



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA OBTENER
ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*) EN
LA EMPRESA IFG INNOVACIONES AGROPECUARIAS IBARRA-
ECUADOR”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: WILLIAN DAVID FARINANGO GUZMÁN

DIRECTORA: ING. MÓNICA LILIAN ANDRADE AVALOS

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Willian David Farinango Guzmán

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.

Yo, Willian David Farinango Guzmán, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 26 de noviembre del 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. D. Farinango Guzmán', enclosed within a large, loopy circular flourish.

Willian David Farinango Guzmán

172415052-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA OBTENER ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*) EN LA EMPRESA IFG INNOVACIONES AGROPECUARIAS IBARRA-ECUADOR”**, realizado por el señor: **WILLIAN DAVID FARINANGO GUZMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cesar Punte PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	CESAR ARTURO PUENTE GUIJARRO <small>Firmado digitalmente por: CESAR ARTURO PUENTE GUIJARRO DN: cn=CESAR ARTURO PUENTE GUIJARRO, o=EC o=SECURITY DATA S.A. 1 c=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION Motivo: Soy el autor de este documento Ubicación: Fecha: 2021-12-06 16:32:05-00</small>	26/11/2021
Ing. Mónica Andrade. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> MONICA LILIAN ANDRADE AVALOS	26/11/2021
Dra. Verónica Cando. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> VERONICA MERCEDES CANDO BRITO	26/11/2021

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi padre David Isidro Farinango y madre Marina Guzmán quienes han sido el pilar fundamental en mi vida a los que les debo todo lo que soy y lo que voy logrando como persona y profesional aquellos que con sus valores, consejos y apoyo incondicional han estado siempre conmigo. A mi hijo Nicolás por ser ese motor que me lleva a cumplir metas y sueños anhelos para nuestro futuro. A mi familia por sus apoyos y consejos.

David

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme la oportunidad de alcanzar una profesión y ser un ente de ayuda para la sociedad.

A mis docentes que durante toda mi carrera profesional fueron la guía en mi formación académica.

El más sincero agradecimiento a mi tutora Ing. Mónica Andrade y colaboradora Dra. Verónica Cando, por impartir sus conocimientos y su ayuda en la elaboración de este proyecto de titulación.

A mis amigos, por sus consejos, apoyo y por compartir todas las aventuras que conllevó esta etapa, los llevaré en mi corazón.

David

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación del proyecto.....	3
1.3. Localización del Proyecto.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>General</i>	4
1.4.2. <i>Específicos</i>	4
1.5. Beneficiarios directos e indirectos.....	5
1.5.1. <i>Beneficiarios Directos</i>	5
1.5.2. <i>Beneficiarios Indirectos</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO REFERENCIAL.....	6
2.1. El eucalipto.....	6
2.1.1. <i>Otras variedades de eucalipto</i>	7
2.1.1.1. <i>Eucalipto aromático</i>	7
2.1.1.2. <i>Eucalipto rojo</i>	8
2.1.1.3. <i>Eucalipto cangrejo</i>	8
2.1.1.4. <i>Eucalipto decorativo</i>	9
2.2. Aceite esencial.....	10
2.2.1. <i>Clasificación de los aceites esenciales</i>	10
2.2.2. <i>Propiedades físicas de los aceites esenciales</i>	11
2.2.3. <i>Usos de los aceites esenciales</i>	12
2.3. Aceites de eucalipto.....	12

2.3.1. Características del aceite esencial de <i>Eucalyptus globulus</i>	13
2.3.1.1. Características organolépticas.....	13
2.3.1.2. Características físicas	13
2.3.1.3. Características químicas	13
2.3.1.4. Contenido de cineol y rendimiento de aceite esencial	14
2.4. Principales métodos de extracción de esencias vegetales	14
2.4.1. Extracción con solventes	14
2.4.1.1. Ventajas y desventajas de la extracción con solvente.....	15
2.4.2. Extracción con fluidos supercríticos	15
2.4.2.1. Ventajas e inconvenientes de la extracción con fluidos supercríticos.....	17
2.4.3. Extracción por prensado	17
2.4.3.1. Ventajas y desventajas de la extracción por prensado	18
2.4.4. Enfleurage	18
2.4.4.1. Ventajas y desventajas de la extracción enfleurage.....	19
2.4.5. Hidrodestilación	19
2.4.5.1. Ventajas y desventajas de la extracción por hidrodestilación	20
2.4.6. Extracción por arrastre de vapor	20
2.4.6.1. Ventajas y desventajas de la extracción por arrastre con vapor	21
2.4.6.2. Etapas del sistema de extracción por arrastre de vapor.....	21
2.4.6.3. Componentes del proceso por arrastre de vapor.....	22

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	24
3.1. Tipo de estudio	24
3.2. Metodología	24
3.2.1. Métodos	24
3.2.1.1. Método Inductivo	24
3.2.1.2. Método Deductivo	25
3.2.1.3. Método Experimental	25
3.2.2. Técnicas	25
3.2.3. Experimentación a nivel laboratorio	28
3.2.3.1. Selección de materia prima.....	28
3.2.3.2. Materiales de laboratorio	28
3.2.3.3. Descripción del procedimiento.....	29
3.2.3.4. Evaluación de la actividad antibacterial del aceite esencial de eucalipto.....	33

3.2.3.5 Diagrama de la extracción de aceite esencial de las hojas de eucalipto en el laboratorio	35
3.2.3.6. Variables del proceso	35
3.3. Cálculos ingenieriles.....	36
3.3.1. Mesa de selección	36
3.3.2. Diseño del tanque extractor.....	37
3.3.3. Diseño del intercambiador de calor.....	42
3.3.4. Selección de la Bomba.....	55

CAPITULO IV

4. RESULTADOS.....	62
4.1. Resultados del diseño de equipos.....	62
4.2. Resultados del tiempo de extracción	63
4.3. Validación del proceso y producto	65
4.3.1. Índice de refracción.....	65
4.3.2. Densidad	66
4.3.3. Espectrometría de Infrarrojo.....	66
4.3.4. Validación de la actividad antibacterial del aceite esencial de eucalipto.....	69
4.3.4.1. Pruebas microbiológicas de los límites de inhibición del aceite esencial de eucalipto .	69
4.4. Proceso de Producción	70
4.4.1 Materia prima para la obtención de aceite esencial de eucalipto	70
4.4.2. Diagrama de proceso de obtención de aceite esencial a escala industrial.....	71
4.4.3. Capacidad de obtención del producto.....	71
4.5. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.....	73
4.5.1. Requerimientos de Equipos.....	73
4.6. Análisis de Costo/beneficio del proyecto	74
4.6.1. Inversión Fija	74
4.6.2. Determinación de egresos.....	76
4.6.3. Financiamiento	78
4.6.4. Determinación de ingresos anuales	78
4.6.5. Cálculo de valor actual neto, tasa de retorno interno y periodo de recuperación.....	79
4.6.5.1. Valor actual neto.....	79
4.6.5.2. Tasa Interna de Retorno	80
4.6.5.3. Periodo de Recuperación de la inversión	81
4.7. Cronograma de ejecución del proyecto.....	82

