador, con el que se va a obtener el volumen total que debe llevar el equipo.

3.2.4.5. Variables del proceso

Las principales variables y parámetros en el desarrollo de proceso son:

- Temperatura de destilación.
- Presión.
- Tiempo de maceración.
- Temperatura de maceración.

1.1.1.1. Temperatura de destilación

Este es un parámetro importante en el proceso de extracción de saponina, por lo tanto, con el control, evitaremos que nuestro producto final se quemé al momento de la destilación.

1.1.1.2. Presión

La presión en la operación de filtrado al vacío es un parámetro de importancia, es una técnica de separación de mezclas sólido-líquido, se aplica introduciendo la mezcla en un embudo con papel filtro, con una bomba un vacío que succiona la mezcla, quedando el sólido en los poros de papel filtro.

1.1.1.3. Tiempo de maceración

El tiempo de maceración es diverso, las distintas Farmacopeas prescriben tiempo que oscilan entre 3 a 10 días, ya que pasado el décimo día si el solvente es agua puede fermentar y haber la aparición de mohos. (Carrión, Cándida, 2010 pág. 28)

1.1.1.4. Temperatura de maceración

Se realiza la maceración teniendo en cuenta una temperatura de 20 °C pues en la revisión bibliográfica es óptima para la extracción de saponina del mojuelo.

3.2.4.6. Operaciones Unitarias del Proceso

Una operación unitaria se define como un área del proceso o equipo donde se incorpora materiales, insumos o materias primas y ocurre una función determinada ya sean actividades básicas que forman parte del proceso (Ribas, Barbosa, pág.27)

Se muestra en la tabla 10-3 las variables y parámetros que se controlan en cada operación unitaria del proceso de obtención del plaguicida orgánico.

Tabla 9-3: Operaciones del proceso parámetros óptimos de obtención del plaguicida orgánico.

Proceso	Descripción	Variable o Parámetro	Rango
Recepción de la materia prima	Recibir la materia prima de COPROBICH	-----	-----
Pesado	Operación de comprobar el peso de materia, utilizando una balanza.	Peso	250 gramos.
Secado	Operación que consiste en separar cantidades de agua u otro líquido del sólido.	Temperatura	90 °C
Maceración	Operación que consiste en remojar el material vegetal en un solvente	Tiempo/temperatura	100 HRS./20 °C
Filtración	Operación que evita las impurezas presentes en el extracto etanólico	Presión	Psi
Destilación Simple	Operación que separa mezclas simples o complejas.	Temperatura	92 °C

Envasado	Operación de llenado del producto.	-----	-----
-----------------	---------------------------------------	-------	-------

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

3.2.5. Validación del proceso

PRUEBA LD_{50}

Prueba de saponina en dilución 1:5

$$\frac{\text{Mg saponina}}{\text{peso fresco}} = \frac{0,646 \times \text{altura espuma (cm)} + 0,104}{\text{peso muestra (g)}}$$

$$\frac{\text{Mg saponina}}{\text{peso fresco}} = \frac{0,646 (3 \text{ cm}) + 0,104}{0,546 \text{ g}}$$

$$\frac{\text{Mg saponina}}{\text{peso fresco}} = 3,74 \frac{\text{mg}}{\text{g}}$$

$$\% \text{ saponina} = \frac{0,646 (\text{altura espuma cm}) + 0,104}{\text{peso} \times 10}$$

$$\% \text{ saponina} = \frac{0,646 (3 \text{ cm}) + 0,104}{0,546 \text{ g} \times 10}$$

$$\% \text{ saponina} = 0,37 \%$$

Como ya se ha mencionado el proceso se validó mediante la determinación de la dosis letal media (DL_{50}). La prueba DL_{50} se desarrolló en el laboratorio de química analítica, en la que se realizaron varias pruebas de aplicabilidad en muestras de moscas de frutas *Drosophila melanogaster*. La prueba consiste en la administración del plaguicida por medio de aspersion con un atomizador a una distancia considerable, lo que conlleva a la muerte de los insectos.

Procedimiento

Para llevar a cabo la prueba DL_{50} se realizó capturas de moscas adultas *Drosophila melanogaster*, las pruebas se realizaron con dos sepas de moscos diferentes: cuerpo oscuro- ojos rojos y cuerpo oscuro- ojos blancos que fueron donadas por el Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Fotografía 17-3: *Drosophila melanogaster*

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

La alimentación de los insectos se realizó en base a guineo de ceda para mantenerlos vivos durante el proceso de prueba, para lo cual se molió con ayuda de un mortero los pedazos de fruta utilizada.



Fotografía 18-3: Molido de fruta de alimentación

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- La captura de los insectos se realizó en frascos de vidrio esterilizados, donados por el Hospital General Policlínico de Riobamba.



Fotografía 19-3: Capturas de moscas

Drosophila melanogaster

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Para la prueba de la dosis letal media se trasvasó los insectos de una sepa en un recipiente alto y suficientemente ancho para atomizar de manera uniforme el plaguicida, en el que se colocó una parte de la alimentación para evitar que se dispersen fuera del recipiente antes de la colocación de la formulación.



Fotografía 20-3: Trasvaso de moscas

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Rápidamente se atomizó dos veces desde una distancia aproximada de 30 cm para abarcar todo el recipiente y por ende los moscos.



Fotografía 21-3: Atomización a los insectos

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Finalmente, después de un periodo de tiempo considerado se evidenció el número de insectos muertos.



Fotografía 22-3: Contabilización de los insectos muertos

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

- Se realizó los mismos pasos para la segunda sepa y con la segunda formulación.

3.2.6. *Balance de masa y energía*

3.2.6.1. *Balances de masa*

Como se explicó anteriormente la producción de quinua que se da en la empresa COPROBICH actualmente se basa en el ingreso de 80 sacos de quinua sin procesar, de la cual se obtienen 5 sacos de mojuelo que oscilan entre los 60-70 lb cada uno que representan el 6,25 % del ingreso total de la materia prima de producción de quinua. Y de la cual se realizó el muestreo correspondiente para obtener la muestra para empezar la experimentación.

En base al muestreo realizado en la empresa, se tomaron como base el promedio del peso de los 5 sacos de mojuelo que se obtienen de la escarificación de la quinua, el peso promedio es de 70,35 Lb (31,94 Kg/día)

$$70,36 \text{ Lb (promedio)} * \frac{454 \text{ g}}{1 \text{ lb}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 31,94 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Tomando en cuenta que los equipos del Laboratorio de Procesos Industriales no son de gran capacidad, se tomó una muestra de 6,35 Kg para realizar las diferentes simulaciones hasta la obtención de la saponina. De este peso se utilizó el 25% para cada simulación dando un peso de 1,59 Kg.

6,35 Kg de muestra

$$6,35 \text{ Kg} \rightarrow 100 \%$$

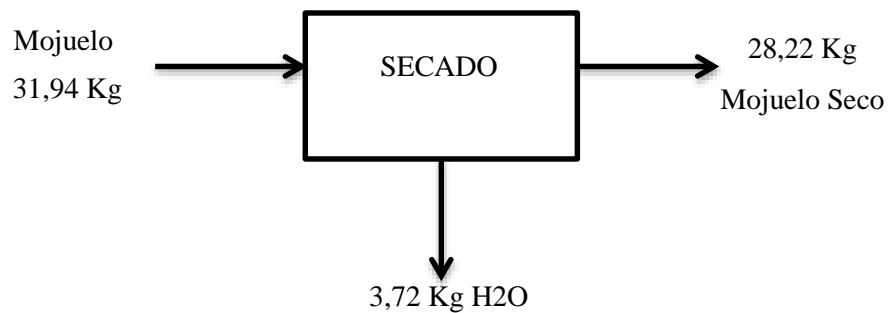
$$x \leftarrow 25 \%$$

$$x = 1,59 \text{ Kg}$$

La obtención de la muestra se realizó con la utilización del método cuartil, tomando los dos extremos del mismo para tener una muestra correcta.

El diseño está en base al peso promedio de un saco (31,94 Kg), tomando como consideración el área predispuesta para implementar el proceso y dejando a libertad la elección de la empresa a implementar mayor número de equipos de acuerdo a la necesidad de obtención del plaguicida.

Secado



La muestra utilizada es de 850 gr en la simulación.

Peso bandeja= 1723,4 gr

Peso bandeja + muestra= 2570,9 gr

Tabla 10-3: Datos de secado

t (min)	Peso bandeja con muestra (gr)	Peso muestra (gr)
30	2548,7	827,8
60	2534,5	813,6
90	2514,29	793,39
120	2504,46	783,56
150	2489,8	768,9
180	2487,35	767,35
210	2487,6	766,7
240	2471,9	751
270	2471,9	751

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Peso de humedad=2570,9 gr-2471,9 gr

Peso humedad= 99 gr

$$W = \frac{S}{A} * \left(- \frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right)$$

Tabla 11-3: Cálculos de secado

tiempo(h)	peso(g)	Perdida	Área (m2)	Humedad			
0	850		0,166	0,13189959	0,11365604		
0,5	822,6	27,4	0,166	0,09541248	0,07803449	-0,03562155	176,519782
1	796,5	26,1	0,166	0,06065655	0,04957054	-0,02846395	136,575498
1,5	779,85	16,65	0,166	0,03848459	0,03022838	-0,01934217	90,8674013
2	767,45	12,4	0,166	0,02197217	0,01781077	-0,01241767	57,4089787
2,5	761,2	6,25	0,166	0,01364938	0,0086557	-0,00915507	41,9809607
3	753,7	7,5	0,166	0,00366203	0,00183101	-0,00682469	30,9865536
3,5	750,95	2,75	0,166	0	0	-0,00183101	8,28313253

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Para graficar la curva de secado se toma en base el tiempo y la humedad perdida durante el proceso de secado.

Tabla 12-3: Datos para curva de secado

t(h)	Humedad (x)
0	0,231355
0,5	0,1307265
1	0,0686571
1,5	0,0264717
2	0,0151094
2,5	0,011604
3	0,008703
3,5	0,0059833
4	0,0024779
4,5	0,0004835
5	0
5,5	0
6	0

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Con los datos obtenidos se realiza la curva de secado:

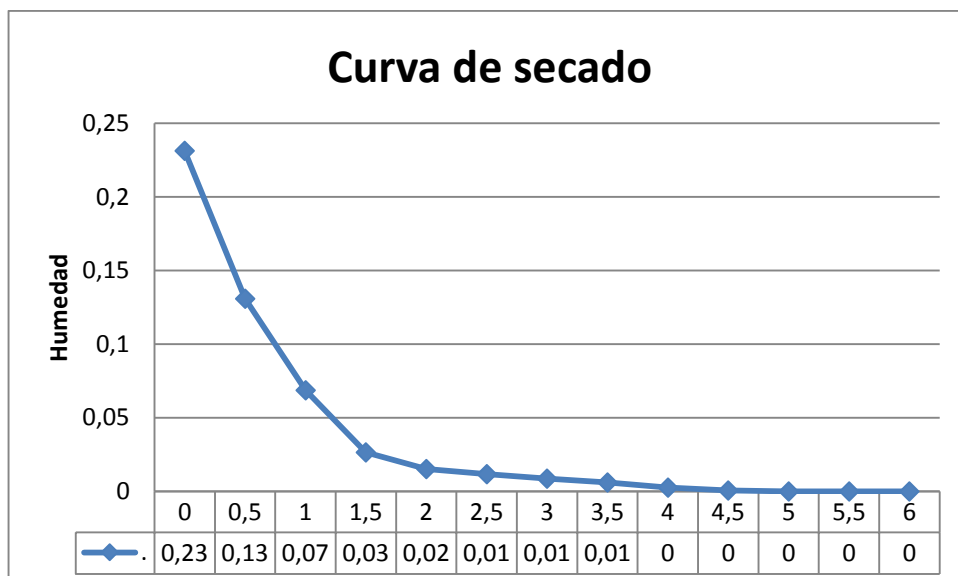


Gráfico 1-3: Curva de secado

Realizado por: CASTAÑEDA, Victoria, 2018

Como se observa en la gráfica correspondiente a la curva de secado a partir de la cuarta hora la humedad se ha evaporado completamente volviéndose el peso de la muestra constante.

$$850 - 99,00 \text{ g}$$

$$0,85 - 0,099 \text{ kg}$$

$$0,099 \text{ Kg} \rightarrow 0,850 \text{ Kg}$$

$$x \leftarrow 31,94 \text{ Kg}$$

$$x = 3,72 \text{ kg humedad}$$

A nivel industrial se perderán 3,72 Kg de humedad en el secado.

$$31,94 \text{ Kg} \leftarrow 100 \%$$

$$3,72 \text{ Kg} \rightarrow x$$

$$x = 11,64 \%$$

➤ Cálculo de la fracción de Humedad en Solido Seco

Se obtiene aplicando la relación entre la masa de solido seco y la masa de solido húmedo:

$$x = \frac{M_s}{M_e}$$

Dónde:

M_s = masa solido seco (Kg)

M_e = masa solido húmedo (Kg)

$$x = \frac{28,22 \text{ Kg}}{31,94 \text{ Kg}}$$

$$x = 0,88$$

➤ Calculo de la fracción de humedad

Se calcula para corroborar la fracción de solido seco obtenido del secado.

$$x = \frac{M_a}{M_e}$$

Dónde:

M_a = masa de agua

M_e = masa solido húmedo

$$x = \frac{3,72 \text{ Kg}}{31,94 \text{ Kg}}$$

$$x = 0,12$$

Macerado

Para la simulación se utilizó 0,250 Kg de mojuelo, el mismo que se maceró con un volumen de 1 L de solución 1:1 de agua y alcohol etílico, a nivel industrial se necesitaría 0,113 m³ de solución:

$$0,250 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ L solución}$$

$$28,22 \text{ Kg mojuelo} \rightarrow x$$

$$x = 112,88 \text{ L} \times \frac{1\text{m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,113 \text{ m}^3$$

Para la salida de la operación se toma en consideración el flujo superior y el flujo inferior, los mismos que se refieren al líquido formado y el sólido obtenido respectivamente.

En la experimentación con 0,250 Kg de mojuelo para el proceso de macerado se obtuvo un volumen de extracto de 0,590 L, entonces para los 28,22 Kg de mojuelo seco a nivel industrial:

$$0,590 \text{ L} \rightarrow 0,250 \text{ Kg}$$

$$x \leftarrow 28,22 \text{ Kg}$$

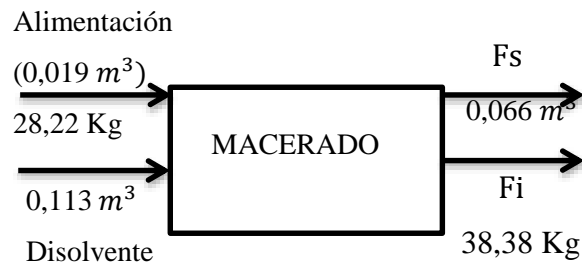
$$x = 66,59 \text{ L} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,066\text{m}^3$$

A la salida del macerado se forma una torta de 341,27 gr (0,34 Kg) a nivel de laboratorio y a nivel industrial:

$$0,34 \text{ Kg} \rightarrow 0,250 \text{ Kg}$$

$$x \leftarrow 28,22 \text{ Kg}$$

$$x = 38,38 \text{ Kg}$$



➤ **Cálculo de la fracción de extracción**

El balance de masa de la extracción sólido-liquido se basa en el porcentaje de extracción que se debe obtener de la saponina, y se calcula mediante:

$$(X_M)_D = \frac{F_0 X_0 + D_0 Y_0}{F_0 + D_0}$$

Dónde:

F_0 = alimentación (m^3)

D_0 = disolvente (m^3)

X_0 = fracción de la alimentación

Y_0 = fracción del disolvente

A nivel industrial la cantidad de saponina que se obtiene es de 11,51 Kg:

$$0,250 \text{ Kg} \rightarrow 0,102 \text{ Kg saponina}$$

$$28,22 \text{ Kg} \rightarrow x$$

$$x = 11,51 \text{ Kg saponina}$$

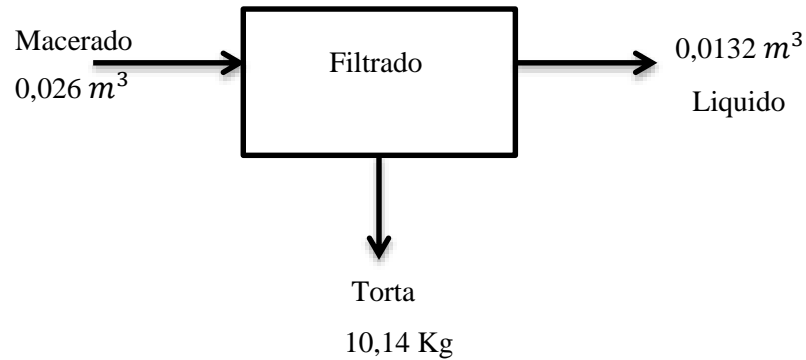
Reemplazando se tiene:

$$(X_M)_D = \frac{0,019 \text{ m}^3 (0,40) + 0,113 \text{ m}^3 (0,5) (0,5)}{0,019 \text{ m}^3 + 0,113 \text{ m}^3}$$

$$(X_M)_D = 0,2$$

Filtrado

Para el filtrado se realizará una filtración al vacío, ya que fue la forma en la que se pudo simular a nivel de laboratorio, y se realizará en 5 partes iguales de $0,026 \text{ m}^3$, ingresando un total de $0,13 \text{ m}^3$ de extracto.



$$0,250 \text{ Kg} \rightarrow 0,449 \text{ Kg torta}$$

$$28,22 \text{ Kg} \rightarrow x$$

$$x = 50,68 \text{ Kg de torta/5 partes}$$

$$= 10,14 \text{ Kg}$$

Realizando un balance de masa general tomando en cuenta la alimentación, el líquido filtrado y la cantidad de torta obtenida como acumulación:

$$E - S = A$$

Reemplazando se tiene:

$$0,026 \text{ m}^3 \times 1480 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} - 0,0132 \text{ m}^3 \times 740 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 10,14 \text{ Kg}$$

$$38,40 \text{ Kg} - 9,77 \text{ Kg} = 10,14 \text{ Kg}$$

$$28,63 = 10,14 \text{ Kg}$$

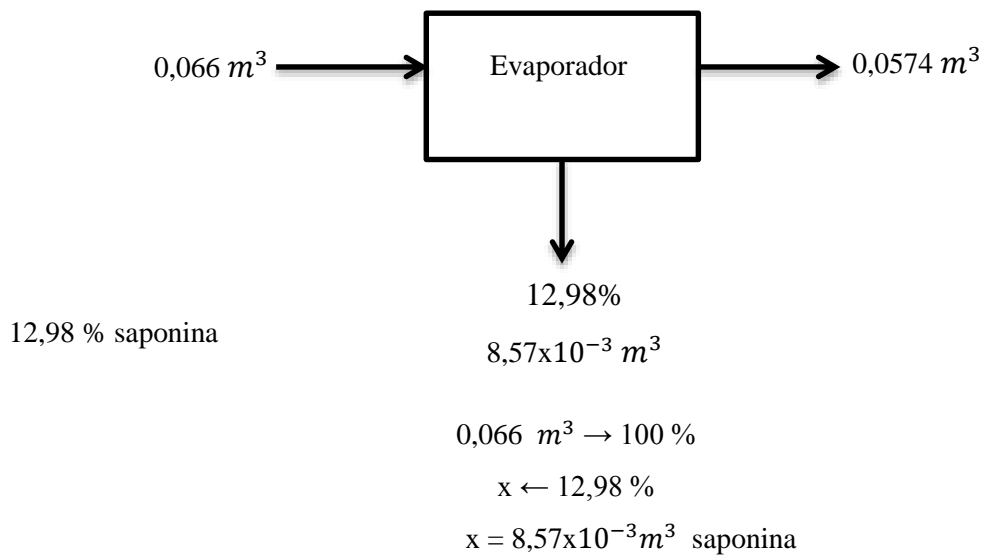
$$x = \frac{10,14 \text{ Kg}}{28,63 \text{ Kg}}$$

$$x = 0,35$$

Se obtiene una fracción de filtrado del 0,35 (35%) de la alimentación que proviene del macerado.