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
CONCLUSIONES	85
RECOMENDACIONES	87
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Localización geográfica de la Planta Innovaciones Agropecuarias.....	3
Tabla 1-2: Principales aplicaciones de los aceites esenciales en el comercio.....	12
Tabla 2-2: Composición del aceite esencial de eucalipto.....	13
Tabla 3-2: Rendimiento promedio de aceite esencial y contenido de cineol de hoja de eucalipto	14
Tabla 4-2: Extracción con solvente.....	15
Tabla 5-2: Ventajas e inconvenientes de la extracción con fluidos supercríticos.....	17
Tabla 6-2: Ventajas y desventajas de la extracción por prensado.....	18
Tabla 7-2: Ventajas y desventajas de la extracción enfleurage.....	19
Tabla 8-2: Extracción por hidrodestilación.....	20
Tabla 9-2: Ventajas y desventajas de la extracción por arrastre con vapor.....	21
Tabla 1-3: Densidad relativa.....	26
Tabla 2-3: Índice de refracción.....	26
Tabla 3-3: Determinación de la miscibilidad en etanol.....	27
Tabla 4-3: Aspecto físicos de la materia prima.....	28
Tabla 5-3: Materiales obtención aceite esencial.....	28
Tabla 6-3: Variables del proceso de obtención del aceite esencial.....	36
Tabla 7-3: Datos para el dimensionamiento de mesa de selección.....	36
Tabla 1-4: Resultados de diseño de equipos.....	62
Tabla 2-4: Datos de la extracción.....	63
Tabla 3-4: Resultados organolépticos.....	65
Tabla 4-4: Resultados de la espectroscopia infrarroja del aceite esencial.....	68
Tabla 5-3: Materia prima.....	70
Tabla 6-3: Insumos para la producción del aceite esencial.....	70
Tabla 7-4: Equipos requeridos en el proceso.....	74
Tabla 8-4: Equipos para la línea principal del proceso.....	75
Tabla 9-4: Equipos para control y seguimiento del proceso.....	75
Tabla 10-4: Inversiones en la planta de procesamiento.....	76
Tabla 11-4: Recursos humanos para el montaje e instalación del proceso.....	76
Tabla 12-4: Inversión fija.....	76
Tabla 13-4: Servicios básicos.....	77
Tabla 14-4: Recursos humanos para el proceso de manufactura.....	77
Tabla 15-4: Costo de elaboración del aceite esencial por lote (30 unidades de 10mL).....	77
Tabla 16-4: Egresos.....	78

Tabla 17-4: Costos totales de inversión fija y egresos	78
Tabla 18-4: Ingresos anuales	79
Tabla 19-4: VAN	80
Tabla 20-4: Cálculo de tasa interna de retorno	80
Tabla 21-4: Periodo de Recuperación de la inversión	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-3:	Localización de la Planta de Innovación Agropecuarias IFG.....	4
Figura 2-2:	Eucalipto	6
Figura 3-2:	Hojas jóvenes de Eucalipto (<i>Eucalytus Globulus</i>)	7
Figura 4-2:	Hojas maduras de Eucalipto (<i>Eucalytus Globulus</i>)	7
Figura 5-2:	Eucalipto aromático (<i>Eucalyptus citrodora Hook</i>)	8
Figura 6-2:	Eucalipto rojo.....	8
Figura 7-2:	Eucalipto cangrejo.....	9
Figura 8-2:	Eucalipto decorativo.....	9
Figura 9-2:	Aceite esencial	10
Figura 10-2:	Extracción con solventes	15
Figura 11-2:	Etapas de extracción por fluidos supercríticos	16
Figura 12-2:	Extracción por prensado	17
Figura 13-2:	Extracción por enfleurage.....	18
Figura 14-2:	Extracción por hidrodestilación	19
Figura 15-2:	Extracción por arrastre de vapor	20
Figura 16-2:	Proceso de extracción de arrastre con vapor	21
Figura 1-3:	Pesado hoja de eucalipto	29
Figura 2-3:	Muestra con agua destilada.....	30
Figura 3-3:	Temperatura de extracción	31
Figura 4-3:	Separación del aceite	31
Figura 5-3:	Separación del aceite esencial del agua	32
Figura 6-3:	Aceite esencial	32
Figura 7-3:	Siembra de bacterias.....	33
Figura 8-3:	Introducción de discos en blanco en las cajas Petri.....	34
Figura 9-3:	Caja Petri con resultados de E. coli Miuller.....	34
Figura 10-3:	Diagrama de proceso en el laboratorio.....	35
Figura 1-4:	Índice de refracción	65
Figura 2-4:	Peso del picnómetro	66
Figura 3-4:	Proceso de obtención del aceite esencial.....	71
Figura 4-3:	Capacidad de producción	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Diagrama P-T del CO ₂	16
Gráfico 1-4: Cantidad de aceite esencial vs el tiempo de extracción	64
Gráfico 2-4: Temperatura de extracción vs tiempo	64
Gráfico 3-4: Espectroscopia infrarroja del aceite esencial de eucalipto	67

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** POSICIÓN DE LAS BANDAS DE ABSORCIÓN DE GRUPOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS.
- ANEXO B:** TABLA DE LÍMITES DE LOS DIÁMETROS DE LAS ZONAS DE INHIBICIÓN PARA SEPAS PATRÓN.
- ANEXO C:** NORMA NTE INEN-ISO 770. ACEITE CRUDO O RECTIFICADO DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus labill*).
- ANEXO D:** MESA DE SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.
- ANEXO E:** TANQUE EXTRACTOR DE ACEITE ESENCIAL.
- ANEXO F:** TUBERIA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR EN CRUZ.
- ANEXO G:** INTERCAMBIADOR DE CALOR.
- ANEXO H:** DECANTADOR.
- ANEXO I:** ENSAMBLE DEL EQUIPO EXTRACTOR DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO.
- ANEXO J:** DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA DE LA EMPRESA IFG INNOVACIONES AGROPECUARIAS.

RESUMEN

Se realizó el diseño de un proceso industrial para obtener aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) en la Empresa IFG Innovaciones Agropecuarias Ibarra-Ecuador, para lo cual inicialmente se realizó la simulación del proceso a nivel de laboratorio, donde se determinó las variables que forman parte del dimensionamiento de los equipos tales como la alimentación, temperatura, tiempo en la operación de extracción, mientras que para el condensador se obtuvo las variables como la masa total de vapor, temperatura tanto al ingreso y salida del condensador. Una vez obtenidas las variables se realizaron los cálculos teniendo en consideración los ensayos experimentales. Además, para asegurar que se tiene un producto de calidad este está basado en la norma NTE INEN-ISO 770, aceite crudo o rectificado de Eucalipto. Bajo este contexto se llevó a cabo la caracterización física, teniendo en consideración la realización de una espectroscopia infrarroja, permitiendo conocer los grupos funcionales presentes y una prueba de actividad antibacterial del aceite esencial. La capacidad de producción es de 3,5Kg de materia prima permitiendo obtener 300ml de aceite esencial diario. Los equipos que forman parte de la línea de producción deben ser construidos en acero inoxidable con la finalidad de no causar daños al producto final. Para la validación del proceso se obtuvieron resultados tales como densidad 0,920 g/ml: un índice de refracción de 1,46132; valores propios del aceite esencial obtenido en comparación con varios autores. Por otro lado, se determinó que el aceite esencial inhibe bacterias como *S. aureus*, *E. cloacae*, *P. aeruginosa* y *E. coli*. Mediante la espectroscopia infrarroja se identificó los grupos funcionales orgánicos característicos de este tipo de aceite esencial. Finalmente, se recomienda motivar a la empresa IFG para aprovechar diferentes plantas presentes en la zona, logrando que se implemente la obtención de diferentes tipos de aceites esenciales.

Palabras clave: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <DISEÑO DEL PROCESO>, <ACEITE ESENCIAL>, <ESPECTROSCOPIA INFRARROJA>, <ACTIVIDAD ANTIBACTERIAL>.



Firmado electrónicamente por:

**ELI ZABETH
FERNANDA
AREVALO
MEDINA**



2068-DBRA-UPT-2021

ABSTRACT

The design of an industrial process to obtain eucalyptus essential oil (*Eucalyptus globulus labill*) was carried out at IFG Innovaciones Agropecuarias Ibarra-Ecuador, for which initially the simulation of the process was performed at laboratory level, where the variables that are part of the sizing of the equipment such as feed, temperature, time in the extraction operation were determined, while for the condenser the variables such as the total mass of steam, temperature at the inlet and outlet of the condenser were obtained. Once the variables were obtained, the calculations were made taking into consideration the experimental tests. In addition, to ensure a quality product, this is based on the NTE INEN-ISO 770 standard, crude or rectified Eucalyptus oil. Under this context, the physical characterization was carried out, taking into consideration the performance of an infrared spectroscopy, allowing to know the functional groups present and a test of antibacterial activity of the essential oil. The production capacity is 3.5 kg of raw material, allowing to obtain 300 ml of essential oil per day. The equipment that is part of the production line must be built in stainless steel in order not to cause damage to the final product. For the validation of the process, results were obtained such as density 0.920 g/ml: a refractive index of 1.46132; values characteristic of the essential oil obtained in comparison with several authors. On the other hand, it was determined that the essential oil inhibits bacteria such as *S. aureus*, *E. cloacae*, *P. aeruginosa* and *E. coli*. Infrared spectroscopy was used to identify the organic functional groups characteristic of this type of essential oil. Finally, it is recommended to motivate the IFG company to take advantage of different plants present in the area, thus achieving the implementation of obtaining different types of essential oils.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <PROCESS DESIGN>, <ESSENTIAL OIL>, <INFRARED SPECTROSCOPY>, <ANTIBACTERIAL ACTIVITY>.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de aceites esenciales como aromatizantes está muy relacionado para la aromaterapia, pero en estos tiempos actuales de pandemia los seres humanos nos hemos visto en la necesidad de descongestionar nuestras vías respiratorias para así poder subir nuestras defensas y tener menores posibilidades de contagio. Los aceites esenciales son muy utilizados para enfermedades de carácter respiratorio, por lo cual un aceite esencial normalizado de eucalipto que cumpla con normas y especificaciones técnicas es de gran ayuda para la humanidad.

En la extracción de aceite esencial de eucalipto se ha tomado en consideración una manera más limpia y natural para su extracción ya que existen varios métodos siendo uno de sus principales procesos de extracción el método de arrastre por vapor que es muy importante a nivel industrial, ya que frecuentemente este método es indispensable para separar aceites esenciales de tejidos vegetales, es una técnica que se utiliza para separar sustancias orgánicas insolubles en agua y ligeramente volátiles, de otros no volátiles que se localizan en la mezcla .

Este trabajo de titulación va enfocado en diseñar un proceso para la extracción óptima de aceite esencial que cumpla con normas técnicas para obtener un producto a gran escala del aceite esencial de eucalipto realizando una caracterización fisicoquímica de la hoja, además se elaboró varias pruebas microbiológicas utilizando medios de cultivo de bacterias para demostrar que el aceite esencial de eucalipto inhibe varios microorganismos que se encuentran en el organismo del ser humano.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

El origen de las esencias se remonta a las civilizaciones egipcias y chinas, porque se consideraba una de las formas más antiguas de medicina y cosmética. Los antiguos egipcios lo empleaban durante las festividades y los procesos de momificación, con el tiempo, estos aceites esenciales han sido valorados y comúnmente empleados como fragancias. (Eau.de.Vie, 2016)

La utilización de los aceites esenciales, así como el conocimiento de sus propiedades curativas, se ha convertido en la actualidad en un tema de interés para la sociedad, desde hace mucho tiempo las personas han usado aceites esenciales y partes de plantas con el propósito de mejorar la salud y el bienestar físico, brindando un beneficio al sistema respiratorio. (Herbotecnia, 2015)

Para obtener aceites esenciales existen varios métodos para extraerlo, siendo uno de los principales procesos para extracción el método por arrastre de vapor, ya que es de mucha importancia a nivel industrial, así como en sus procesos, sin ellos muchos productos de primera necesidad no existieran. (Moore, 2010)

La extracción por arrastre vapor se emplea con frecuencia para separar aceites esenciales de tejidos vegetales, es una técnica que se utiliza para separar sustancias orgánicas insolubles en agua y ligeramente volátiles, de otros no volátiles que se localizan en la mezcla, como sales inorgánicas, resinas u otros compuestos orgánicos no arrastrables. (Lamarque, 2008)

La Empresa Innovaciones Agropecuarias ubicada en la ciudad de Ibarra se dedica a la elaboración y comercialización de productos agroindustriales en la localidad, al estar ejecutando de manera artesanal la elaboración de aceite esencial se ha visto en la necesidad de buscar nuevas alternativas de innovación para implementar en la planta el diseño a nivel industrial para la obtención de aceite esencial de eucalipto.