Evaporador

Para el evaporador se tiene una alimentación del $0,066 \text{ m}^3$, provenientes de la filtración, el mismo que debe contener 12,98 % de saponina que se va a separar de la solución $\text{H}_2\text{O-OH}$, obteniendo un volumen de recuperado de $0,0574 \text{ m}^3$.



Realizando el balance de masa general:

$$E - S = A$$

$$\rho_{solucion} = \frac{\text{peso torta}}{\text{solucion filtrada}} = \frac{0,449 \text{ Kg}}{599,66 \text{ ml}} = 7,49 \times 10^{-4} \frac{\text{Kg}}{\text{ml}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 749 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$E(D_x + S_x) - S(D_x) = A(S_x)$$

Dónde:

$E = \text{Vol de entrada (m}^3\text{)}$

$D_x = \text{Fracción de la disolución}$

S_x = Fracción de saponina

S= Vol de disolución recuperado(m^3)

A= Vol de saponina obtenida(m^3)

$$\rho_{OH-H_2O} \rightarrow 894,5 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_{quinua} = 1480 \text{ Kg}$$

$$0,250Kg \rightarrow 1L \times \frac{1 m^3}{1000 L} = 1 \times 10^{-3} m^3$$

$$0,250Kg \times \frac{1 m^3}{1480 Kg} = 1,68 \times 10^{-4} m^3$$

$$V \text{ total de solución} = 1,68 \times 10^{-4} m^3 + 1 \times 10^{-3} m^3 = 1,17 \times 10^{-3} m^3 \text{ solución}$$

Para obtener las fracciones que se necesita:

$$1,17 \times 10^{-3} m^3 \rightarrow 100 \%$$

$$1 \times 10^{-3} m^3 \rightarrow x$$

$$x = 85,5\%$$

$$0,066 m^3 \times 749 \frac{Kg}{m^3} (0,855 + S_x) - 0,0574 m^3 \times 894,5 \frac{Kg}{m^3} (1) =$$

$$8,57 \times 10^{-3} m^3 \times 740 \frac{Kg}{m^3} (0,13)$$

$$49,43 \text{ Kg} (0,855 + S_x) - 51,34 \text{ Kg} = 0,82 \text{ Kg}$$

$$42,26 \text{ Kg} + 49,43 S_x - 51,34 \text{ Kg} = 0,82 \text{ Kg}$$

$$49,26 S_x - 9,08 \text{ Kg} = 0,82 \text{ Kg}$$

$$49,43 S_x = 0,82 \text{ Kg} + 9,08 \text{ Kg}$$

$$49,43 S_x = 9,9 \text{ Kg}$$

$$S_x = \frac{9,9 \text{ Kg}}{49,43}$$

$$S_x = 0,20$$

El balance de masa indica que existe en la solución de alimentación una fracción de saponina de 0,20, si se obtienen 0,129 de producto se obtiene un rendimiento de 65%:

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{S_A}{S_x} \times 100$$

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{0,13}{0,20} \times 100$$

$$\% \text{ rendimiento} = 65\%$$

Condensador

El condensador es un dispositivo basado en transferencia de calor desde el vapor al agua de enfriamiento que se encarga de condensarlo, se realiza el balance de masa en base a los calores cedido y absorbido.

$$\Delta h_{\text{agua fria}} = \frac{\dot{m}_V(\Delta H_V)}{\dot{m}_{\text{fria}}}$$

$$Cp_{\text{af}}\Delta T_{\text{af}} = \frac{\dot{m}_V(\Delta H_V)}{\dot{m}_{\text{af}}}$$

$$\frac{Cp_{\text{af}}\Delta T_{\text{af}}}{\Delta H_V} = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_{\text{af}}}$$

Datos:

$$\rho_{\text{agua}} = (1 \text{ bar y } 100^\circ\text{C}) = 0,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$(90^\circ\text{C})H_{2V} = (\text{vapor entrada}) = 2659,6 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$(50^{\circ}\text{C})H_{1V} = (\text{liquido saturado}) = 209,34 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

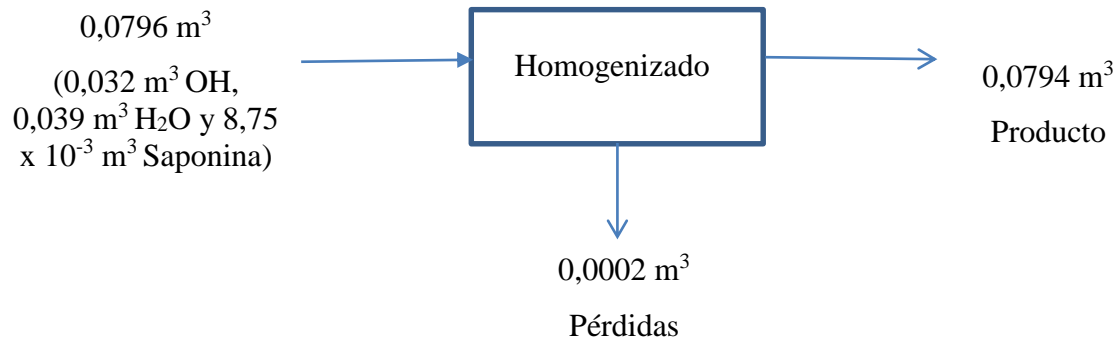
$$Cp H_2O (18^{\circ}\text{C}) = 4,183 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}}$$

$$589 \frac{\text{ml}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 9,81 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 0,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 5,886 \times 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

$$\frac{4,183 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \times (309 - 291)^{\circ}\text{K}}{2450,26 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} = \frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_{af}}$$

$$\frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_{af}} = 0,030 \rightarrow \text{relacion de vapor - agua}$$

Homogeneizador



$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Cantidad Obtenida}}{\text{Cantida que Ingresa}} \times 100$$

$$= \frac{0,0794 \text{ m}^3}{0,0796 \text{ m}^3} \times 100$$

$$= 99,75 \%$$

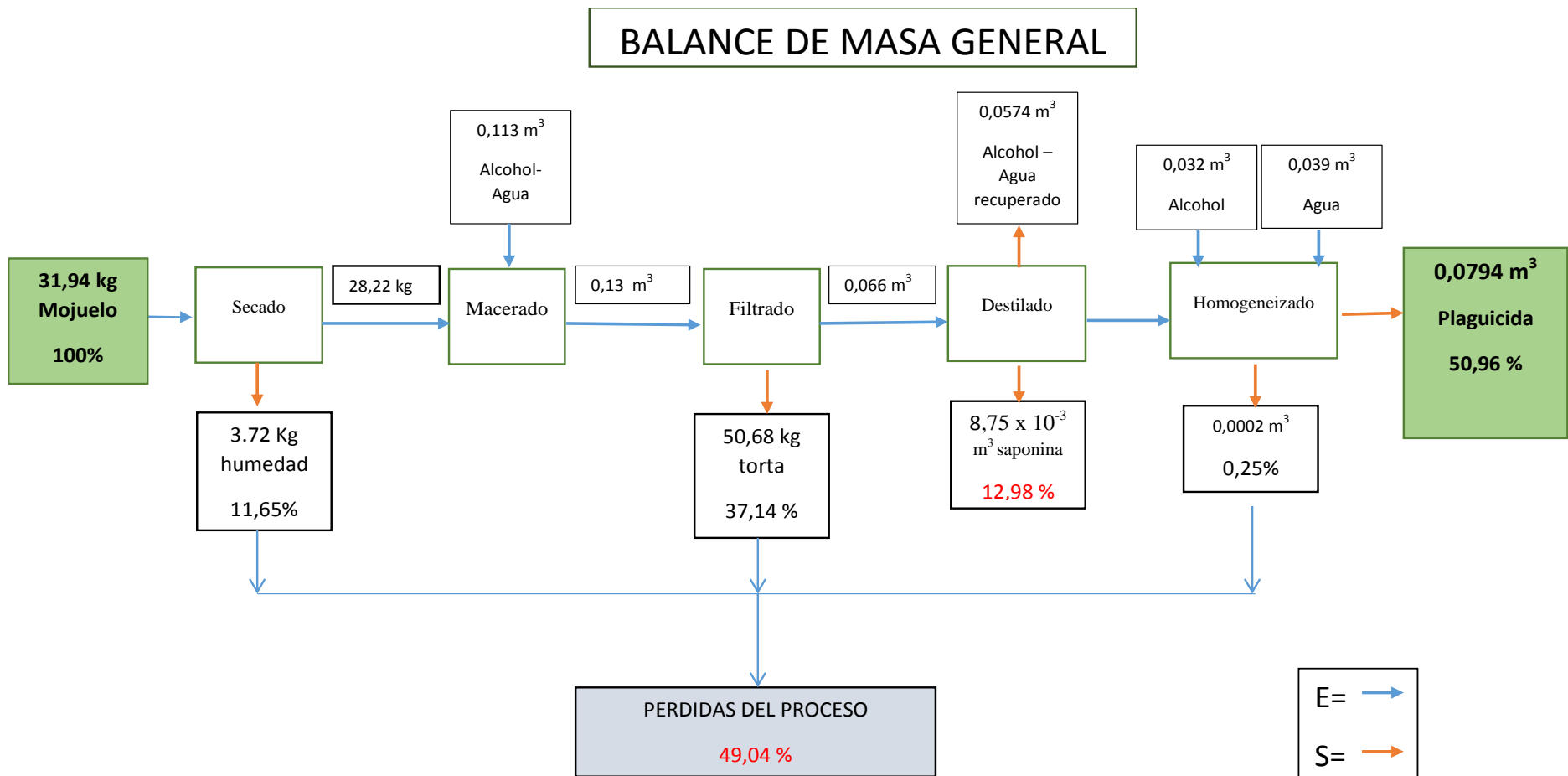


Gráfico 2-3: Esquema de balance de masa general
 Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.2.6.2. Balance de energía

Secado

Cálculo del calor total

Es necesario calcular el calor total que se da dentro del proceso, mediante la fórmula:

$$Q_e = M_{MPent} \times C_p \times \Delta T$$

Dónde:

Q_e = calor de entrada (KJ)

M_{MPent} = masa de MP que ingresa (Kg)

C_p = capacidad calorífica del material ($1,8 \frac{J}{g \text{ } ^\circ C} = 1,8 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C}$)

ΔT = variación de temperatura ($^\circ C$)

$$Q_e = 31,94 \text{ Kg} \times 1,8 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} \times (90 - 20 \text{ } ^\circ C)$$

$$Q_e = 4024,44 \text{ KJ}$$

Ahora se calcula el calor (Q_s) de salida:

$$Q_s = M_{H_2O \text{ evap}} \times H$$

Dónde:

$M_{H_2O \text{ evap}}$ = masa del agua evaporada

H = entalpia del agua a $90^\circ C = 2660,08 \frac{KJ}{Kg}$

$$Q_s = 3,72 \text{ Kg} \times 2660,08 \frac{KJ}{Kg}$$

$$Q_s = 9895,49 \text{ KJ}$$

El calor total se obtiene sumando el calor de entrada y el calor de salida.

$$Q_T = Q_e + Q_s$$

$$Q_T = (4024,44 + 9895,49) \text{ KJ}$$

$$Q_T = 13919,9 \text{ KJ}$$

Calculo del área de transferencia de calor

$$A_T = \frac{Q_T}{U_s \times \text{MLDT}}$$

Dónde:

Q_T = calor total

U_s = coeficiente convectivo de transferencia de calor ($167,36 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}}$)

MLDT = media logarítmica de diferencial de temperatura

$$\text{MLDT} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)}$$

Dónde:

T_1 = temperatura dentro del secador (90°C)

t_1 = temperatura de entrada de la MP (20°C)

T_2 = temperatura de salida de la MP (80°C)

t_2 = temperatura de salida de la bandeja (80°C)

$$\text{MLDT} = \frac{(90 - 80) - (80 - 20)}{\ln(90 - 80)/(80 - 20)}$$

$$\text{MLDT} = 27,90 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ahora reemplazando se obtiene una área de transferencia de calor de 2,98 m²:

$$A_T = \frac{13919,9 \text{ KJ}}{167,36 \frac{\text{KJ}}{\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}} \times 27,90 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A_T = 2,98 \text{ m}^2$$

Evaporador

Para el evaporador es necesario calcular la masa del vapor que debe ingresar al serpentín para que el fluido pueda llegar al punto de ebullición y generar el vapor.

Datos del fluido:

$$T^\circ_{\text{entrada}} = 20^\circ\text{C}$$

$$T^\circ_{\text{salida}} = 90,52^\circ\text{C}$$

$$43,09 \text{ Kg sol} \times \frac{1 \text{ m}^3}{594,5 \text{ Kg}} = 0,048 \text{ m}^3 \rightarrow 50 \% \text{ H}_2\text{O}$$

50 % OH

$$\text{KgH}_2\text{O} = 0,024 \text{ m}^3 \times 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 23,93 \text{ KgH}_2\text{O}$$

$$\text{KgOH} = 0,024 \text{ m}^3 \times 789 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 18,94 \text{ KgOH}$$

$$m_{\text{mezcla}} = 49,43 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{saponina}} = 6,34 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 23,93 \text{ Kg}$$

$$m_{\text{OH}} = 18,94 \text{ Kg}$$

$$Cp_{\text{H}_2\text{O}} = (20^\circ\text{C}) = 4,182 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K Kg}}$$

$$Cp_{\text{OH}} = (20^\circ\text{C}) = 2,46 \frac{\text{KJ}}{^\circ\text{K Kg}}$$

$$Cp_{saponina} = (20^{\circ}C) = 5,39 \times 10^{-3} \frac{KJ}{^{\circ}K Kg}$$

$$Cp_{mezcla} = \frac{mCp_{H_2O}}{m_{total}} + \frac{mCp_{OH}}{m_{total}} + \frac{mCp_{saponina}}{m_{total}}$$

$$= \frac{23,93 Kg \times 4,182 \frac{KJ}{^{\circ}K Kg}}{49,43 Kg} + \frac{18,94 Kg \times 2,46 \frac{KJ}{^{\circ}K Kg}}{49,43 Kg} + \frac{6,34 Kg \times 5,39 \times 10^{-3} \frac{KJ}{^{\circ}K Kg}}{49,43 Kg}$$

$$Cp_{mezcla} = (2,02 + 0,94 + 6,91 \times 10^{-4}) \frac{KJ}{^{\circ}K Kg}$$

$$Cp_{mezcla} = 2,96 \frac{KJ}{^{\circ}K Kg}$$

$$Q_w = Q_s$$

Dónde:

Q_w = Q añadido por el vapor

Q_s = Q ganado por la solución

$$W\lambda_w = mCp\Delta T$$

Dónde:

W = flujo másico de vapor ($5 \frac{Kg}{h}$)

λ_w = calor latente del vapor de agua $\left(2260 \times 10^3 \frac{J}{Kg}\right) \times \frac{1 KJ}{1000 J} = 2260 \frac{KJ}{Kg}$

m = masa de vapor que debe ingresar

Cp = capacidad calorífica de la solución

$\Delta T = (293,15^{\circ}K) - 20^{\circ}C \rightarrow (363,67^{\circ}K) - 90,52^{\circ}C$

$$m = \frac{W\lambda_w}{C_p\Delta T}$$

$$m = \frac{\left(5 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right) \left(2260 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)}{2,96 \frac{\text{KJ}}{\text{°K Kg}} (363,67^\circ\text{K} - 293,15^\circ\text{K})}$$

$$m = 54,13 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

La masa del vapor necesario para calentar la solución contenida en el evaporador es de 54,13 Kg por cada hora de operación.