Ibarra es una zona que posee variedad de bosques entre estos el eucalipto, por lo tanto, es factible acceder a esta materia prima para posteriormente obtener el aceite esencial y diseñar el proceso industrial en la empresa Innovaciones Agropecuarias.

1.2. Justificación del proyecto

Existen diversos aceites esenciales catalogados de acuerdo al requerimiento o necesidad, los mismos que son utilizados como materias primas en la industria química, se emplea para suministrar aromas a productos de limpieza, tales como jabones, detergentes, ambientales, productos de uso hospitalario, etc. (CD-P-SC, 2016)

El mercado nacional se encuentra delimitado con este producto, por el desconocimiento de los beneficios que aporta y el uso restringido de técnicas de extracción. Por tal motivo, es necesario promover la extracción de aceite esencial de eucalipto para su aprovechamiento.

La ejecución de esta investigación permitirá determinar las variables operacionales y su rendimiento durante el proceso, además de influir otros factores en la extracción por arrastre de vapor, la muestra vegetal es generalmente fresca cortada en fracciones pequeñas, colocada en un recipiente cerrado y posteriormente es sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentado, la esencia arrastrada es inmediatamente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa.

La empresa IFG Innovaciones Agropecuarias busca renovar el mercado y estar a la necesidad del cliente con la implementación del Diseño de un proceso industrial para obtener aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*), y así modernizar su proceso de extracción, en donde se cumpla con parámetros de calidad para normalizar dicho producto e introducirlo en el mercado.

1.3. Localización del Proyecto

El presente proyecto será efectuado en la Planta Innovaciones Agropecuarias IFG ubicado en la ciudad de Ibarra, específicamente en el barrio Caranqui, dirección calles Huairicocha y Reina Paccha

Tabla 1-1: Localización geográfica de la Planta Innovaciones Agropecuarias

Longitud	-78,1223300
Latitud	0,3517100
Rango altitudinal	2220 m.s.n.m
Clima	Temperatura Promedio 16°C

Fuente: Instituto Nacional de Riego (INAR)

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

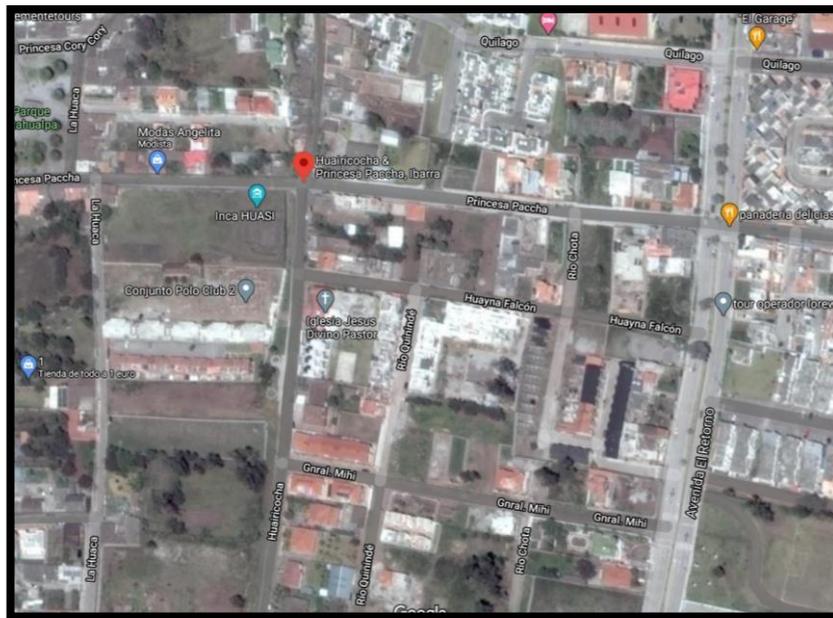


Figura 1-3 Localización de la Planta de Innovación Agropecuarias IFG
Fuente: Google maps

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Diseñar un proceso industrial para la obtención de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) en la empresa IFG Innovaciones Agropecuarias ubicada en Ibarra-Ecuador.

1.4.2. Específicos

- Determinar las características organolépticas del eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) como materia para la obtención de aceite esencial
- Determinar las diferentes variables para el diseño del proceso.
- Elaborar los cálculos de ingeniería para el diseño del proceso industrial en la obtención de aceite esencial de eucalipto.
- Verificar que el aceite esencial obtenido cumpla con las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 770, aceite crudo o rectificado de Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*).

1.5. Beneficiarios directos e indirectos

1.5.1. Beneficiarios Directos

Como beneficiario directo será la Empresa IFG Innovaciones Agropecuarias, que tiene su planta de producción en la ciudad de Ibarra, al impulsar un nuevo producto.

1.5.2. Beneficiarios Indirectos

- Los moradores del sector y de los alrededores a la empresa, quienes conocerán de un nuevo e innovador producto.
- Al implementar en la producción de la planta el aceite esencial de eucalipto, serán beneficiarios todos aquellos consumidores tanto del campo agrícola como de las esencias aromáticas.
- Toda la población de la localidad que tengan el interés de adquirir esencias naturales de eucalipto.

CAPÍTULO II

2 Marco referencial

2.1. El eucalipto

El *Eucalyptus globulus labill* con simbología de origen griego se tiene que “EU” significa “bien” y “*kalypto*” que significa “cubierto” por alusión a sus estambres y “*globulus*” que significa “bola pequeña” refiriéndose a la forma de botón de las frutas, cuta característica es su perfume y se usa con fines medicinales. (Bermudo Crespo 2019)



Figura 2-2: Eucalipto
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)

Es un eucalipto es un gran árbol que crecen en climas cálidos y lluviosos, pero puede llegar a soportar temperaturas bajas, por lo cual este árbol ha colonizado gran parte del mundo debido a su adaptabilidad, en cuanto a sus hojas suelen presentar un heteromorfismo, son simples y persistentes. Su coloración en las hojas hace que se pueda diferenciar si son adultas o jóvenes.

Toda la planta contiene aceites esenciales, como las hojas y los botones florales pueden contener entre 1,5 y 3% de aceites esenciales. Que usualmente es soluble en alcohol de 95 grados, es incoloro. El principal componente del aceite esencial es el éter óxido terpénico 1-8 coneol o eucaliptol.

Las especies que comúnmente se obtiene en los bosques debido a su adaptabilidad a las condiciones y agua disponible son la *Eucalyptus globulus* y *Eucalyrus camaldulensis*, ya que son usadas como como para plantaciones forestales y en algunas ocasiones como ornamentales. A continuación, se muestra las hojas jóvenes y adultas del *Eucalyptus globulus*, cuál será la principal materia para el proyecto. (Bermudo Crespo 2019)



Figura 3-2: Hojas jóvenes de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)



Figura 4-2: Hojas maduras de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*)
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)

2.1.1. Otras variedades de eucalipto

2.1.1.1. Eucalipto aromático

Su nombre científico es *Eucalyptus Citrodora Hook*, mientras que sus nombres comunes son: Gomero de olor a limón o más conocido como eucalipto aromático.

Es un árbol de gran tamaño, su corteza es blanca, además de contiene una tonalidad azulada, sus frutos tienen una forma de cápsula urceolada. Su mayor característica es que sus hojas desprenden a olor a limón por lo cual es muy usada en la preparación de perfumes.

Su cultivo es al aire libre, en suelo ligero o de tierra silícica, y su siembra se realiza en primavera o directa.



Figura 5-2: Eucalipto aromático (*Eucalyptus citrodora* Hook)
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)

2.1.1.2. *Eucalipto rojo*

Su nombre científico es *Eucalyptus ficifolia* F.J. Muell, mientras que sus nombres comunes es eucalipto de flores rojas o eucalipto rojo.

Es originario del sueste de Australia, el tamaño de crecimiento depende según su género, por otro lado, a diferencia de otros tipos de eucaliptos este tiende a tener un crecimiento lento, llegando a obtener un máximo de 9 metros de altura. Sus hojas son coriáceas, de color verde oscuro, ensanchadas en su base, lanceoladas, Produce flores de color rojo oscuro a pálido, de ahí su nombre.



Figura 6-2: Eucalipto rojo
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)

2.1.1.3. *Eucalipto cangrejo*

Su nombre científico es *Eucalyptus Cornuta* Labill y su nombre común es eucalipto cangrejo.

Se origina en el sur oeste de Australia occidental, este tipo de eucalipto puede llegar a tener una altura de 23 metros: su tronco posee una corteza persistente oscura, sus hojas jóvenes son pecioladas, anchamente lanceoladas y de color verde oscuro, mientras que las hojas adultas son estrechamente lanceoladas y de un color verde brillante.



Figura 7-2: Eucalipto cangrejo
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)

2.1.1.4. *Eucalipto decorativo*

Su nombre científico es *Eucalyptus Gunni Hook* y su nombre común es eucalipto decorativo o gomero de la sidra.

Se origina en Tasmania, es un árbol monoico que puede sobrepasar los 30m de talla. Son de corteza lisa de coloración blanca y verde. Sus hojas jóvenes de color plateadas, y de adultas de color azul grisáceas. Los frutos están en una cápsula pediculada, acampanado de 7-10mm de diámetro con 3-5 valvas triangulares.



Figura 8-2: Eucalipto decorativo
Fuente: (Bermudo Crespo 2019)

2.2. Aceite esencial

Es una mezcla de componentes volátiles, el cual se genera como producto del metabolismo secundario de las plantas, al crecer la planta se convierte en otros tejidos como por ejemplo los brotes de flores.



Figura 9-2: Aceite esencial

Fuente: (Acán y Pilataxi 2014)

Además, es uno de los ingredientes principales en la industria alimentaria, medicina y de perfumes. Los aceites generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes que pueden ser:

Monoterpenos, Fenilpropanos, Sesquiterpenos y compuestos alifáticos de bajo peso molecular como ácidos, aldehídos, ésteres, alcanos, cetonas y alcoholes.

En su mayoría contienen olores agradables, exceptuando algunos que al contener compuestos azufrados tienen un olor desagradable como por ejemplo la cebolla. (Acán y Pilataxi 2014)

2.2.1. Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se pueden clasificar mediante algunos criterios como la consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios.

- De acuerdo a su composición elemental
 - ✓ **Aceites pobres en oxígeno:** Como la mandarina, naranja, laurel, eucalipto, bergamota, limón y trementina.
 - ✓ **Aceites ricos en oxígeno:** Violeta, rosas, manzanilla, menta, comino, hinojo y anís.
 - ✓ **Aceites nitrogenados:** Capuchino, mastuerzo, y berro.

- ✓ **Aceites sulfatados:** mostaza, cebolla y ajo. (Bermudo Crespo 2019)
- De acuerdo a la consistencia se clasifica en:
 - ✓ **Fluidas:** Son líquidos volátiles a temperatura ambiente.
 - ✓ **Bálsamos:** Son de consistencia más espesa, son propensos a sufrir reacciones de polimerización, además de ser un poco más volátiles.
 - ✓ **Resinas:** Son productos semisólidos o sólidos de naturaleza química compleja.
 - ✓ **Oleoresinas:** Son típicamente líquidos, muy viscosos o semisólidos, además que tienen el aroma de las plantas en forma concentrada.
 - ✓ **Gomoresinas:** Son extractos naturales obtenidos de un árbol o planta. Están compuestos por mezclas de resinas y gomas.
- De acuerdo a su origen se clasifican en:
 - ✓ **Naturales:** Se llegan a obtener directamente de la planta, y no sufren modificaciones químicas y físicas posteriormente, debido a que el rendimiento de extracción es muy bajo el costo de comercialización es alto.
 - ✓ **Artificiales:** Se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes como por ejemplo la mezcla de geranio, jazmín y rosa con linalool.
 - ✓ **Sintéticos:** Son producidos por la combinación de sus componentes los cuales en su mayoría son producidos por síntesis química. Por lo que son más económicos. (Acán y Pilataxi 2014)

2.2.2. Propiedades físicas de los aceites esenciales

- Si se conserva en temperatura ambiente usualmente son líquidos, pero en algunas ocasiones cristalizan o son viscosos.
- Los aceites esenciales son volátiles a diferencia de los aceites grasos
- Su densidad varía entre 0,86 y 1,03.