Condensador

En el balance de energía del condensador en cambio es necesario calcular el flujo másico de agua de enfriamiento que debe pasar por el tubo para condensar el vapor generado desde el evaporador:

$$w(\text{calor latente} + \text{calor sensible}) = Q_{\text{sedido por el vapor condensado}}$$

Datos de vapor:

$$T^{\circ}_{\text{entrada}} = 90,52^\circ\text{C} \rightarrow \text{sensible}$$

$$\lambda_w \text{ a } 90,52^\circ\text{C} = 544,964 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta T = (90,52 - 50)^\circ\text{C} = 40,52^\circ\text{C}$$

$$\lambda_{wv} = \text{calor latente de vaporización } (\lambda_w - \lambda_{\text{sat}}) \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\lambda_{\text{sat}} (100^\circ\text{C}) = 539,052 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$\lambda_{wv} = \left(544,964 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} - 539,052 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}\right)$$

$$\lambda_{wv} = 5,912 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Datos del agua de enfriamiento:

$$\dot{m} = 1804,33 \frac{Kg}{h}$$

$$C_p = 1 \frac{Kcal}{Kg}$$

$$\Delta T = 18^\circ C \rightarrow 36^\circ C \quad (36 - 18)^\circ C = 18^\circ C$$

$$\dot{m}_v = 54,13 \frac{Kg}{h}$$

$$\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_a} = 0,030$$

$$\frac{54,13 \frac{Kg}{h}}{\dot{m}_a} = 0,030$$

$$\dot{m}_a = \frac{54,13 \frac{Kg}{h}}{0,030}$$

$$\dot{m}_a = 1804,33 \frac{Kg}{h}$$

Despejando W y reemplazando los valores en la fórmula:

$$W = \lambda_{wv} + (C_{p_w} \Delta T_w) = m C_p \Delta T$$

$$W = \frac{m C_p \Delta T}{\lambda_{wv} + C_p \Delta T_w}$$

$$W = \frac{1804,33 \frac{Kg}{h} \times 1 \frac{Kcal}{Kg} \times 18^\circ C}{5,912 \frac{Kcal}{Kg} + 1 \frac{Kcal}{Kg} (40,52^\circ C)}$$

$$W = 699,47 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Se necesita un flujo másico de 699,47 Kg de agua por cada hora que ingrese la masa de vapor antes calculada.

3.2.7. Dimensionamiento de equipos

3.2.7.1. Secado

La bandeja utilizada en la simulación de la primera operación unitaria del proceso de obtención de un plaguicida natural en base a saponina cuenta con las siguientes medidas:

Bandeja → 53cm x 31,4cm x 3 cm

Se obtiene el área de la bandeja utilizada para extrapolar a escala industrial.

$$\text{Área de la Bandeja} = L \times H$$

Dónde:

L= Longitud (m)

H= Ancho (m)

$$A_b = (53 \times 31,4) \text{ cm}^2$$

$$A_b = 1664,2 \text{ cm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{100 \text{ cm}^2} = 0,166 \text{ m}^2$$

Realizando una relación simple el área necesaria para secar 31,94 Kg es de:

$$0,166 \text{ m}^2 \rightarrow 1,59 \text{ Kg}$$

$$x \leftarrow 31,94 \text{ Kg}$$

$$x = 3,33 \text{ m}^2$$

Si se considera el diseño de un secador de 7 bandejas:

$$\frac{3,33\text{m}^2}{7} = 0,48 \text{ m}^2$$

El área de cada bandeja es de $0,48 \text{ m}^2$ y si asumimos 1 m de longitud en base al espacio de la empresa:

$$A_b = L \times H$$

$$0,48 \text{ m}^2 = 1 \text{ m} \times H$$

$$H = 0,48 \text{ m}$$

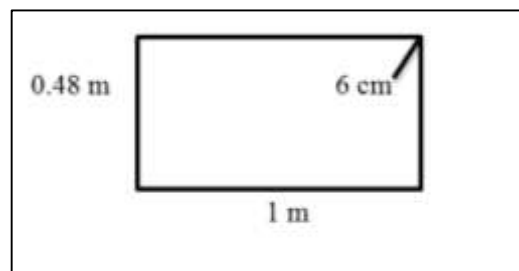


Gráfico 3-3: Dimensiones de bandeja
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Calculo del área libre de cada bandeja que debe tener para la circulación del aire de secado.

Se calcula mediante la fórmula:

$$\text{Area libre} = L_b (\# \text{ bandejas} - 1) e$$

Dónde:

L_b = longitud de bandejas (m)

e = espacio libre entre bandejas para la circulación y flujo de aire (m)

El espacio libre se asume el doble del espesor de cada bandeja (12 cm) = $0,12 \text{ m}$

$$\text{Area libre} = 1 \text{ m} (7 - 1) (0,12 \text{ m})$$

$$\text{Area libre} = 0,72 \text{ m}^2$$

Cálculo de la cantidad de aire necesario que proporciona el ventilador

La cantidad de aire necesario para realizar el secado del mojuelo se calcula mediante:

$$\rho_{as} = \frac{m_{as}}{V_{aire}}$$

Dónde:

m_{as} = Masa del aire (Kg)

V_{aire} = Volumen de aire (m^3)

ρ_{as} = Densidad del aire ($\frac{Kg}{m^3}$)

$$V_{aire} = \frac{m_{as}}{\rho_{as}}$$

$$\delta_{as} 90^\circ = 0,973 \frac{Kg}{m^3}$$

$$m_{as} = 375,285 \text{ Kg}$$

$$V_{aire} = \frac{375,285 \text{ Kg}}{0,973 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V_{aire} = 385,69 \text{ m}^3$$

Cálculo del caudal (Q) del aire necesario

El cálculo del caudal de aire utilizado en la operación de secado se calcula:

$$Q = \frac{V_{aire}}{t}$$

$$Q = \frac{385,69 \text{ m}^3}{4 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q = 0,026 \frac{m^3}{s}$$

Se necesita un caudal de aire de secado de $0,026 \frac{m^3}{s}$ para secar los 31,94 Kg de mojuelo.

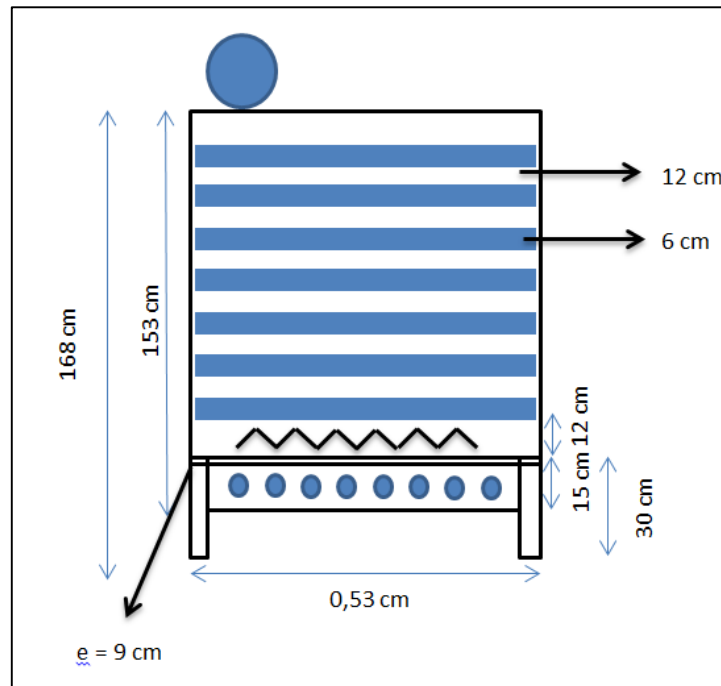


Gráfico 4-3 Esquema de secador de bandejas
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.2.7.2. Macerador

El extractor sólido-líquido está diseñado para facilitar la operación de extracción y el paso de la suspensión a la siguiente operación del proceso. El diseño inferior del tanque cuenta con una forma de cono para la salida del producto, facilitando el paso a la siguiente operación de filtrado.

Tiempo de maceración

Una variable importante dentro de esta operación unitaria es el tiempo de maceración y la concentración de la disolución para la extracción (Universidad Boliviana (System), Ticona, Carrasco, Flores, & Almanza, 2012). Según una investigación publicada por la Revista Boliviana de Química “Cuantificación de saponinas en residuos de quinua real chenopodium Quinoa

Willd”, donde estudian el proceso de extracción sólido-líquido con diferentes concentraciones de disolvente etanol-agua y tiempos de maceración como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13-3: Datos de investigación extracción saponina

PARAMETRO	E-1	E-2	E-3	E-4
Tiempo de extracción (h)	24	48	72	96
Mezcla agua/etanol (%)	100	75	50	25
Relación masa/volumen [mg/ml]	1:1	1:2	1:3	1:4

Fuente: Ticona, Carrasco, Flores & Almanza, 2012.

Según los resultados de esta investigación revela que la relación porcentual de H₂O/ EtOH más adecuada para la extracción de saponina es del 50% y que el tiempo de maceración óptimo para una relación 1:3 de masa mojuelo/volumen de solución es de 72 horas.

Tomando en cuenta estas consideraciones se trabajó con una relación 1:4 de mojuelo seco y volumen de solución como el **E-4** para la simulación a escala de laboratorio con la diferencia de una relación igual a 1:1 (50%) de disolución H₂O/ EtOH y un tiempo de 96 horas de extracción (4 días).

$$0,250 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ L solución}$$

Con estas condiciones se realizó la extracción a escala de laboratorio con una fracción de extracción de 0,27, cantidad mayor a la extraída en varias investigaciones en donde se obtuvo 101 g de saponina de 250 g de mojuelo.

Calculo del volumen de entrada

Se obtiene por relación simple la cantidad de solución necesaria para macerar los 28,22 Kg de mojuelo:

$$0,250 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ L solución}$$

$$28,22 \text{ Kg mojuelo} \rightarrow x$$

$$x = 112,88 \text{ L} \times \frac{1\text{m}^3}{100 \text{ L}} = 0,113 \text{ m}^3$$

Con la densidad de la quinua se obtiene el volumen que ocupará el mojuelo, y sumando se obtiene el volumen total de mezcla que va a ocupar el tanque.

$$\delta_{\text{quinua}} = 1,48 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 1480 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$28,22 \text{ Kg mojuelo} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1480 \text{ Kg}} = 0,019 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol}_{\text{total}} = \text{Vol}_{\text{solucion}} + \text{Vol}_{\text{mojuelo}}$$

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 0,113 \text{ m}^3 + 0,019 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 0,13 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol}_{\text{total}} = 130 \text{ L}$$

Calculo del diámetro del cilindro

$$R = \frac{D_M}{2}$$

$$V = \pi (R)^2 ht$$

Conociendo que $\rightarrow h=D_M$

$$V = \pi \left(\frac{D_M}{2}\right)^2 \times D_M$$

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

Dónde:

D_M = diámetro del cilindro (m)

V = volumen del liquido (m^3)

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{4 (0,113 \text{ m}^3)}{\pi}}$$

$$D_M = 0,52 \text{ m}$$

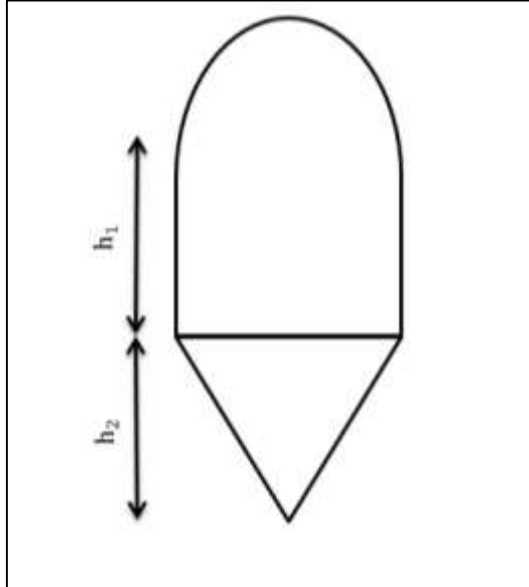


Gráfico 5-3: Esquema de macerador
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Cálculo de la altura del cilindro

$$V_{cilindro} = \pi r^2 h_1$$

$$h_1 = \frac{V_{cilindro}}{\pi r^2}$$

$$h_1 = \frac{0,113 \text{ m}^3}{\pi (0,26)^2 \text{ m}^2}$$

$$h_1 = 0,53 \text{ m}$$

Calculo del diámetro del cono

Para el cono el diámetro se calcula mediante la fórmula:

$$D_{cono} = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}$$

Dónde:

V= volumen que ocupara el cono (m^3)

D_{cono} = diámetro del cono (m)

$$D_{cono} = \sqrt[3]{\frac{4(0,019)m^3}{\pi}}$$

$$D_{cono} = 0,28 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del cono

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h_{cono}$$

$$r = \frac{D_{cono}}{2}$$

$$r = \frac{0,28 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,14$$

Dónde:

V= Volumen del cono (m^3)

r= radio del cono (m)

h_{cono} = Altura del cono (m)

$$\frac{3V_{cono}}{\pi r^2} = h_{cono}$$

$$h_{cono} = \frac{3(0,019m^3)}{\pi (0,14m)^2}$$

$$h_{cono} = 0,92 \text{ m}$$

Altura total del cilindro y cono

Se toma un factor de seguridad de 20 % para el cono y el cilindro

$f_s = 20 \%$

Cilindro

$$h_{fs} = f_s \times h_{cilindro}$$

$$h_{fs} = 0,20 \times (0,53)\text{m}$$

$$h_{fs} = 0,106 \text{ m}$$

$$ht_{cilindro} = h_{cilindro} \times h_{fs}$$

$$ht_{cilindro} = (0,53 + 0,106)\text{m}$$

$$ht_{cilindro} = 0,636 \text{ m}$$

Cono

$$h_{fs} = f_s \times h_{cono}$$

$$h_{fs} = 0,20 \times 0,92$$

$$h_{fs} = 0,184$$

$$ht_{cono} = h_{cono} + h_{fs}$$

$$ht_{cono} = 0,92 + 0,184$$

$$ht_{cono} = 1,104 \text{ m}$$

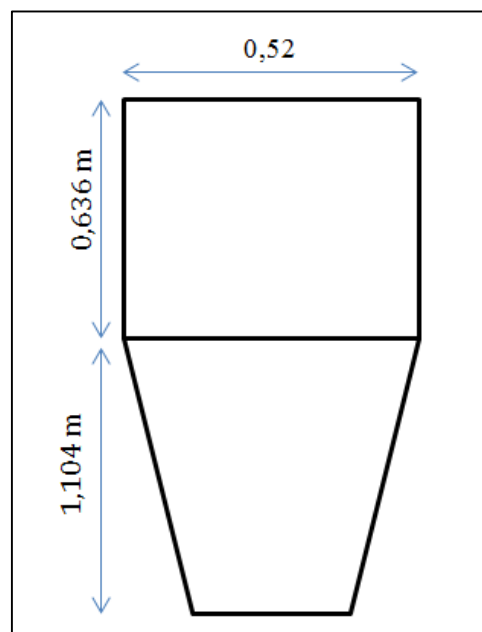


Gráfico 6-3 Medidas de macerador
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.2.7.3. Filtro al vacío

Tabla 14-3: Datos de la simulación

Pruebas	Volumen a filtrar (ml)	Volumen filtrado (ml)	Tiempo (min)	P. Total (g)
Prueba 1	628	608	5,12	481,51
Prueba 2	591	590	3,41	341,27
Prueba 3	580	569	2,5	524,56
Promedio	599,66 ml	589 ml	3,67 min	449,114 g

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

↓
0,449 Kg

Calculo del caudal (Q)

En la simulación se filtró 599,66 ml de solución en 3,67 min:

599,66 → en 3,67 min

$$Q = \frac{599,66 \text{ ml}}{3,67 \text{ min}} = 163,39 \frac{\text{ml}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$Q = 2,72 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Cálculo del área filtrante

Tomando como referencia el área utilizada en la simulación para la operación de la filtración:

$\varnothing = 0,16 \text{ m}$

$$A = \pi r^2$$

Dónde:

A= Área filtrante (m²)

r= Radio del filtro (m)

$$A = \pi (0,08\text{m})^2$$

$$A = 0,020 \text{ m}^2$$

Calculo del volumen filtrado recogido

Masa de la solución → 496 ml OH
504 ml H₂O

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{OH}} = 789 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$4,96 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ OH} \times 789 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{0,39 \text{ Kg OH}}$$

$$504 \text{ ml H}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 5,04 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

$$5,04 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O} \times 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \mathbf{0,50 \text{ Kg H}_2\text{O}}$$

$$M_{\text{solucion}} = 0,39 \text{ Kg OH} + 0,50 \text{ Kg H}_2\text{O}$$

$$M_{\text{solucion}} = 0,89 \text{ Kg de solución}$$

$$\text{Concentración solución} \rightarrow [] = \frac{0,250 \text{ Kg}}{1 \text{ L}} = 0,25 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}$$

Relación M_{solucion} y M_{torta}

$$\frac{M_{\text{solucion}}}{M_{\text{torta}}} = \frac{0,89 \text{ Kg}}{0,449 \text{ Kg}}$$

$$\frac{M_{\text{solucion}}}{M_{\text{torta}}} = 1,98$$

Masa de agua retenida

$$M_{\text{solucion}} = M_t + y'$$

Dónde:

M_{solucion} = masa de la solución (Kg)

M_t = masa de la torta (Kg)

y' = Relación de solución antes de filtrar

$$y' = M_{\text{solucion}} - M_t$$

$$y' = (0,89 - 0,449) \text{ Kg}$$

$$y' = 0,441 \text{ Kg}$$

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular la solución retenida en la torta:

$$y = \frac{y'}{\rho}$$

Dónde:

y = Masa de solución retenida en la torta (Kg)

ρ = Densidad del filtrado ($0,74 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$)

$$\rho = 0,74 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times \frac{1\text{Kg}}{1000\text{g}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 740 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$y = \frac{0,441 \text{ Kg}}{740 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$y = 5,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 0,595 \text{ L} \rightarrow 595,95 \text{ ml}$$

Volumen filtrado teórico

Se calcula aplicando el cociente entre el agua retenida y el volumen de solución:

$$V_F = X - Y$$

Dónde:

X = Volumen de solución en base a la concentración (L)

Y =Masa de agua retenida (Kg)

V_F = Volumen filtrado teórico (L)

[] =concentración del solido en la solución (Kg/L)

M_t = Masa de la torta (Kg)

$$X = \frac{M_t}{[]}$$
$$X = \frac{0,449 \text{ Kg}}{0,25 \frac{\text{Kg}}{\text{L}}}$$
$$X = 1,796 \text{ L}$$

Reemplazando se tiene:

$$V_F = (1,796 - 0,595) \text{ L}$$

$$V_F = 1,20 \text{ L}$$

Tomando en cuenta el volumen teórico y real, se grafica para obtener la pendiente y por ende las constantes utilizadas más adelante.