- No son miscibles
- Bajo la luz polarizada son activos
- Un elevado índice de refracción
- Los colores del aceite esencial no son siempre iguales al color del vegetal que se extrae.
(León y Robles 2009)

2.2.3. Usos de los aceites esenciales

Tabla 1-2: Principales aplicaciones de los aceites esenciales en el comercio

Mercado	Aplicaciones
Adhesivos	Pegamento para cauchos y porcelanas
Industria alimentaria animal	Piensos y comida preparada
Industria automovilística	Ambientadores y limpiaparabrisas
Repostería	Aromatizantes, condimentos y saborizantes
Chicles	Saborizantes
Condimentos	Colorantes y saborizantes
Dentífricos	Colorantes y saborizantes
Insecticidas	Repelentes y aromatizantes
Industria alimentaria	Adobos, saborizantes, aromatizantes, bebidas
Producto de limpieza	Aromatizantes
Pintura	Barnices y aromatizantes
Perfumería y cosmética	Colorantes y aromatizantes
Industria farmacéutica	Principios activos, colorantes, aromatizantes y saborizantes
Industria tabaquera	Aromatizantes

Fuente: (Gutiérrez Galicia, 2013)

2.3. Aceites de eucalipto

El aceite esencial de eucalipto usualmente es extraído por destilación por arrastre de vapor de las hojas, este aceite es un potente bactericida y antiviral, además que logra aliviar a las vías respiratorias. La pulverización de una solución del 2% aceite de eucalipto mata entre 70 y 100% de los estafilococos del aire. Es antiséptico y regenerativo de los tejidos, por tanto, también es usado para realizar masajes para aliviar dolores musculares y reumáticos. (Bermudo Crespo, 2019)

2.3.1. Características del aceite esencial de *Eucalyptus globulus*

2.3.1.1. Características organolépticas

- ✓ De color amarillo claro o incoloro
- ✓ Olor penetrante y alcanforado

2.3.1.2. Características físicas

- ✓ Densidad relativa a 20°C entre 0,906 y 0,925g/mL
- ✓ Solubilidad en alcohol etílico a 70% y 20°C
- ✓ Punto de ebullición: 177°C
- ✓ Punto de fusión: 1,5°C
- ✓ Punto de inflamación: 48°C
- ✓ Índice de refracción a 20°C: 1458 a 1470. (Nolazco et al. 2020)

2.3.1.3. Características químicas

Tabla 2-2: Composición del aceite esencial de eucalipto

Componente	Fórmula molecular	% en masa
Piperitona	$C_{10}H_{16}O$	1,82
α -terpinol	$C_{10}H_{18}O$	8,48
α -fenaldreno	$C_{10}H_{16}$	8,54
1,8-cineol	$C_{10}H_{18}O$	77,53
Canfeno	$C_{10}H_{16}$	0,42
α -pineno	$C_{10}H_{16}$	1,91
1-valeraldehido	$C_5H_{10}O$	1,30

Fuente: (Bermudo Crespo, 2019)

Como se puede observar en la Tabla 2-2 el aceite esencial de eucalipto está compuesto principalmente por cineol, el cual se obtiene de un aceite volátil destilado a partir de las hojas frescas, es un líquido con propiedades aromáticas, que constituye entre el 70 al 80%. También es conocido como eucalyptol.

2.3.1.4. Contenido de cineol y rendimiento de aceite esencial

La cantidad de cineol presente en el aceite esencial depende del nivel de altura que se encuentra las hojas en el árbol, donde el mayor contenido se encuentra en la zona alta y menor en el nivel inferior, siendo también este factor en el rendimiento del aceite esencial.

El contenido de cineol difiere entre un 65% a 75% dependiendo de la edad del árbol, los factores climáticos, el secado de las hojas, entre otras. Además, el rendimiento de obtención de aceite esencial de eucalipto se encuentra en 1,5% en hojas jóvenes y 0,71% en hojas adultas, siendo su promedio de 0,97%.

Tabla 3-2: Rendimiento promedio de aceite esencial y contenido de cineol de hoja de eucalipto

Rango de edad (en años)	Rendimiento de aceite esencial en peso (%)	Contenido de cineol (%)
1-3	1,35	71,10
4-6	1,14	67,10
7-9	1,07	64,40
10-12	0,82	60,07
13-15	0,88	62,42
16-18	0,80	60,53
Mayor de 18	0,75	59,73

Fuente: (Paredes y Quinatoa, 2010)

2.4. Principales métodos de extracción de esencias vegetales

Existen algunos métodos de extracción de aceites esenciales, los cuales varían según el tipo de planta del cual se lo desee obtener. A pesar que la industria va cada día actualizándose en nuevas técnicas de extracción los más comunes para realizarlo son:

2.4.1. Extracción con solventes

Para lograr este tipo de extracción de se debe realizar previamente un molido, macerado o picado, lo cual permitirá que el solvente (Cloroformo, acetona, acetato de etilo, éter isopropílico, éter etílico, ligroína, xileno, tolueno, ciclohexano, hexano, isopropanol, metanol, etanol) tenga mayor superficie de contacto con el sólido, el solvente empleado se recupera por destilación y puede ser reutilizado. El proceso se realiza a temperatura y presión ambiente y debe estar en movimiento

continuo mediante agitación para llegar a obtener la mejor eficiencia. Además, el proceso se puede realizar de forma continua o tipo batch. (Paredes y Quinatoa 2010)

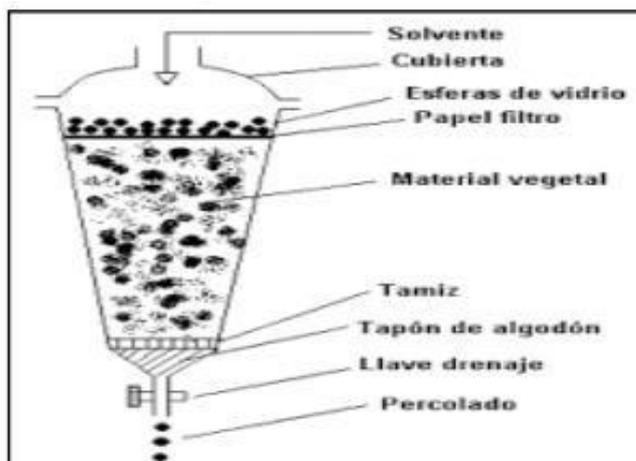


Figura 10-2: Extracción con solventes
Fuente: (Paredes y Quinatoa, 2010)

2.4.1.1. Ventajas y desventajas de la extracción con solvente

Tabla 4-2: Extracción con solvente

Extracción con solvente	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> -Se puede hacer la separación de manera individual de los componentes -La temperatura en proceso es baja 	<ul style="list-style-type: none"> -Genera contaminación al ambiente -Es costoso -La separación del solvente completamente es difícil sin que se produzca alteraciones al aceite -Riesgo de provocar un incendio o una explosión -Co-extracción de ácidos grasos, ceras y pigmentos.