Tabla 15-3: Datos para curva de filtración

V _F (L)	$\frac{dV_F}{dt}$ (L/min)	$\frac{dt}{dV_F}$ (min/L)
0,595	0,16	6,25
1,201	0,33	3,03

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

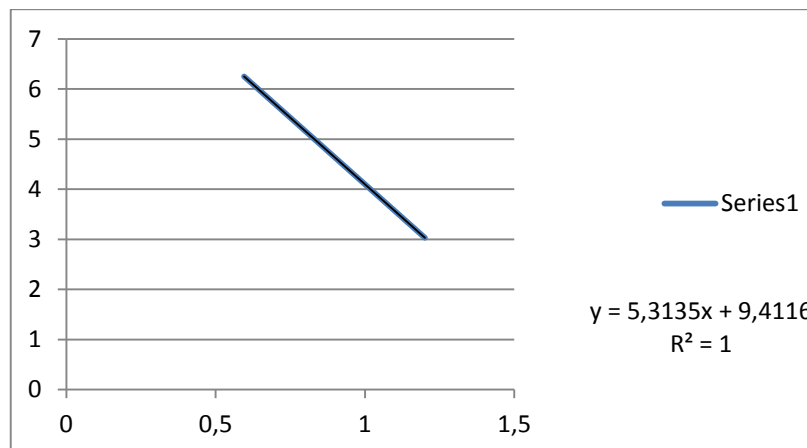


Gráfico 7-3: Curva de filtración.

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

$$t = 3,67 \text{ min}$$

$$y = 5,3135x + 9,4116$$

$$K_1 = 5,3135$$

$$K_2 = 9,4116$$

Se reemplaza en la siguiente fórmula para calcular el volumen óptimo de filtrado:

$$V_F = \left(2 \times \frac{\Sigma t_m}{K_1}\right)^{0,5}$$

Dónde:

Σt_m = Tiempo de filtrado (min)

$$V_F = \left(2 \times \frac{3,67}{5,3135}\right)^{0,5}$$

$$V_F = 1,18 \text{ L}$$

Tiempo de filtrado por ciclo (t_F)

El tiempo de filtrado por cada ciclo (5) se obtiene con la siguiente formula:

$$t_F = \left(\frac{K_1}{2}\right)(V_F)^2 + K_2 \times V_F$$

Dónde:

t_F = Tiempo óptimo de filtrado por ciclo

Reemplazando se tiene un tiempo óptimo de filtrado de 15,14 min.

$$t_F = \left(\frac{5,3135}{2}\right)(1,201)^2 L^2 + 9,4116 \times (1,201)$$

$$t_F = 15,14 \text{ minutos}$$

Capacidad máxima de filtración (C)

La capacidad máxima de filtración del filtro en la simulación se conoce por la fórmula:

$$C = \frac{V_F}{(t_F + \Sigma t_m)}$$

$$C = \frac{1,201 \text{ L}}{(15,14 + 3,67)}$$

$$C = 0,064 \frac{\text{L}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 0,09216 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Ahora se calcula el área de filtrado para el volumen que se va a filtrar, aplicando la fórmula:

$$A_F = A_C \times \frac{C_F}{C}$$

Dónde:

A_C = Área utilizada en simulación (m^2)

C_F = Capacidad de filtración a nivel industrial ($\frac{\text{L}}{\text{min}}$)

C = Capacidad máxima de filtración ($\frac{\text{L}}{\text{min}}$)

Área de filtrado para $C_F = 0,13 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,090 \frac{\text{L}}{\text{min}}$

$$A_F = 0,020 \text{ m}^2 \times \frac{0,090 \frac{\text{L}}{\text{min}}}{0,064 \frac{\text{L}}{\text{min}}}$$

$$A_F = 0,028 \text{ m}^2$$

Cálculo del radio del filtro

$$A = \pi r^2$$

Despejando:

$$r^2 = \frac{A}{\pi}$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,028 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,094 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del filtro

$$V = h \pi r^2$$

Dónde:

V= volumen a filtrarse (m³)

r= radio del filtro (m)

h= altura del filtro (m)

$$h = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0,13 \text{ m}^3}{\pi (0,094 \text{ m})^2}$$

$$h = 4,68 \text{ m}$$

Si realizamos 5 cargas al día

$$\frac{0,13 \text{ m}^3}{5} = 0,026 \text{ m}^3$$

$$h = \frac{0,026 \text{ m}^3}{\pi (0,094)^2}$$

$$h = 0,94 \text{ m}$$

y si el t_F por cada ciclo es de 15 min

$$15 \text{ min por carga (5)} \rightarrow 15 \times 5 = 75 \text{ min} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 1,25 \text{ horas}$$

El tiempo de filtración total del lote es de 1 hora mas 25 minutos.

$$\emptyset = r \times 2$$

$$\emptyset = 0,094 \times 2$$

$$\emptyset = 0,19 \text{ m}$$

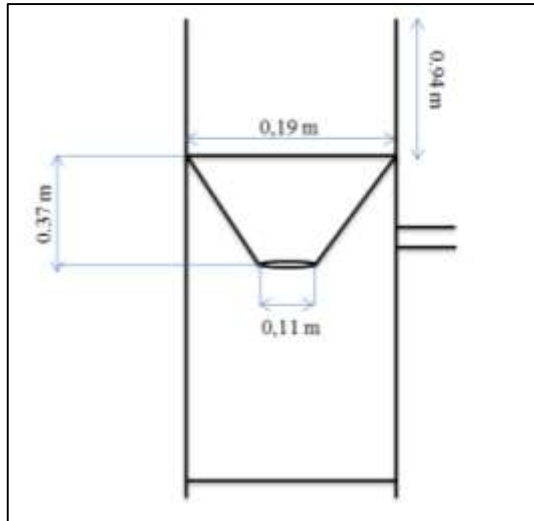


Gráfico 8-3: Esquema de filtración
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Elección de la luz de malla para el filtro

Para la elección de la luz de malla que se va a utilizar en el sistema de filtración diseñado se realizó una operación de tamizado posterior al secado, independientemente del proceso diseñado, para contar con una idea del tamaño de partícula menor que tiene el mojuelo. Los datos obtenidos en el tamizado se muestran a continuación:

Tabla 16-3: Datos de tamizado

Luz de malla (µm)	Peso tamiz vacío(gr)	Peso tamiz + muestra (gr)	Peso retenido (gr)
425	313,65	373,5	59,85
300	297,1	344,6	47,5
212	291,1	377,4	86,3
150	282,55	338,1	55,55
106	277,75	289,2	11,45
58	270,7	276,0	5,3
38	273,45	273,45	0
0	244,75	244,75	0

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Como se observa en la tabla anterior, la luz de malla que retiene las partículas de menor tamaño contenidas en el mojuelo es la número 38 µm, por ende la luz de malla que se utilizará en el sistema de filtrado diseñado es de 38 µm.

Dimensionamiento del cono de salida del líquido filtrado

El cono se dimensiona tomando como base solamente 0,5 Kg de alimentación con respecto a los 0,250 Kg de la alimentación, ya que como no se va a llenar, sino que solo va a dirigir el líquido filtrado se dimensiona para un volumen mucho menor

$$0,250 \text{ Kg} \rightarrow 0,589 \text{ L}$$

$$0,5 \text{ Kg} \rightarrow x$$

$$x = 1,178 \text{ L} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 1,178 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Diámetro del cono**

Se utiliza la siguiente formula:

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{4 V_{\text{cono}}}{\pi}}$$

Dónde:

D_M = Diámetro del cono (m)

V_{cono} = Volumen (m^3)

$$D_M = \sqrt[3]{\frac{4 (1,178 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{\pi}}$$

$$D_M = 0,11 \text{ m}$$

- **Calculo de la altura del cono**

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} \pi r^2 h_{\text{cono}}$$

Dónde:

V_{cono} = Volumen (m^3)

h_{cono} = Altura del cono (m)

r = radio del cono (m)

$$h_{\text{cono}} = \frac{3 V_{\text{cono}}}{\pi r^2}$$

$$r = \frac{\phi}{2}$$

$$r = \frac{0,11}{2}$$

$$r = 0,055 \text{ m}$$

$$h_{\text{cono}} = \frac{3 (1,178 \times 10^{-3} m^3)}{\pi (0,055 m)^2}$$

$$h_{\text{cono}} = 0,37 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 37,18 \text{ cm}$$

Diseño del contenedor del líquido filtrado

- **Volumen del tanque**

Tomando como base los datos de la simulación en la filtración:

0,589 L → 0,250 Kg mojuelo

x ← 28,22 Kg mojuelo

$$x = 66,49 \text{ L} \times \frac{1 m^3}{1000 L} = 0,066 m^3$$

El factor de seguridad (x) utilizado para el tanque es de 15 %

$$x = V \times 0,15$$

$$x = 0,066 \text{ m}^3 \times 0,15$$

$$x = 9,9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Cálculo del volumen total**

$$V_{\text{total}} = V + x$$

$$V_{\text{total}} = 0,066 \text{ m}^3 + 9,9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 0,076 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total}} = 76 \text{ L}$$

- **Radio del tanque**

$$\emptyset = \emptyset_{\text{filtro}} = 0,19$$

$$r = \frac{\emptyset}{2}$$

$$r = \frac{0,19 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,095 \text{ m}$$

Altura del tanque

$$h = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0,076 \text{ m}^3}{\pi (0,095 \text{ m})^2}$$

$$h = 2,68 \text{ m}$$

Factor de seguridad del 5% para la altura

$$2,68 \text{ m} \rightarrow 100 \%$$

$$x \leftarrow 5 \%$$

$$x = 0,134 \text{ m}$$

Se obtiene la altura total sumando el factor de seguridad y la altura antes calculada:

$$h_{total} = x + h$$

$$h_{total} = (0,134 + 2,68)m$$

$$h_{total} = 2,814 \text{ m}$$

Potencia de la bomba

La bomba utilizada en la simulación es de 1/3 hp, si realizamos 5 cargas, para cada carga: $\frac{130 \text{ L}}{5} =$

26 L

Y realizando una relación simple se calcula que:

$$1/3 \text{ hp} \rightarrow 0,5997 \text{ L}$$

$$\mathbf{14,45 \text{ hp}} \leftarrow 26 \text{ L}$$

Entonces se necesita 1 bomba de mínimo 14,45 hp para filtrar 5 cargas de 26 L (0,026m³) cada uno con 14 hp → 10,43 Kw, la misma que existe en catalogo como se muestra:

Tabla 17-3: Catálogo de bombas de vacío

Modelo	Caudal aspirado 50 hz m3/h	Caudal aspirado 60 hz m3/h	Vacío 50 Hz mbars	Vacío 60 Hz mbars	Potencia trifásica 50 hz Kw	Potencia trifásica 60 hz Kw	Nivel sonoro 50 hz dba	Nivel sonoro 60 hz dba	Peso kg
PVLA030160	165	192	997	997	4	4.8	71	74	129
PVLA040160	165	192	999.5	999.5	4	4.8	71	74	129
PVLA040190	184	221	999.5	999.5	5.5	6.4	73	76	163
PVLA030190	184	221	997	997	5.5	6.4	73	76	163
PVLA040250	240	274	999.5	999.5	7.8	9.3	73	76	178
PVLA030250	240	274	997	997	7.8	9.3	73	76	178

Referencia	a	b	c	d1	d2	e	g1	g2	l	k	k1	kM	Øs2
PVLA030160P000	302.5	356.5	0.0	G2	G 1 1/2		261.5	133.5	17.5	528	372	900	
PVLA040160P000	302.5	356.5	0.0	G2	G 1 1/2		261.5	133.5	17.5	528	372	900	
PVLA040184P000	362.5	356.5	0.0	G2	G 1 1/2		261.5	133.5	53.5	624	374	998	
PVLA030184P000	362.5	356.5	0.0	G2	G 1 1/2		261.5	133.5	53.5	624	374	998	
PVLA040250P000	422	355	120	G2	G 1 1/2		260	136	37	667	417	1084	
PVLA030250P000	422	355	120	G2	G 1 1/2		260	136	37	667	417	1084	

Fuente: <http://pdf.directindustry.es/pdf/sapelem/bombas-vacio/7523-46770.html>

La bomba que se propone para el sistema es la modelo PVLA030250 de 9,3 Kw, ya que como no se trabajó con la potencia máxima de la bomba en la simulación es una buena referencia para saber que es ideal para el sistema diseñado.

3.2.7.4. Sistema de destilado

El sistema de destilado se basó en la obtención de solución y saponina obtenida a escala de laboratorio.

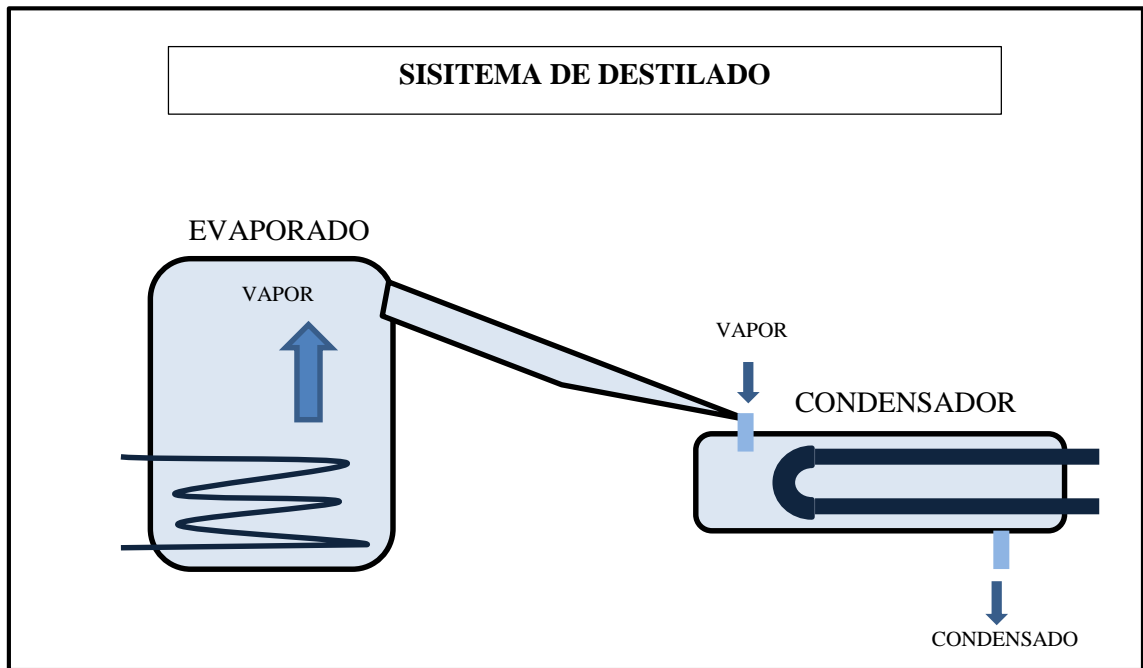


Gráfico 9-3: Esquema de sistema de destilado
 Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Diseño del evaporador

$$\phi_{\text{asumido}} = 0,36 \text{ m}$$

$$r = \frac{\phi}{2}$$

$$r = \frac{0,36}{2}$$

$$r = 0,18 \text{ m}$$

- **Altura del evaporador**

$$h = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0,066 \text{ m}^3}{\pi (0,18 \text{ m})^2}$$

$$h = 0,65 \text{ m}$$

Se toma un factor de seguridad 40% de la altura para garantizar que solamente el agua y alcohol etílico suban hasta la salida del vapor.

$$0,65 \text{ m} \rightarrow 100 \%$$

$$x \leftarrow 40 \%$$

$$x = 0,268 \text{ m}$$

- **Altura total del evaporador**

$$h_t = h + X$$

$$h_t = 0,65\text{m} + 0,268\text{m}$$

$$h_t = 0,918 \text{ m}$$

- **Cálculo de la altura del serpentín**

Se considera 1/3 de la altura de evaporador debido al porcentaje que se recupera \rightarrow 87% OH - H_2O .

$$h_{\text{ser}} = \frac{1}{3} h_t$$

Dónde:

h_{ser} = Altura del serpentín (m)

h_t = Altura que ocupa el líquido en el evaporador (m)

$$h_{\text{ser}} = \frac{1}{3} \times 0,65 \text{ m}$$

$$h_{\text{ser}} = 0,22 \text{ m}$$

- **Cálculo del diámetro externo del serpentín**

Se ocupa la siguiente formula:

$$\emptyset_{\text{ext}} = \emptyset_{\text{int}} + 2e$$

Dónde:

$e =$ espesor del serpentín (m) = 0,1142 mm (0,0045") ($1,14 \times 10^{-4}$ m) (elisaferioli, n.d.)

ϕ_{int} = diámetro del serpentín (m)

ϕ_{ext} = sacado de catálogo para una superficie de intercambio 12,7 mm \rightarrow 0,5" \rightarrow 0,0127 m \rightarrow 1,27 m (elisaferioli, n.d.)

Los datos obtenidos en base a catálogos de serpentines utilizados normalmente y adecuados a las necesidades del diseño.

$$\begin{aligned}\phi_{\text{int}} &= \phi_{\text{ext}} - 2e \\ \phi_{\text{int}} &= 0,0127 \text{ m} - 2(1,14 \times 10^{-4} \text{ m}) \\ \phi_{\text{int}} &= 0,0125 \text{ m}\end{aligned}$$

- **Cálculo del número de vueltas**

Espacio entre anillos \rightarrow 3,175 cm CATÁLOGO

Si el diámetro exterior es 1,27 cm para 20 cm de espacio que ocupara el serpentín es de 5 vueltas.

Espacio que ocupa = Espacio entre anillos + diámetro exterior del serpentín

$$\text{Espacio que ocupa} = 3,175 + 1,27 = 4,445 \text{ cm}$$

$$\#_{\text{vueltas}} = \frac{h_{\text{serpentin}}}{\text{espacio que ocupa}}$$

$$\#_{\text{vueltas}} = \frac{22 \text{ cm}}{4,445 \text{ cm}}$$

$$\#_{\text{vueltas}} = 4,94 \cong 5$$

Asumido

$L_{\text{entrada}} = 5 \text{ cm}$

$L_{\text{salida}} = 5 \text{ cm}$

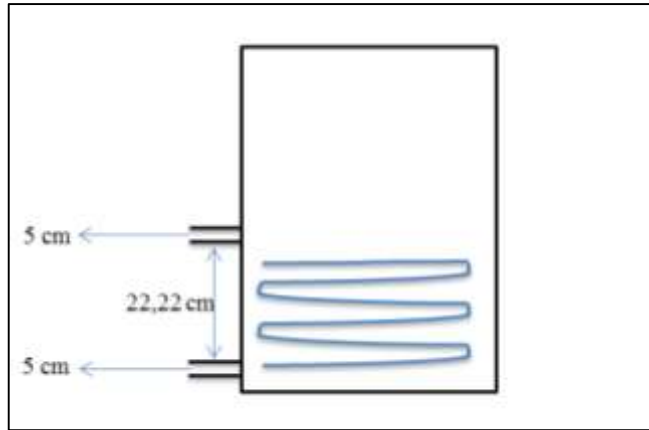


Gráfico 10-3: Esquema de evaporador con serpentín
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

- **Cálculo de la longitud de anillos**

$$L_a = \pi \times d$$

Dónde:

L_a = Longitud de anillos (m)

d = diámetro del evaporador – 0,02 m = (0,36-0,02)m = 0,34 m

$$L_a = \pi \times (0,34 \text{ m})$$

$$L_a = 1,07 \text{ m}$$

Teniendo el dato de la longitud del anillo se calcula la longitud del serpentín de cada vuelta:

$$L_s = L_a \times \#_{\text{vueltas}}$$

Dónde:

L_s = Longitud del serpentín (m)

L_a = Longitud de anillo (m)

$\#_{\text{vueltas}}$ = Número de vueltas

$$L_s = 1,07 \times 5$$

$$L_s = 5,35 \text{ m}$$

- **Cálculo de la longitud del serpentín**

$$L_{\text{ser}} = L_{\text{anillos}} + L_{\text{entrada de vapor}} + L_{\text{salida condensador}}$$

Dónde:

$L_{\text{anillos}} = \text{Longitud de anillos (m)}$

$L_{\text{entrada de vapor}} = \text{Longitud de entrada de vapor (m)} = 0,05 \text{ m}$

$L_{\text{salida condensador}} = \text{Longitud de salida de condensado (m)} = 0,05 \text{ m}$

Los valores de salida del condensado y entrada del vapor se asumió a 0,05 m.

$$L_{\text{ser}} = (5,35 + 0,05 + 0,05)\text{m}$$

$$L_{\text{ser}} = 5,45 \text{ m}$$

El sistema de destilado que se propone como vimos en el diagrama antes ilustrado, cuenta con un tubo para el paso del vapor entre el evaporador y el condensador, para evitar el calentamiento involuntario del sistema de condensación.

Se considera un tubo de $\varnothing = 2''$ de acero galvanizado para este fin. Sabiendo que la T° de ebullición del agua en Riobamba es de $90,52^\circ\text{C}$, y recurriendo a tablas la presión (P)→ agua saturada es 70,183 KPa. Con estos datos se puede calcular la fuerza que se genera dentro del tubo de acuerdo a su área si se asume un largo de 0,60 m.

- **Área del tubo**

$$A = 2 \pi r h + 2 \pi r^2$$

Dónde:

A= área del tubo (m^2)

r= radio del tubo (0,254 m)

h= altura del tubo (longitud (m))

$$A = 2 \pi (0,254)(0,60\text{m}) + 2 \pi (0,254 \text{ m})^2$$

$$A = 1,36 \text{ m}^2$$

Ahora se calcula la fuerza ejercida por el vapor en el tubo:

$$P = \frac{F}{A}$$

Dónde:

P= Presión ejercida por el vapor (Pa)

A= Área del tubo (m^2)

F= Fuerza (N)

$$F = A \times P$$

$$F = 1,36 \text{ m}^2 \times 70183 \text{ Pa}$$

$$F = 95654,05 \text{ N}$$

Diseño del condensador

Tabla 18-3: Datos del agua de enfriamiento

Parámetro	Valor	Unidades
T _{entrada}	18	°C
T _{salida}	36	°C
C _p _{agua}	4,183	KJ/°K Kg
Velocidad (simulación)	0,023	m/s
Densidad	0,6	Kg/m ³
Viscosidad	1,14 x 10 ⁻⁵	Pie ² /s

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Tabla 19-3: Datos del vapor de agua-etanol 1:1

Parámetros	Valor	Unidades
Temperatura de saturación	99,61	°C
Entalpia de vapor mezcla (h _{fg})	2282,5	KJ/Kg
Entalpia de líquido saturado (h _f)	209,34	KJ/Kg
Velocidad (vapor)	1,54 x 10 ⁻⁴	Pie/s
Viscosidad μ _v	3,08 x 10 ⁻⁴	Pie ² /s
Densidad ρ	0,037	Lb/pie ³

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Para el diseño del condensador se realiza en base a los calores cedidos y absorbidos que se dan en el proceso:

- **Calculo del calor necesario para enfriar el vapor**

$$\Delta h_{\text{agua fría}} = \frac{\dot{m}_v(\Delta H_V)}{\dot{m}_{\text{fría}}}$$

$$C_{p_{\text{af}}}\Delta T_{\text{af}} = \frac{\dot{m}_v(\Delta H_V)}{\dot{m}_{\text{af}}}$$

Dónde:

C_{p_{af}}= capacidad calorífica del agua fría

ΔT_{af} = Variación de temperatura de entrada y salida del agua de enfriamiento.

\dot{m}_v = Flujo másico de vapor

\dot{m}_{af} = Flujo másico de agua fría

ΔH_V = Variación de entalpia de vapor

$$\frac{C_{p_{af}} \Delta T_{af}}{\Delta H_V} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{af}}$$

Datos:

$$\rho_{\text{agua}} = (1 \text{ bar y } 100^\circ\text{C}) = 0,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

(90°C) h_{fg} = (vapor entrada)

(50°C) h_f = (liquido saturado)

$$C_p H_2O (18^\circ\text{C}) = 4,183 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}}$$

Reemplazando se tiene:

$$\frac{4,183 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \times (309 - 291)^\circ\text{K}}{2450,26 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}} = \frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{af}}$$

$$\frac{\dot{m}_v}{\dot{m}_{af}} = 0,030 \rightarrow \text{relacion de vapor - agua}$$

Se obtiene una relación másica de vapor-agua del 0,030. Ahora se calcula el calor de rechazo del vapor al agua de enfriamiento:

$$\begin{array}{c} 0 \\ \nearrow \\ Q - W = \Delta H \\ \text{Rechazo} = h_{fg} - h_f \end{array}$$

En tablas se obtiene y se reemplaza

$$h_{fg} = 2282,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad Q_{\text{rechazo}} = (2282,5 - 209,34) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$h_f = 209,34 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad Q_{\text{rechazo}} = 2073,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Por cada fracción de vapor se rechaza

$$Q_{\text{rechazo}} = 2073,16 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \times 0,030$$

$$Q_{\text{rechazo}} = 62,19 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Este valor es el calor de rechazo de la fracción vapor por cada fracción de agua al contacto.

- **Calculo del coeficiente pelicular por convección interna**

Cálculo del número de Reynolds

$$\#Re = \frac{(\phi_i \times v_{\text{agua}})}{\mu_{\text{agua}}}$$

Dónde:

ϕ_i = Diámetro interno de los tubos

ϕ asumido por tablas

v_{agua} = velocidad de agua de enfriamiento (pie/s)

$$v_{\text{agua}} \text{ simulación} = 0,023 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$0,589 \text{ L} \rightarrow 0,023 \text{ m/s}$$

$$(0,066 \text{ m}^3) 66,49 \text{ L} \rightarrow x$$

$$x = 2,596 \text{ m/s} \rightarrow \text{a nivel industrial}$$

$$x = 8,52 \text{ pies/s}$$

0,083 pie

↑

ϕ_e tubo = 1 pulg según tabla ASTM (anexos)

ϕ_i tubo = 0,782 pulg \rightarrow 0,065 pie

$$\mu_{\text{agua}} = (18^\circ\text{C}) = 0,001054 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \rightarrow \frac{\text{pie}^2}{\text{s}}$$

$$\rho_{\text{agua}} = (18^\circ\text{C}) = 998,68 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$0,001054 \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{998,68 \text{ Kg}} = 1,055 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$1,055 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ pie}^2}{(0,3048 \text{ m})^2} = 1,14 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^2}{\text{s}}$$

$$\#Re = \frac{(0,065 \text{ pie} \times 8,52 \frac{\text{pie}}{\text{s}})}{1,14 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^2}{\text{s}}}$$

$$\#Re = 48578,95$$

Factor de transferencia de calor (JH)

Aplicando la tabla curva de transferencia de calor de tubos adaptada de Sieder y Tate (Anexos), obtenemos JH:

$$JH = 90$$

Calculo de coeficiente pelicular por convección interna

$$h_i = JH \frac{V_{\text{agua}}}{\phi_i} \left(\frac{Cp_{\text{agua}} + \mu_{\text{agua}}}{K_{\text{agua}}} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_{\text{agua}}}{\mu_{\text{w,agua}}} \right)^{0,14}$$

Dónde:

Cp = calor específico del agua (BTU/Lb °F) (0,94)

hi = coeficiente de película $\left(\frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s } ^\circ\text{F}} \right)$

JH = transferencia de Q lado de tubos

(64,4 F)(18°C) K_{agua} = conductividad térmica de agua fría (BTU/s °F pie) → 0,3456

$\mu_{\text{agua}} = v_{\text{agua}} \times \rho_{\text{agua}}$ (Viscosidad dinámica)

μ_{w} = viscosidad dinámica hallada con T° (18°C), aplicando la tabla de viscosidad de líquidos de Perry (Chemical Engineers Handbook, 1950)

↓

Tabla fig 14 → libro (1,1Cp)

$$\mu_{\text{w}} = 1,1 \text{ Cp} \times \frac{10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}}}{1 \text{ Cp}} = 1,1 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \rightarrow \frac{\text{Lb}}{\text{s pie}}$$

$$1,1 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ m}}{3,281 \text{ pie}} = 7,38 \times 10^{-4} \frac{\text{Lb}}{\text{s pie}}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 998,64 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3,281 \text{ pie})^3} = 62,20 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3}$$

$$\mu_{\text{agua}} = 1,14 \times 10^{-5} \frac{\text{pie}^2}{\text{s}} \times 62,20 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3} = 7,09 \times 10^{-4} \frac{\text{Lb}}{\text{pies}}$$

Reemplazando se tiene:

$$h_i = 90 \frac{0,3456 \frac{\text{BTU}}{\text{s } ^\circ\text{F pie}}}{0,065 \text{ pie}} \left(\frac{0,94 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb } ^\circ\text{F}} * 7,09 \times 10^{-4} \frac{\text{Lb}}{\text{pies}}}{0,3456 \frac{\text{BTU}}{\text{s } ^\circ\text{F pie}}} \right)^{1/3} \left(\frac{7,09 \times 10^{-4} \frac{\text{Lb}}{\text{pies}}}{7,38 \times 10^{-4} \frac{\text{Lb}}{\text{s pie}}} \right)^{0,14}$$

$$h_i = 478,52 \times 0,12 \times 0,99$$

$$h_i = 56,85 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s } ^\circ\text{F}}$$

- **Calculo de la resistencia por convección interna ($R_{\text{conveccion interna}}$)**

$$R_{\text{conveccion interna}} = \frac{1}{h_i}$$

Dónde:

h_i = coeficiente de película ($\frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s } ^\circ\text{F}}$)

$$R_{\text{conveccion interna}} = \frac{1}{56,85 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s } ^\circ\text{F}}}$$

$$R_{\text{conveccion interna}} = 0,18 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

- **Calculo de la resistencia por conducción**

$$R_{conduccion} = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2 \pi e K_{material}}$$

Dónde:

r_e = radio externo (pie)

r_i = radio interno (pie)

e = espesor del tubo (0,00908 pie)

$K_{material}$ = conductividad del material (Aisis 304) $\left(\frac{BTU}{s \text{ } ^\circ F \text{ pie}}\right)$

$\left(29,4 \frac{BTU}{s \text{ } ^\circ F \text{ pie}}\right) \rightarrow$ tablas

$$R_{conduccion} = \frac{\ln\left(\frac{0,0415 \text{ pie}}{0,0325 \text{ pie}}\right)}{2 \pi (0,00908) \left(29,4 \frac{BTU}{s \text{ } ^\circ F \text{ pie}}\right)}$$

$$R_{conduccion} = 0,146 \frac{sft^2 \text{ } ^\circ F}{BTU}$$

- **Calculo del coeficiente pelicular por convección externa**

Calculo del número de Reynolds

$$N_r = \frac{V_{vapor} \times D_{exterior}}{\mu_{vapor}}$$

589 ml \rightarrow 100 %

512,5 ml \rightarrow x

x = 87,01 % \rightarrow OH - H₂O recuperado

$$100 \% - 87,01 \% = 12,98\% \text{ de saponina}$$

Calculamos la velocidad de vapor sabiendo que tenemos 12,98% de saponina

-A nivel industrial

$$0,066 \text{ m}^3 \rightarrow 100 \%$$

$$x \leftarrow 87,01 \%$$

$$x = 0,0574 \text{ m}^3 \rightarrow \text{volumen que recorre el vapor}$$

$$0,0574 \text{ m}^3 \times 0,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 0,034 \text{ Kg}$$

Si asumimos 900 s (15 min)

$$\dot{m}_{\text{vapor}} = \frac{0,034 \text{ Kg}}{900 \text{ s}} = 3,77 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Para obtener un caudal de vapor se usa el volumen específico de agua (90°C) = $2,3593 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$

$$Q = 3,77 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \times 2,3593 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} = 8,89 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El área que recorre el vapor en el tanque evaporador se calcula con la fórmula:

$$A_d = 2 \pi r h + 2 \pi r^2$$

Dónde:

$h = 0,30 \text{ m}$ es el 40% de factor de seguridad que recorre el vapor en el sistema de destilado.