Fuente: (Paredes y Quinatoa, 2010)

2.4.2. Extracción con fluidos supercríticos

Aunque el proceso está implementado en la industria, este tipo de proceso conlleva un alto costo en equipos, por lo que su inversión inicial es sumamente alta. Para este tipo de proceso es necesario definir el concepto de punto crítico para un gas o vapor, las cuales corresponden a unas condiciones de presión y temperatura por encima de las cuales la sustancia no puede ser licuada por encima de la presión. Los fluidos de este estado presentan propiedades físicas como la densidad, la difusividad y viscosidad muy peculiares. El fluido más usado en este proceso es el CO₂.

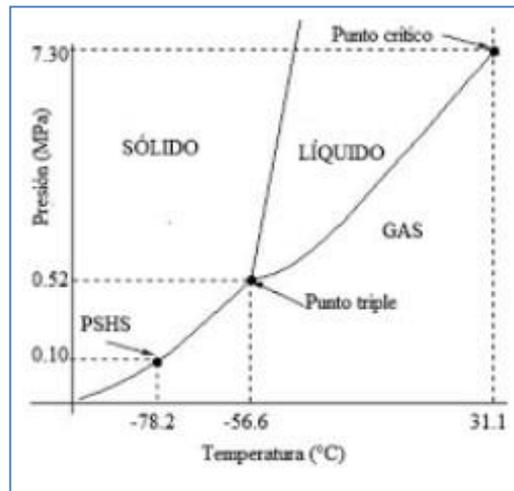


Gráfico 1-2: Diagrama P-T del CO₂
Fuente: (Ruiz Galán, 2019)

El CO₂ en condiciones supercríticas es usado por su baja tensión superficial y viscosidad, y alto coeficiente de difusión. Además de no ser explosivo ni tóxico.

Las etapas de extracción por fluidos supercríticos son:

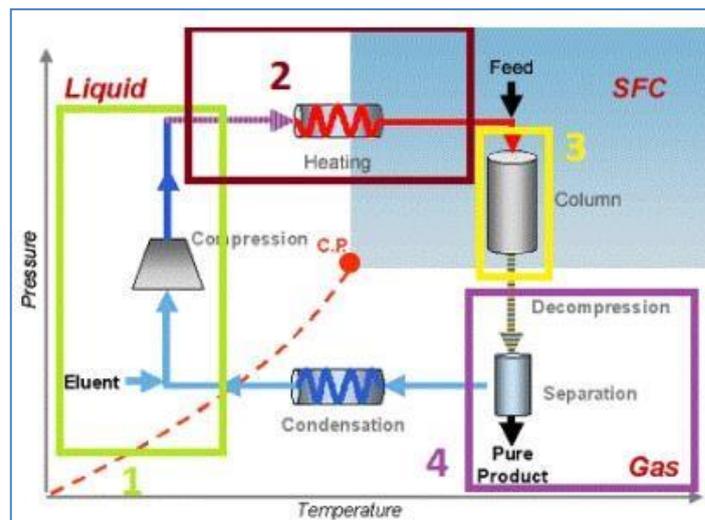


Figura 11-2: Etapas de extracción por fluidos supercríticos
Fuente: (Ruiz Galán 2019)

1. Primera etapa: Es la etapa de presurización. Donde se lleva al fluido por encima de las condiciones críticas.

2. Segunda etapa: En esta etapa se realiza el ajuste de la temperatura mediante la aplicación de un intercambiador de calor.

3. Tercera etapa: Es la etapa de la extracción donde se coloca la materia prima para su extracción.

4. Cuarta etapa: Es la etapa de la separación donde el gas se descomprime a una presión inferior a la crítica liberando el aceite esencial. (Ruiz Galán 2019)

2.4.2.1. Ventajas e inconvenientes de la extracción con fluidos supercríticos

Tabla 5-2: Ventajas e inconvenientes de la extracción con fluidos supercríticos

Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none">• Altos rendimientos• No contaminante• El aceite no es alterado químicamente• Alterando las condiciones de operación se puede cambiar la composición del aceite	<ul style="list-style-type: none">• Con el aceite esencial también son extraídos ceras, ácidos grasos, entre otros.• Costo de inversión elevada

Fuente: (Ruiz Galán 2019)

2.4.3. Extracción por prensado

El material vegetal es sometido a presión, la cual se puede realizar en prensas continuas o tipo batch tales como el tornillo sin fin de baja o alta presión, extractor expeller, rodillos de prensa, extractor decante y extractor centrifugo. Son ampliamente utilizados en procesos que involucran semillas y frutos cítricos.

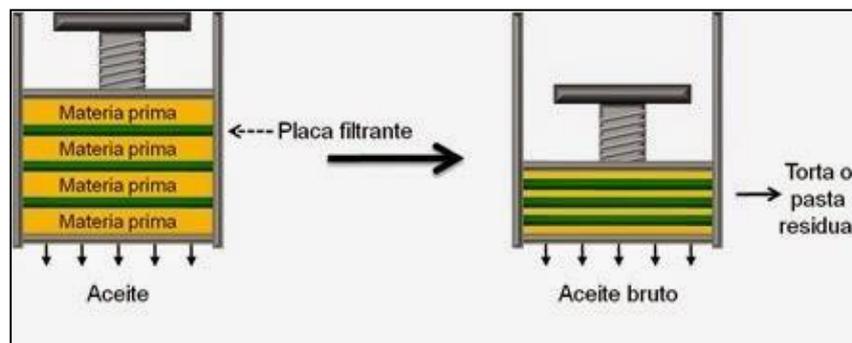


Figura 12-2: Extracción por prensado

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.3.1. Ventajas y desventajas de la extracción por prensado

Tabla 6-2: Ventajas y desventajas de la extracción por prensado

Ventajas	Desventajas
A pesar de ser una tecnología bien conocida hace muchos años atrás aun cuenta con detalles y secretos hacer encontrados.	-Al realizar el prensado el aceite extraído aun cuenta con muchas impurezas que posteriormente debe ser eliminados. -El aceite obtenido se debe conservar en frascos o recipientes a 12°C. -La mezcla de detritos-agua-aceite se centrifuga a 5000rpm durante 40 minutos y el aceite recuperado se coloca en una nevera a 3°C para solidificar ceras y gomas q se localizan en la superficie.