$r =$ radio del evaporador (m)

$$A_d = 2 \pi (0,18 \text{ m}) (0,30 \text{ m}) + 2 \pi (0,18 \text{ m})^2$$

$$A_d = 0,54 \text{ m}^2$$

Área que recorre el vapor en el sistema de destilado y el tubo es:

$$A_t = A_d + A_{\text{tubo}}$$

$$A_t = 0,54 \text{ m}^2 + 1,36 \text{ m}^2$$

$$A_t = 1,9 \text{ m}^2$$

Aplicando la fórmula del caudal, podemos obtener la velocidad del vapor:

$$Q = A \times v$$

$$v_{\text{vapor}} = \frac{Q}{A}$$

$$v_{\text{vapor}} = \frac{8,89 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,9 \text{ m}^2}$$

$$v_{\text{vapor}} = 4,68 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ pie}}{0,3048 \text{ m}}$$

$$v_{\text{vapor}} = 1,54 \times 10^{-4} \frac{\text{pie}}{\text{s}}$$

μ_{vapor} = viscosidad cinemática del vapor $\left(\frac{\text{pie}^2}{\text{s}}\right)$

$$\mu_{\text{dinamica}} = 0,011929 \text{ Cp} \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} = 1,1929 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}}$$

$$1,1929 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m s}} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ m}}{3,281 \text{ pie}} = 7,99 \times 10^{-6} \frac{\text{Lb}}{\text{pies}}$$

$$\rho_{\text{vapor}}(90^\circ\text{C}) = 0,423882 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{3,281 \text{ pie}^3} = 0,026 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3}$$

$$\mu_{\text{vapor}} = 7,99 \times 10^{-6} \frac{\text{Lb}}{\text{pies}} \times \frac{1 \text{ pie}^3}{0,026 \text{ Lb}} = 3,08 \times 10^{-4} \frac{\text{pie}^2}{\text{s}}$$

Luego de obtener todos los datos se reemplaza en la fórmula para obtener el Número de Reynolds:

$$N_r = \frac{1,54 \times 10^{-4} \frac{\text{pie}}{\text{s}} \times 0,083 \text{ pie}}{3,08 \times 10^{-4} \frac{\text{pie}^2}{\text{s}}}$$

$$N_r = 0,042$$

Factor de transferencia de calor para la carcasa (JH_{carcasa})

Aplicando el mismo diagrama anterior se obtiene un JH para la carcasa = 2,2

- **Cálculo del coeficiente pelicular por convección externa (h_e)**

$$h_e = JH \frac{K_{\text{vapor}}}{\phi_i} \left(\frac{Cp_{\text{vapor}} + \mu_{\text{vapor}}}{K_{\text{vapor}}} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_{\text{vapor}}}{\mu W_{\text{vapor}}} \right)^{0,14}$$

Desprecia ↗

Dónde:

$$JH = 2,2$$

$$K_{\text{vapor}} = 0,0120 \frac{\text{BTU}}{\text{s } ^\circ\text{F pie}}$$

$$\phi_i = 0,065 \text{ pie}$$

$$Cp_{\text{vapor}} = (90^\circ\text{C} \rightarrow 194^\circ\text{F}) = 8 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb } ^\circ\text{F}}$$

$$\mu_{\text{vapor}} = \mu_{\text{vapor}} \times \rho_{\text{vapor}}$$

$$(\nu_{\text{vapor}} \times \rho_{\text{vapor}}) \left(\nu_{\text{vapor}} = 1,54 \times 10^{-4} \frac{\text{pie}}{\text{s}} \times 0,037 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3} \right)$$

$$\rho_{\text{vapor}} = 0,6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{2,2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{(3,281 \text{ pie})^3} = 0,037 \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^3}$$

↓

(90°C)

$$\mu_{\text{vapor}} = 5,69 \times 10^{-6} \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^2 \text{s}}$$

$$\mu_{\text{vapor}} = \mu_{\text{W}_{\text{papor}}}$$

$$h_e = 2,2 \frac{0,0120 \frac{\text{BTU}}{\text{S}^\circ\text{F pie}}}{0,065 \text{ pie}} \left(\frac{8 \frac{\text{BTU}}{\text{Lb}^\circ\text{F}} + 5,69 \times 10^{-6} \frac{\text{Lb}}{\text{pie}^2 \text{s}}}{0,0120 \frac{\text{BTU}}{\text{S}^\circ\text{F pie}}} \right)^{1/3}$$

$$h_e = 0406 \times 0,16$$

$$h_e = 0,065 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s}^\circ\text{F}}$$

- **Calculo de resistencia por convección externa ($R_{\text{conveccion externa}}$)**

$$R_{\text{conveccion externa}} = \frac{1}{h_e}$$

$$R_{\text{conveccion externa}} = \frac{1}{0,065}$$

$$R_{\text{conveccion externa}} = 15,39 \frac{\text{pie}^2 \text{ s}^\circ\text{F}}{\text{BTU}}$$

- **Calculo de la diferencia de T° logarítmica (ΔT_{log})**

$$\Delta T_{\text{log}} = \frac{T_{\text{sat}} - \Delta T_{\text{agua fria}}}{\ln \left(\frac{T_{\text{sat}}}{\Delta T_{\text{agua fria}}} \right)}$$

$$T_{\text{sat}} = 99,61 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{log}} = \frac{99,61 \text{ }^\circ\text{C} - (36 - 18)^\circ\text{C}}{\ln \left(\frac{99,61 \text{ }^\circ\text{C}}{(36 - 18)^\circ\text{C}} \right)}$$

$$\Delta T_{\log} = 47,70 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 117,86 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

- **Coefficiente global de transferencia de calor limpio**

$$\frac{1}{U_{\text{limpio}}} = R_{\text{conveccion interna}} + R_{\text{conduccion}} + R_{\text{conveccion externa}}$$

Dónde:

U_{limpio} = Coeficiente global de transferencia de calor limpio.

$$R_{C_i} = 0,018 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_{C_{\text{ex}}} = 15,39 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$R_c = 0,146 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$\frac{1}{U_{\text{limpio}}} = \left(0,018 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}} + 0,146 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}} + 15,39 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}} \right)$$

$$\frac{1}{U_{\text{limpio}}} = 15,55 \frac{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}{\text{BTU}}$$

$$U_{\text{limpio}} = 0,064 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s } ^{\circ}\text{F}}$$

- **Cálculo del área de transferencia de calor limpio (Atc_{limpio})**

$$Atc_{\text{limpio}} = \frac{\dot{Q}}{U_{\text{limpio}} \times \Delta T_{\log}}$$

Dónde:

\dot{Q} = Flujo de calor ($\frac{\text{BTU}}{\text{s}}$)

$$\dot{Q} = 2073,16 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \rightarrow \frac{\text{BTU}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q} = 2073,16 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \times \frac{1 \text{ BTU}}{1,055 \text{ KJ}} = 1965,08 \frac{\text{BTU}}{\text{Kg}}$$

$$1965,08 \frac{\text{BTU}}{\text{Kg}} \times 3,77 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} = 0,074 \frac{\text{BTU}}{\text{s}}$$

↓

flujo másico

Reemplazando en la fórmula:

$$At_{c_{\text{limpio}}} = \frac{0,074 \frac{\text{BTU}}{\text{s}}}{0,064 \frac{\text{BTU}}{\text{pie}^2 \text{ s } ^\circ\text{F}} \times 117,86 ^\circ\text{F}}$$

$$At_{c_{\text{limpio}}} = 9,81 \times 10^{-3} \text{pie}^2$$

- **Calculo de numero de tubos para condensador limpio ($N_{\text{tubos}_{\text{limpios}}}$)**

Longitud de los tubos del condensador de superficie diseñado se considera para 1 pie de largo, tomando en cuenta la alimentación y salida para la que se diseña.

1 pie → se considera longitud

1 → # pasos

$$N = \frac{At_{c_{\text{limpio}}} \times \# \text{ pasos}}{\pi \phi_{\text{ext}} \times L}$$

Dónde:

L = Longitud del tubo (m)

ϕ_{ext} = Diámetro externo del tubo

pasos= Numero de pasadas que dará el vapor dentro del condensador

$$N = \frac{9,81 \times 10^{-3} \text{pie}^2 \times 1}{\pi 0,083 \text{ pie} \times 2 \text{ pie}}$$

$$N = 0,02 \approx 1 \text{ tubo}$$

- **Calculo del diámetro de la carcasa ($D_{carcasa}$)**

$$(D_{carcasa}) = D_{ext} \left(\frac{N}{K_1} \right)^{1/n_1}$$

n_1 y $K_1 \rightarrow$ tablas y si se considera un arreglo cuadrado

$$n_1 = 2,207$$

$$K_1 = 0,215$$

$$D_{carcasa} = 0,083 \text{ pie} \left(\frac{1}{0,215} \right)^{1/2,207}$$

$$D_{carcasa} = 0,17 \text{ pie}$$

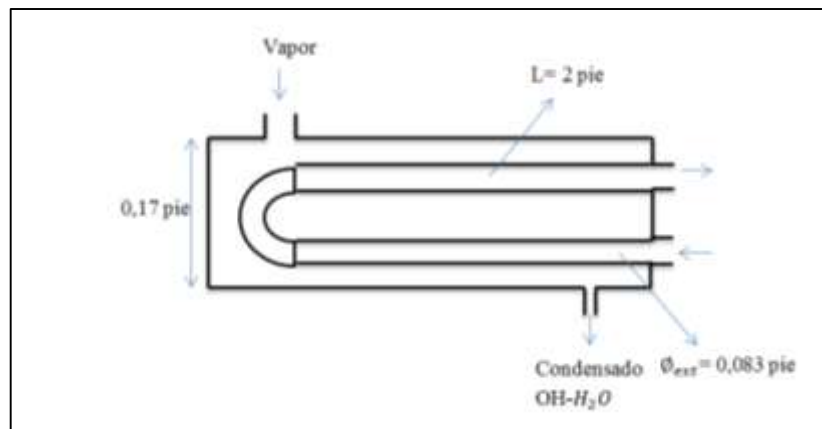


Gráfico 11-3: Esquema de condensador
Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.2.7.5. Homogeneizador

Volumen de diseño

En el homogeneizador está diseñado para el volumen de acuerdo a la cantidad de saponina obtenida desde el destilado, y tomando en cuenta la formulación del plaguicida:

Datos de formulación:

Saponina = 10,82 %

Agua = 49,18 %

Alcohol = 40 %

$$0,066 \text{ m}^3 \rightarrow 100 \%$$

$$x \leftarrow 12,98 \%$$

$$x = 8,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ volumen de saponina}$$

$$8,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow 10,82 \% \text{ saponina}$$

$$x \leftarrow 40 \% \text{ OH}$$

$$x = 0,032 \text{ m}^3 \text{ alcohol}$$

$$8,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \rightarrow 10,82 \% \text{ saponina}$$

$$x \leftarrow 49,18 \% \text{ H}_2\text{O}$$

$$x = 0,039 \text{ m}^3 \text{ agua}$$

$$\text{Volumen tanque} = V_s + V_{H_2O} + V_{OH}$$

$$\text{Volumen tanque} = 8,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3 + 0,039 \text{ m}^3 + 0,032 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen tanque} = 0,0796 \text{ m}^3 \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} = 79,6 \text{ L}$$

Tomando un factor de seguridad (0,20)

$$V_{fs} = V \times 0,20$$

$$V_{fs} = 79,6 \text{ L} \times 0,20$$

$$V_{fs} = 15,92 \text{ L}$$

Volumen total

$$V_t = V_{fs} + V$$

$$V_t = (15,92 + 79,6) \text{ L}$$

$$V_t = 95,52 \text{ L} \rightarrow 0,0955 \text{ m}^3$$

Radio del homogeneizador

$$\emptyset = 0,50 \text{ m} \rightarrow \text{asumido}$$

$$r = \frac{\emptyset}{2}$$

$$r = \frac{0,50 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,25 \text{ m}$$

Altura del homogeneizador

$$h = \frac{V}{\pi r^2}$$

$$h = \frac{0,0955 \text{ m}^3}{\pi (0,25 \text{ m})^2}$$

$$h = 0,49 \text{ m}$$

Tomando 20 % como factor de seguridad.

$$x = h \times 0,20$$

$$x = 0,49 \times 0,20$$

$$x = 0,098 \text{ m}$$

$$h_t = h + x$$

$$h_t = (0,49 + 0,098) \text{ m}$$

$$h_t = 0,59 \text{ m}$$

Diseño del sistema de agitación

- **Longitud del brazo**

$$L_{\text{brazo}} = \frac{5}{8} \times \emptyset$$

$$L_{\text{brazo}} = \frac{5}{8} \times 0,50 \text{ m}$$

$$L_{\text{brazo}} = 0,31 \text{ m}$$

- **Espesor del agitador**

$$E_r = \frac{1}{10} \times L_{\text{brazo}}$$

$$E_r = \frac{1}{10} \times 0,31 \text{ m}$$

$$E_r = 0,031 \text{ m}$$

- **Diámetro del rodete**

$$\emptyset_r = \frac{3}{4} \times \emptyset$$

$$\emptyset_r = \frac{3}{4} \times 0,50 \text{ m}$$

$$\emptyset_r = 0,375 \text{ m}$$

- **Diseño entre el fondo del tanque y el rodete**

$$x = h_t - L_{\text{brazo}}$$

$$x = 0,49 - 0,31$$

$$x = 0,18 \text{ m}$$

- **Altura de la paleta**

$$A_p = \frac{1}{3} \times L_{\text{brazo}}$$

$$A_p = \frac{1}{3} \times 0,31 \text{ m}$$

$$A_p = 0,062 \text{ m}$$

Calculo de la potencia

- **Número de Reynolds**

El número de revoluciones por segundo (N) se debe obtener experimentalmente, pero como la homogeneización se realizó de manera manual, ya que el equipo existente en el laboratorio de Procesos Industriales es de una capacidad mayor para la formulación realizada a escala de laboratorio, por lo tanto se obtuvo un 0,8 rps, de fuentes bibliográficas que trabajen con fluidos similares.

$$NR_e = \frac{\phi^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

Dónde:

ϕ^2 = Diámetro del tanque (m)

ρ = Densidad de la saponina ($\frac{Kg}{m^3}$)

μ = Viscosidad de la solución

$$\rho_{saponina} = 740 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\mu_{solucion} = 0,015 \text{ Pa s}$$

$$N = 0,8 \text{ rps}$$

Reemplazando se tiene:

$$NR_e = \frac{(0,375 \text{ m})^2 \times 0,8 \text{ rps} \times 740 \frac{Kg}{m^3}}{0,015 \text{ Pa s}}$$

$$NR_e = 5550 \rightarrow 5,5 \times 10^3$$

Con el número de Reynolds en el diagrama se obtiene N_{po} para calcular la potencia del motor.

$$N_{po} = 2,2$$

$$P = \frac{N_{po}}{gc} \times \rho \times N^3 \times \theta_r^5$$

Dónde:

gc= factor gravitacional de conservación = 9.8 kg m / kg f s²

→ 1 Kg / Ns² → porque 1Kg fuerza es igual a 9.8 N

Reemplazando se tiene:

$$P = \frac{2,2}{1 \frac{Kg f}{s^2}} \times 740 \frac{Kg}{m^3} \times (0,8)^3 \times (0,375 m)^5$$

$$P = 6,18 w \times \frac{1 hp}{746 w} = 0,01hp$$

Motor con potencia de ¼ hp

3.2.8. Resultados

3.2.8.1. Resultados de la validación del producto

Formulación N°1

La prueba de validación de la dosis letal media (DL₅₀) se realizó con las dos formulaciones realizadas anteriormente. La primera formulación con 20 g de saponina sirvió como referencia para realizar la formulación valida que será utilizada para el producto final.

Al realizar la prueba de la dosis letal media (DL₅₀) en la formulación N°1, la misma que está compuesta por el 5,40% de saponina, 60 % de alcohol y 34,6% de agua elaborado en 500 ml, en las dos sepas (cuerpo oscuro-ojos rojos y cuerpo oscuro-ojos blancos) de moscos de frutas

Drosophila melanogaster consideradas para la validación se obtuvo resultados muy evidentes en torno a la muerte de los insectos, los mismos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20-3: Resultados de validación de formulación N°1

SEPA	ANIMALES VIVOS	ANIMALES MUERTOS
Cuerpo oscuro-ojos rojos	10	2
Cuerpo oscuro-ojos blancos	10	3

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Como observamos los resultados de la prueba realizada con la primera formulación, de 10 animales vivos, se murieron en un promedio de 2,5 animales lo que indica que los animales que reaccionaron a la toxicidad del plaguicida formulado.

Formulación N°2

Por otro lado, al realizar la prueba de la dosis letal en la formulación N°2 se mostraron resultados totalmente validos con respecto a la prueba de dosis letal media en la que se basa este proyecto:

Tabla 21-3: Resultados de validación de formulación N°2

SEPA	ANIMALES VIVOS	ANIMALES MUERTOS
Cuerpo oscuro-ojos rojos	10	5
Cuerpo oscuro-ojos blancos	10	5

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Al realizar la segunda prueba observamos que, de 10 animales vivos, se murieron exactamente 5 animales de cada sepa lo que indica que los animales que reaccionaron a la toxicidad del plaguicida formulado es el 50 % que indica la norma de la prueba de la dosis letal (DL₅₀).

Al comprobarse que la segunda formulación establecida es válida con respecto a la DL₅₀ se considera la misma en la elaboración del plaguicida natural a partir de saponina que ha sido extraída del mojuelo resultante de la escarificación de la quinua.

3.2.7.2. Propuesta de diseño de equipos

Los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros de diseño de los equipos que intervienen en el proceso de elaboración del plaguicida orgánico a partir de la saponina que se encuentra en el mojuelo de la quinua se muestran en las siguientes tablas, mismos que han sido calculados en

función de la capacidad de residuos (mojuelo) generados por la empresa COPROBICH y el área predispuesta para la implementación en un futuro del proceso.

Las medidas de las bandejas se obtienen relacionando los datos obtenidos desde el secador de bandejas perteneciente al Laboratorio de Procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, en donde se realizó la experimentación.

Tabla 22-3: Dimensionamiento del secador de bandejas

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
MEDIDAS DE LAS BANDEJAS		
	Valor	Unidades
Numero de bandejas	7	-
Longitud	1	M
Ancho	0,48	M
Espesor	0,06	M
Espacio entre bandejas	0,12	M
Área libre de cada bandejas	0,72	m ²

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018

Para la operación de extracción solido-liquido (maceración) se diseñó un tanque con la base cónica para que exista mayor contacto entre las fases y facilitar el proceso de transporte desde este punto a la operación siguiente.

Tabla 23-3: Dimensionamiento del tanque macerador

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
MEDIDAS DEL CILINDRO		
	Valor	Unidades
Diámetro	0.52	M
Atura	0.636	M
MEDIDAS DEL CONO		
Diámetro	0,28	M
Altura	1.104	M
MEDIDAS TOTALES DEL MACERADOR		
Volumen total	130	L
Altura total	1,74	M

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018

Los resultados para el filtro al vacío diseñado en base a los datos resultantes de la simulación a escala de laboratorio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 24-3: Dimensionamiento del filtro al vacío

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
MEDIDAS DEL FILTRO		
	Valor	Unidades
Diámetro del área filtrante	0,19	m ²
Altura del filtro	0,94	M
Diámetro de cono	0,11	M
Altura de cono	0,37	M
SISTEMA DE RECOLECCION DE LIQUIDO FILTRADO		
Volumen del tanque	76	L
Diámetro del tanque	0.19	M
Altura del tanque	2,814	M
SISTEMA DE FILTRACION		
Tiempo de filtrado	1,25	H
Luz de malla	38	µm
Potencia de bomba	14	Hp

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018

Al igual que los demás equipos de este proceso industrial, el sistema de destilado, se ha diseñado en base a la parte experimental de este proyecto que se realizó a escala de laboratorio. Los datos de la propuesta se muestran a continuación:

Tabla 25-3: Dimensionamiento del sistema de destilado

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
MEDIDAS DEL EVAPORADOR		
	Valor	Unidades
Diámetro	0,36	M
Altura	0,918	M
MEDIDAS DEL SERPENTÍN		
Altura	0,22	M
Diámetro externo	0,0127	M
Diámetro interno	0,0125	M
Longitud	5,45	M
Numero de vueltas	5	-
MEDIDAS DEL CONDENSADOR		
Numero de tubos	1	-
Longitud del tubo	1	Pie
Diámetro externo del tubo	0,083	Pie
Diámetro de la carcasa	0,17	Pie

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Para finalizar el proceso de obtención del plaguicida natural se diseñó un homogeneizador en el que los componentes de la formulación se homogeneizan para envasar el producto final, los resultados para éste se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 26-3: Dimensionamiento del homogeneizador

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
TANQUE HOMOGENEIZADOR		
	Valor	Unidades
Volumen	95,52	L
Diámetro	0.50	M
Altura	0.59	M
SISTEMA DE AGITACION		
Longitud del brazo	0,31	M
Espesor del agitador	0,031	M
Altura de la paleta	0,062	M
Potencia del agitador	0,01≈1/4	Hp

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.2.9. Proceso de producción

El proceso diseñado para la obtención del plaguicida natural a partir de la saponina extraída del mojuelo de quinua será puesto en marcha por la empresa COPROBICH, ubicada en la Provincia de Chimborazo, Cantón Colta, el mismo que no cuenta con los equipos necesarios y la infraestructura de la planta se encuentra sin los acabados adecuados para el proceso.

El proceso de producción con el que se trabajará en la planta predispuesta para este proceso será por lotes y de manera diaria, a medida que los residuos de la quinua se obtienen en la escarificación de este grano.

3.2.9.1. Materia prima e insumos

Tomando en cuenta la capacidad de la planta y la cantidad de materia prima obtenida diariamente se relaciona los datos de la simulación a escala de laboratorio con las necesidades a nivel industrial, para lo cual se necesitará lo siguiente:

Tabla 27-3: Materia Prima

MATERIA PRIMA	CANTIDAD
Mojuelo	31,94 Kg

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018

Para el proceso de extracción de la saponina y para la formulación del plaguicida orgánico se necesitará lo mismo por esta razón, adicional a la materia prima que es el mojuelo, se necesita una disolución alcohol-agua en proporción 1:1.

Tabla 28-3: Insumos

INSUMOS	CANTIDAD
Disolución Alcohol-Agua 1:1	0,113 m ³

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018

3.2.9.3. Diagrama del proceso

El diagrama de procesos que se dará en la producción del producto por cada lote se muestra a continuación:

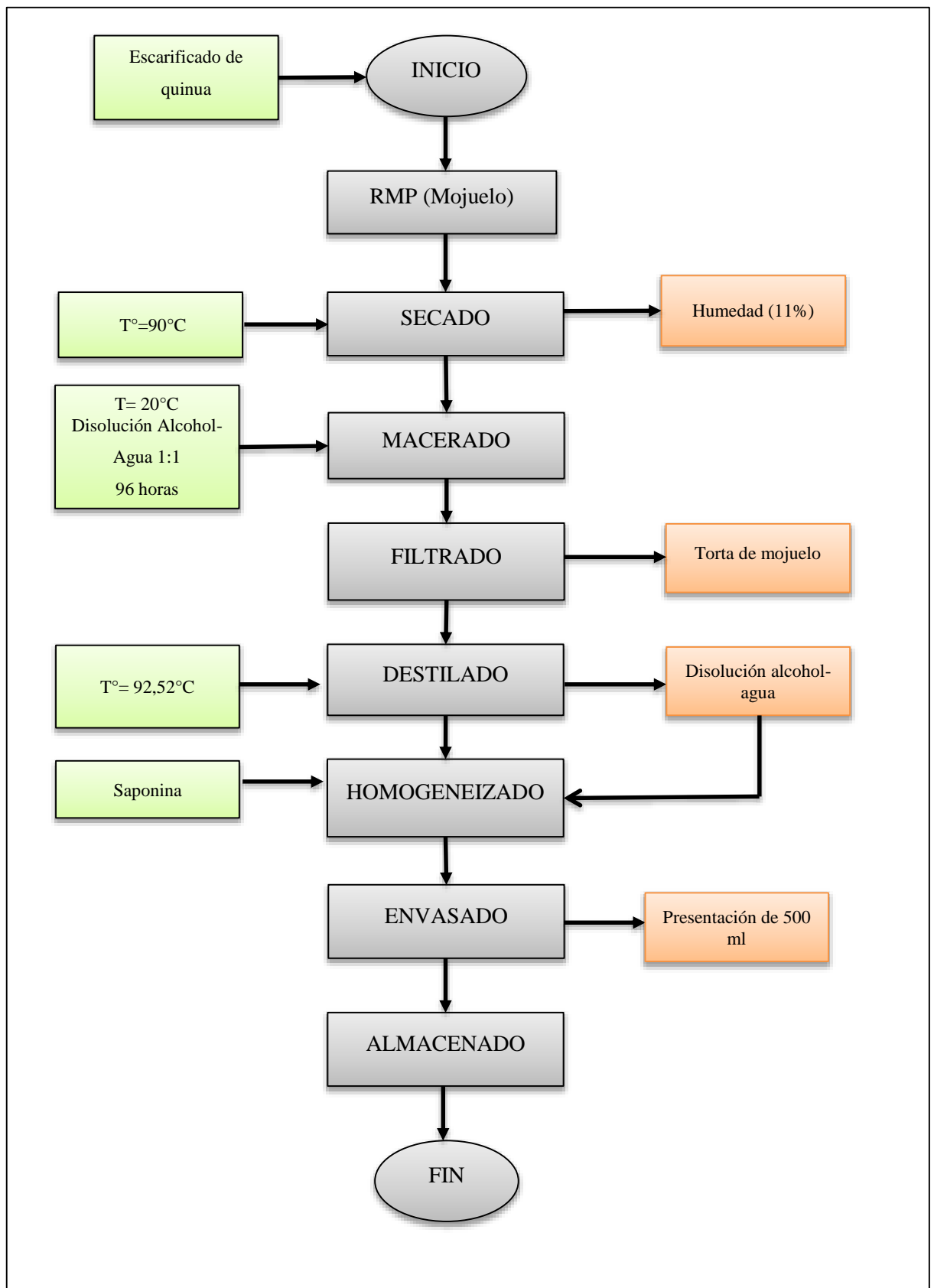


Gráfico 12-3: Diagrama de proceso
 Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.2.9.4. Descripción del proceso de elaboración de plaguicida orgánico a partir de saponina de quinua

Para obtener $0,0794 \text{ m}^3$ (79,4 L) = 79400 ml de plaguicida por cada lote de 31,94 Kg materia prima que ingresa al proceso de producción, se pueden obtener 158 Frascos de plaguicida en presentación de 500 ml, proceso que cumple con las siguientes operaciones unitarias:

- **Recepción de materia prima:** Para empezar el proceso de elaboración del plaguicida se recogen los residuos (mojuelo) del tratamiento previo que se le da a la quinua que ingresa a la empresa COPROBICH, el mismo que incluyen 5 sacos de mojuelo de un peso promedio de 31,94 Kg cada uno.
- **Secado:** Luego de receiptar la materia prima se procede a eliminar la humedad presente en el mojuelo, para optimizar el proceso de extracción, misma que se da en un secador de 7 bandejas. La operación de secado se da a una temperatura de $90 \text{ }^\circ\text{C}$, temperatura óptima para el proceso de eliminación de agua sin afectar su composición.
- **Macerado:** La operación de extracción solido-líquida que se incluye en el proceso, es para la extracción de la saponina contenida en el mojuelo de la quinua. La saponina es el principio activo del plaguicida orgánico y se extrae más eficientemente con una disolución alcohol-agua en una relación 1:1 en un tiempo de 96 horas.
- **Filtrado:** Obtenido el extracto etanólico con la saponina en la operación de macerado, se procede a filtrar la mezcla, para separar la torta de la parte líquida. La filtración se la realiza al vacío ya que la torta producida es incompresible y por ende el arrastre del agua por los canales que se forman en la torta es óptima.
- **Destilado:** El líquido filtrado anteriormente contiene una mezcla etanol-agua y saponina, por lo tanto, es necesario separar los componentes tomando como referencia sus puntos de ebullición, para su utilización más adelante. Los componentes que ebullen primero para ser condensados y posteriormente separados son el alcohol con un punto de ebullición de 78°C y después el agua con $92,5^\circ\text{C}$, quedando la saponina en el evaporador.
- **Homogeneizado:** La saponina obtenida en el destilado se traslada inmediatamente al homogeneizador donde se integran la cantidad de agua y alcohol necesario para la formulación del plaguicida orgánico. Gracias a este equipo la integración de todos los componentes son adecuadas y el producto final sea de calidad.

- **Envasado:** El plaguicida obtenido se envasará en presentaciones de 500 ml, ya que comercialmente existen plaguicidas orgánicos y sintéticos que llevan esa presentación. Del volumen inicial la cantidad de envases de plaguicida para esta presentación se obtienen 158 unidades.
- **Almacenado:** El almacenamiento para este producto se ha previsto de un almacenamiento a temperatura ambiente.

3.2.9.5. *Distribución y diseño de la planta*

Los equipos diseñados para la obtención del producto están en base a una área de superficie de 68,41 m² (5,97 m x 11,46 m). Esta superficie está predestinada netamente para el área de recepción de materia prima, área de producción y área de envasado y etiquetado, ya que la empresa en sus instalaciones actuales ya cuenta con las demás áreas necesarias en una planta, como el área de descanso, oficinas de control y administración y bodegas. Las áreas que incluyen el diseño de la planta se describen a continuación:

- **Área de recepción de materia prima:** Esta área se dispone para tener el espacio necesario para receptor y almacenar si fuese necesario los sacos de mojuelo que ingresan a la operación de obtención del plaguicida sin afectar el resto de áreas predispuestas. El almacenamiento se realizará a temperatura ambiente.
- **Área de producción:** El área de producción incluye todo el proceso de transformación de la materia prima en el producto final. El secado, el macerado, filtrado, destilado y homogeneizado son las operaciones que incluyen el proceso.
- **Área de envasado y etiquetado:** Los envases a utilizarse son de capacidad de 500 ml, pues es el volumen de plaguicida que se considera para la comercialización. El envasado se realizará de manera automática dosificando la cantidad adecuada y el etiquetado se realizará de manera manual con ayuda de los operarios de la planta.
- **Almacenamiento:** El área de almacenaje es importante incluir en esta área ya que el almacenamiento de un compuesto ligeramente tóxico no se puede hacer con productos comestibles que son los principales productos de esta empresa. El almacenamiento se realizará igualmente a temperatura ambiente.

3.2.9.6. Capacidad de producción

A continuación, se muestra la capacidad de producción de la planta de obtención de plaguicida orgánico a partir de la saponina de la quinua, tomando en cuenta que a la semana se pueden realizar 1 lote de 31,94 Kg de mojuelo ya que la maceración dura 96 horas (4 días):

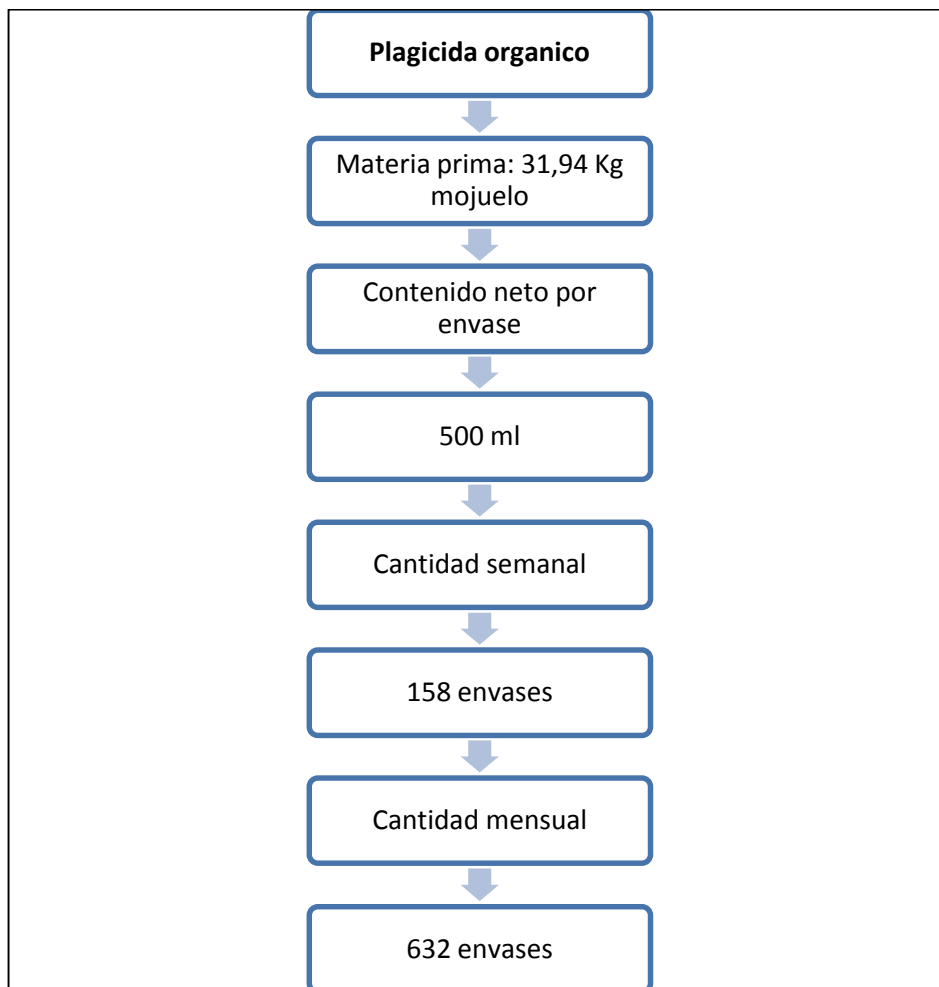


Gráfico 13-3: Capacidad de producción de planta

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.3 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

3.3.1. Requerimientos de Equipos

Para la implementación de la planta para la obtención del plaguicida orgánico a partir de la saponina de quinua en la empresa COPROBICH se necesita incluir varios equipos necesarios y complementos para la puesta en marcha del proceso. Éstos se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 29-3: Requerimientos para la implementación del proceso de elaboración de plaguicida

SISTEMA / COMPONENTE	TECNOLOGÍA/ EQUIPO/MAQUINARIA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
Secado	Secador de bandejas	El secador de bandejas es el equipo encargado de eliminar la humedad existente en el mojuelo para favorecer la obtención de saponina.	Acero Inoxidable AISI 304
Macerado	Macerador cónico	El Macerador es el equipo más importante en el proceso ya que gracias a este paso se puede extraer la saponina que es el principio activo del plaguicida.	Acero Inoxidable AISI 304
Filtrado	Consta de un filtro similar al embudo buchner y un recipiente para receptor el líquido filtrado	En esta operación se separa el extracto etanolico con la saponina de la torta, permitiendo su separación con los pasos siguientes.	Acero Inoxidable AISI 304
Destilado	Consta de un tanque condicionado con un serpentín (evaporador) y un condensador de un solo paso	El líquido obtenido en el filtrado pasa al evaporador, que con ayuda de un serpentín se evapora la fracción de agua-alcohol, la misma que cambia de fase en un condensador con el que consta este sistema.	Acero Inoxidable AISI 304
Homogeneizado	Homogeneizador	El homogeneizador es el equipo que se encarga mezclar y homogeneizar todos los componentes que constan la formulación del plaguicida, generando ya el producto terminado.	Acero Inoxidable AISI 304
Envasado	Envasadora automática	La envasadora es la encargada de dosificar automáticamente los 500 ml de plaguicida, pues es el peso del producto neto para el que se ha diseñado el proceso.	Acero Inoxidable AISI 304
Pesaje materia prima	Balanza mecánica	La balanza se utiliza para realizar el pesado de la materia prima antes de ingresar al proceso de producción sin sobrepasar los límites de capacidad para los que están diseñados.	-----

Transporte de agua y vapor	Tuberías PVC y cobre y bombas de presión	El transporte de agua se realizará por medio de tuberías PVC y el vapor por medio de tubería especial resistente al calor.	Tuberías Poli Cloruro de Vinilo y cobre
-----------------------------------	--	--	---

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.3.2. Requerimientos para el funcionamiento de la planta

Tabla 30-3: Requerimientos para el funcionamiento de la planta

NECESIDAD	MATERIAL
Materia prima	Mojuelo de quinua
Insumos	Agua, alcohol
Otros	Envases, etiquetas

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.4 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

3.4.1. Presupuesto

En la siguiente tabla se muestra los costos aproximados de la construcción de equipos y costos de acabados de la planta obtenido de investigación de mercado previa:

Tabla 31-3: Costos para la implementación del proceso de obtención de plaguicida orgánico

COSTOS PARA LA IMPLEMENTACION DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PLAGUICIDA ORGÁNICO			
MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
EQUIPOS Y MAQUINARIA			
Secador de bandejas	1	\$3000	\$3000
Tanque macerador	1	\$700	\$700
Filtro	1	\$850	\$850
Contenedor de líquido filtrado	1	\$500	\$500
Homogeneizador	1	\$1200	\$1200
Evaporador	1	\$1200	\$1200
Condensador	1	\$670	\$670
Envasadora	1	\$1800	\$1800
Bomba de transporte de agua	2	\$60	\$120
Caldera	1	\$3000	\$3000
Varios	1	\$1500	\$1500
Subtotal			\$14 540

ADECUACIÓN DE PLANTA			
Implementos de acabados	1	\$5000	\$5000
Mano de obra en adecuación e instalaciones	1	\$3000	\$3000
Transporte de agua y vapor (tuberías y accesorios)	1	\$670	\$670
Subtotal			\$8 670
TOTAL			\$23 210

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

El costo de la materia prima se obtiene a partir de la capacidad de producción mensual, sabiendo que se puede producir 1 lote de 31.94 Kg por cada semana, es decir que en un mes se necesita 127.76 Kg de mojuelo para la producción mensual.

Tabla 32-3: Costos de materia prima e insumos

COSTOS DE MATERIA PRIMA E INSUMOS				
MATERIA PRIMA	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Mojuelo	127.76	Kg	0\$	\$0
Subtotal				\$0
INSUMOS	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Alcohol	15	Gal	\$41.69	\$625.35
Agua	15	Gal	\$2.60	\$39
Subtotal				\$664.35
TOTAL				\$664.35

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Aunque la empresa ya cuenta con personal encargado de la operación del resto de los procesos de la planta, es necesario la contratación de algún operario que se encargue de la supervisión y manejo de cada operación correspondiente al proceso de obtención del plaguicida orgánico a base de saponina de la quinua. Es necesario contar con un técnico encargado de la organización de un operario que maneje las fases del mismo.

Tabla 33-3: Costos de mano de obra

COSTOS DE MANO DE OBRA			
PERSONAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Operarios	1	\$380	\$380
Técnicos	1	\$600	\$600
Subtotal			\$980
TOTAL			\$980

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Al contar con más de 1 bomba de transporte de agua y una bomba de vacío, además del secador de bandejas es necesario contar un presupuesto para el costo de energía eléctrica y otros servicios básicos.

Tabla 34-3: Costos de requerimientos energéticos

COSTOS DE REQUERIMIENTOS ENERGETICOS			
DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Energía	Kw/mes	0.02 Kwh	\$700
Agua potable	m ³ /mes	0.35 m ³	\$100
Subtotal			\$800
TOTAL			\$800

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Realizando la suma de todos los costos de implementación del proceso diseñado en la empresa COPROBICH nos da una inversión total para empezar es de **\$25 654.35** tal como se muestra:

Tabla 35-3: Costos totales de implementación del proceso

COSTOS TOTALES DE IMPLEMENTACION	
DETALLE	COSTO TOTAL
Costos de implementación	\$23 210
Costos de materia prima e insumos	\$664.35
Costos de mano de obra	\$980
Requerimientos energéticos	\$800
TOTAL	\$25 654.35

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

Para producir mensualmente los 632 envases de producto de 500 ml cada uno se necesitan un total de \$2444.35. El costo unitario para producir cada envase es de \$3,87, si se vende cada envase a \$6.50 en comparación a otros plaguicidas comerciales se produciría mensualmente \$4108, lo que genera una ganancia de \$1663.65 mensual.

Tabla 36-3: Costos de producción

Cantidad de plaguicida (ml)	Volumen neto plaguicida (ml)	Cantidad de producción mensual	Costo unitario por envase(\$)	Total de ingresos (\$)
316000	500	632 envases	\$6,50	\$4108
INGRESOS				
Semanal		Mensual		Anual
\$1 027		\$4 108		\$49 296
EGRESOS				
Semanal		Mensual		Anual
\$611.09		\$2 444.35		\$29 332.2
TOTAL GANANCIAS				
Semanal		Mensual		Anual
\$415.91		\$1 663.65		\$19 963.8

Realizado por: CASTAÑEDA Victoria, 2018.

3.4.2. Análisis costo-beneficio

La planta de elaboración de plaguicida orgánico a partir de saponina de la quinua trabaja de lunes a viernes durante todo el mes produciendo la cantidad de 632 envases de 500 ml cada uno, generará una ganancia anual de \$19 963.8. Si el costo de implementación del proceso en la empresa COPROBICH tomando en cuenta todos los factores anteriormente mencionados alcanza los \$25 654.35, y generando una ganancia anual de \$19 963.8, en aproximadamente 2 años se puede recuperar la inversión, y a partir de ahí generar ganancias líquidas.

3.5 Cronograma de ejecución del proyecto.

ACTIVIDAD	TIEMPO																												
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes								
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4					
Revisión bibliográfica																													
Elaboración anteproyecto																													
Presentación y aprobación anteproyecto																													
Establecer el procedimiento, las operaciones, y equipos para el proceso de obtención																													
Realizar el proceso de obtención del plaguicida orgánico a base de saponina de quinua a nivel de laboratorio																													
Realizar los cálculos ingenieriles para el dimensionamiento de los equipos del proceso																													
Validar el producto obtenido mediante la prueba de dosis letal media (DL ₅₀)																													
Elaboración de borrador de tesis																													
Corrección borrador de tesis																													
Tipiado del trabajo final																													
Empastado y presentación del trabajo final																													
Defensa del trabajo																													

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para empezar la elaboración de este proyecto se realizó la experimentación a nivel de laboratorio para la obtención de la saponina contenida en los residuos (mojuelo) del tratamiento de la quinua proveniente de la empresa COPROBICH ubicada en el Cantón Colta de la provincia de Chimborazo. La extracción de saponina, que es el principio activo del plaguicida por su acción tóxica, fue la base para el diseño del proceso industrial, pues al no existir gran cantidad de información concreta sobre la mejor forma de extracción de la misma, se realizaron varias pruebas basándose en fuentes bibliográficas confiables. El proceso fue llevado desde la recepción de la materia prima, que es el mojuelo, hasta la formulación del plaguicida, realizando antes una caracterización de la materia prima que reveló que la cantidad de humedad del mojuelo está entre el 9-12% aproximadamente.

Para empezar la simulación a escala de laboratorio se empieza con la recepción de la materia prima que se va a utilizar en cada una de las pruebas, para lo cual se realiza un muestreo simple del mojuelo obtenido por la empresa, del cual se utilizan 850 g para cada una de las pruebas a realizarse. El proceso a seguirse incluyen las operaciones de secado, macerado, filtrado, destilado y homogeneizado. Se realizó varias experimentaciones para concluir el método o proceso más eficiente y así obtener una cantidad de saponina considerable para las formulaciones, siendo una de las variantes del proceso el secado de la muestra antes de la maceración. Pues al realizarse las pruebas con la materia prima omitiendo la operación del secado, la extracción sólido-líquido con etanol o una mezcla agua-etanol en proporción 1:1, genera la proliferación de microorganismos y por ende la mezcla se malogra.

Luego se probó sometiendo a la materia prima a una operación de secado en un secador de bandejas con una temperatura de 90° C y al realizar la extracción con la disolución etanol-agua en proporción 1:1 durante 96 horas, los resultados fueron favorables al obtener la mayor cantidad de saponina que con respecto a los otros ensayos realizados con la materia prima húmeda y con la utilización de otros disolventes. Obtenido el extracto etanólico luego de la maceración se separó la disolución de la saponina aplicando una destilación simple conociendo que los puntos de ebullición de la mezcla no supera a los 93°C.

Al definir el método más adecuado para la obtención de la saponina se procedió a realizar la primera formulación que sirvió de base para la formulación correcta validada a la prueba de dosis letal media, aplicada a dos cepas diferentes de moscas adultas *Drosophila melanogaster*. La

primera formulación se realizó con el 5,40% de saponina, 60 % de alcohol y 34,6% de agua y al ponerse a prueba con la DL_{50} revelo que la acción toxicológica es del 20-30%, lo que indica que se debe doblar la cantidad de saponina para cumplir con dicha validación, pues se necesita la muerte del 50 % de los animales puestos a prueba. Tomando como referencia los resultados de la primera formulación se realizaron una nueva con el doble de saponina y bajando los niveles de alcohol para disimular el olor característico del mismo. Esta nueva formulación lleva 10,82% de saponina, 40% de alcohol y 49,18% de agua, la misma que puesta a prueba con la DL_{50} , se obtuvo la muerte del 50% de los animales puestos a prueba, cumpliendo con la validación de este proyecto.

Al finalizar la experimentación a escala de laboratorio y definir el proceso acorde a la elaboración del plaguicida orgánico a base de saponina de la quinua, se procede a realizar los cálculos ingenieriles para el diseño a escala industrial de cada uno de los equipos que interviene en el mismo. El diseño de los equipos se realizó en base a la parte experimental de este proyecto, a la capacidad de producción, y las facilidades con las que cuenta la empresa COPROBICH para la implementación de este proceso, pues el área predestinada para este fin es de 68,41 m², por lo tanto, la capacidad de los equipos está hecho en base al peso promedio (31,94 Kg) de los 5 sacos que se obtienen de mojuelo.

El secador diseñado para la empresa cuenta con 7 bandejas cada una de 1 m de longitud y 0.48 m de ancho en donde se puede secar la cantidad de mojuelo considerada. Luego del secado se necesita un tanque macerador que tiene una capacidad de 130 L que contendrá el mojuelo y la disolución de agua-alcohol en proporción 1:1 para la extracción de la saponina, mezcla que posteriormente será filtrada al vacío con ayuda de un filtro de 32 μ m de luz de malla y una bomba de vacío de 14 hP de potencia. El proceso de filtración al vacío se trabajará en lotes de 5 cargas para facilitar la operación evitando pérdidas de extracto etanólico y sobrecargas. Y el mismo que cuenta con un recipiente de recepción del líquido durante la operación.

La operación siguiente incluye la separación de la saponina extraída y la disolución utilizada en la extracción, la misma que se realiza por medio de un sistema de destilado que incluyen un evaporador de 0,36 m de diámetro y 0,918 m de altura que consta de un serpentín encargado de la ebullición de la solución. El vapor que sale de la evaporación pasa por un tubo de longitud de 0.60 m que lleva al condensador de un solo paso y con un tubo, el encargado de condensar el vapor y recuperar la disolución utilizada en la maceración.

Finalmente se ha dimensionado un homogeneizador con capacidad para realizar la mezcla y homogeneización de los componentes de la formulación validada anteriormente a escala industrial, el mismo que tiene un volumen de 95.52 L.

El material considerado para la construcción de cada equipo es de hacer inoxidable, pues a diferencia de otros materiales posee propiedades adecuadas para estar en contacto a líquidos corrosivos como el agua y alcohol, además su duración es mayor y es más económico.

Ya realizado el diseño de los equipos que interviene en el proceso de obtención del plaguicida se realizó una cotización de cada uno en el mercado, tomado en cuenta dimensiones, componentes y características, para elaborar el presupuesto de costos correspondiente a la implementación del proceso en la empresa COPROBICH, la misma que asciende a los \$25 654.35, tomando en cuenta los equipos, maquinaria, mano de obra, adecuaciones de planta y costos de materia prima y recursos energéticos.

Para la comercialización se propone una presentación de envases con capacidad de 500 ml cada uno, el mismo que cuesta producir \$3,87, si se lo comercializa a \$6,50, tomando en cuenta costos de plaguicidas en el mercado, la ganancia anual para la empresa será de \$19 963.8. Esta ganancia generada por año y considerando el costo de implementación del proyecto en la empresa, se puede recuperar la inversión en aproximadamente 2 años, lo que demuestra que la rentabilidad del proceso es totalmente positiva.

CONCLUSIONES

- La caracterización físico-química del mojuelo como materia prima en la obtención de un plaguicida orgánico reveló que la muestra analizada posee una humedad que varía entre el 9 y 12%, la misma que influye de manera importante en la extracción sólido-líquido que se realiza para obtener la saponina, que es el principio activo del plaguicida formulado, pues al tener humedad no se extrae favorablemente la saponina y por el contrario se malogra la mezcla en poco tiempo.
- A escala industrial como a escala de laboratorio, las variables que se deben tomar en cuenta es la temperatura de secado del mojuelo para evitar la alteración del mismo antes de la extracción de la saponina, también el tiempo y temperatura de maceración, pues si se deja pasar de las 96 horas de extracción (4días), la disolución se puede sobresaturar y afectar el rendimiento de extracción. Por último, la temperatura de la destilación influye en la separación de la saponina de la disolución ya que la temperatura adecuada para esta operación es 93°C máximo, tomando en cuenta la temperatura de ebullición del agua en la sierra.
- La obtención del plaguicida orgánico a base de saponina de la quinua debe seguir las operaciones adecuadas que incluyen el secado de la materia prima, el macerado con una disolución agua-etanol en proporción 1:1, la separación de la mezcla por medio de un filtrado al vacío, una destilación simple para separar la saponina de la mezcla y por ultimo una homogeneización de la saponina con todos los componentes de la formulación de plaguicida.
- La validación del proceso diseñado se realizó mediante la determinación de la dosis letal media (DL₅₀), misma que especifica que el plaguicida debe provocar la muerte del 50% de los animales puestos a prueba. En este caso se realizó la validación con dos sepas diferentes de moscas adultas *Drosophila melanogaste* (cuerpo oscuro-ojos rojos y cuerpo oscuro-ojos blancos), en la que, al atomizar de una distancia prudente con la formulación final del plaguicida, murieron 5 de 10 animales puestos a prueba, lo que indica que el producto obtenido cumple con la prueba de la dosis letal media (DL₅₀), en la que se basa el proyecto.
- El proceso diseñado para la obtención del plaguicida orgánico a partir de la saponina de la quinua, a diferencia de otros procesos para el mismo fin, la eficiencia extractiva en la operación de maceración es mayor, además el disolvente etanol-agua es recuperado casi en

su totalidad y el mismo es utilizado para la formulación del plaguicida. Con relación a la factibilidad económica, si producir 7584 envases de 500 ml cada uno anualmente, los mismos que si se comercializaran a \$6,50 cada uno, se generará una ganancia anual de \$19 963.8, por lo que se recuperaría la inversión de \$25 654.35 en aproximadamente 2 años, demostrando ser un proyecto totalmente factible en cuestión económica.

RECOMENDACIONES

- La operación de secado no debe ser mayor a 90°C pues si se aumenta se puede causar una alteración en la materia prima o en la saponina que la contiene.
- Es recomendable que la operación de extracción solido-liquido no sea más de las 96 horas establecidas ya que el disolvente puede sobresaturarse y afectar el rendimiento en el proceso de extracción de saponina.
- Debe existir por lo menos 1 operario y 1 técnico responsables de la operación y de la supervisión del proceso respectivamente.
- Realizar replicas validando el producto en otro tipo de plagas.

BIBLIOGRAFIA

Aguayo Gonzales, F., Soltero Sanchez, V. *Metodología del diseño industrial*. Madrid. RA-MA, 2003.

Armijos, M., *Química General*. Ingeniería Química Retrieved from https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/12413/1/20101SICQ000188_1.PDF

Betancourt, F. *Transferencia de calor condensador*. Retrieved from https://www.academia.edu/5243686/Tranferencia_de_calor_condensador

Brown, G.G. *Operaciones básicas de la Ingeniería Química*. Barcelona. Marín S.A. Ed. 1era, 1955.

Calero, R. *Fundamentos de Mecanismos y Máquinas para ingenieros*, Madrid 1999.

Camez, V. *Balance de Masa y Energía en Un Evaporador de Simple Efecto*. Scribd, 2018. From <https://es.scribd.com/doc/93609075/Balance-de-Masa-y-Energia-en-Un-Evaporador-de-Simple>.

Carballo, J., & Locin, M. *Técnica de la Ingeniería Alimentaria*. Madrid-España. Editorial Dossat., 1965 pp.150-170.

Elisaferioli. *Serpentines de acero inoxidable AISI 304 y AISI 316L*. Retrieved from <http://www.far-italy.com/wp-content/uploads/2014/07/Serpentini-in-acciaio-inox.pdf>

Gere, J., Timoshenko, M., *Resistencia de Materiales*. Madrid, 5ta Ed.,2002, pp 926.

McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P., *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Mexico. MG. Hill, 7ma Ed.,2007.

Medicinal Plants. *Saponinas - Farmacognosia. Plantas medicinales*. 2012. Retrieved June 25, 2018, from <https://www.plantas-medicinal-farmacognosia.com/temas/glucosidos/saponinas/>

Morales Palomino, C., *Diseño de plantas industriales*. España. UNED. 2011.

Mott, R. *Diseño de elementos de Maquinas*. 4ta Ed. México. Pearson Educación. 2006.

Shigley, Joseph. Edward; Mischke C. R., *Diseño e Ingeniería Mecánica*, 5ta, ed. México, McGraw-HILL. 2001, pp 883.

Sociedad Latinoamericana de Nutrición, H., Sangronis, E., & Unai, E., *Archivos latinoamericanos de nutrición. Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (Vol. 58). 2008. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-06222008000100009&script=sci_arttext&tlng=en

Universidad Boliviana (System), M., Ticona, E., Carrasco, C., Flores, Y., & Almanza, G. R., *Revista boliviana de química. Revista Boliviana de Química* (Vol. 29). 2012. [Universidad Mayor de San Andrés]. Retrieved from http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602012000200002&script=sci_arttext&tlng=es