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.4. Enfleurage

Para este tipo de extracción se usa grasas naturales que tengan un punto de ablandamiento alrededor de 40°C, para proceder a la extracción se coloca estas grasas sobre bandejas q cuenten con una profundidad no mayor a 5mm y sobre el mismo se añade las hojas, flores o pétalos los cuales permanecen en contacto por 3 a 5 días.



Figura 13-2: Extracción por enfleurage

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

Posterior a estos días el material vegetal es removido y colocado un nuevo, cuya finalidad es provocar la saturación de la grasa. La misma que después de impregnarse mediante el principio activo “le pomade”, se lava con alcohol libre de congéneres el cual se filtra y se destila al vacío hasta llegar a recuperar el 80% de alcohol, quedando como residuo llamado “absolute”. (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.4.1. Ventajas y desventajas de la extracción enfleurage

Tabla 7-2: Ventajas y desventajas de la extracción enfleurage

Ventajas	Desventajas
Se obtiene una gran calidad del aceite obtenido.	-Requiere mucha mano de obra -Es un método obsoleto, es decir, ya no se usa. -Técnicamente se encuentran superado por otros métodos de extracción

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.5. Hidrodestilación

El proceso de da en la parte inferior del tanque extractor, el cual es normalmente basculante, en el cual se añade agua, y en la parte superior del nivel del agua se coloca una rejilla donde se coloca el material vegetal para ser extraído. La salida del vapor puede ser por la parte superior de la tapa o por lo la parte lateral del tanque, El vapor pasa a un espiral de enfriamiento o serpentín para ser condensado y el aceite pasa a un separador. El tanque extractor es calentado en la parte inferior mediante la aplicación de fuego directo por lo que en la parte inferior del tanque debe estar construido con materiales resistentes a altas temperaturas. El vapor generado por la acción del calor es causante del arrastre del aceite esencial. (Paredes y Quinatoa 2010)

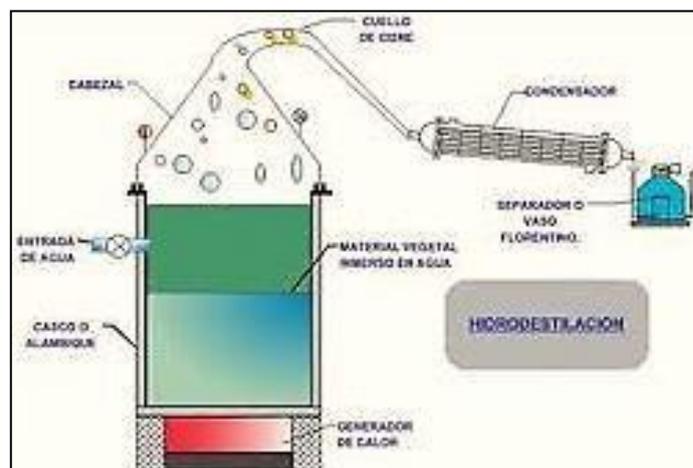


Figura 14-2: Extracción por hidrodestilación

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

Este tipo de extracción usualmente se lo aplica en campo al ser fáciles de instalar y pueden ser llevados de un lugar a otro, ya que no requiere la generación de vapor como en un caldero, además de ser cómodos, seguros y baratos al presentar un consumo energético bajo. Los aceites obtenidos tienden a tener un olor a quemado y cuentan con una mayor coloración en comparación de los

que son obtenidos mediante arrastre de vapor, por lo que siempre van a necesitar una etapa posterior de refinación.

2.4.5.1. Ventajas y desventajas de la extracción por hidrodestilación

Tabla 8-2: Extracción por hidrodestilación

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> -Son económicos -No requiere un generador de vapor o caldero -Son fáciles de instalar, al igual que de desmontar, por lo que se lo puede llevar de un lugar a otro. -Se usan en el campo -Presentan un consumo energético bajo, por lo que son fáciles de operar y seguros. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tienden a presentar un olor a quemado -Los aceites esenciales por este método son más coloreados -Siempre van a requerir una etapa posterior de refinación

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.6. Extracción por arrastre de vapor

En este tipo de extracción es recomendable que la planta se coloca seca (según del tipo de planta). Con ayuda de la caldera se genera que el agua se evapore y el aceite volátil, que a su vez al llegar al condensador se enfría y pasa a un colector que gracias a la acción de la densidad y el paso de tiempo se separa el agua del aceite.

En este proceso se debe considerar la calidad del vapor, es decir, la presión a cuál se tiene mayor rendimiento, la alimentación del material vegetal, la temperatura del vapor, además de tener en cuenta la temperatura de condensación, así como el flujo de agua de refrigeración. (Paredes y Quinatoa 2010)

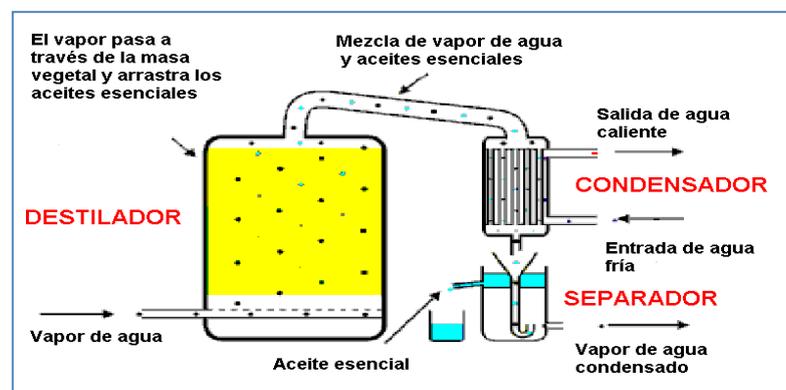


Figura 15-2: Extracción por arrastre de vapor

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.6.1. Ventajas y desventajas de la extracción por arrastre con vapor

Tabla 9-2: Ventajas y desventajas de la extracción por arrastre con vapor

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> -Asegura un producto de calidad, debido a que es un proceso muy limpio. -Se requiere instalaciones básicas para para construcción y mantenimiento del equipo. -Método industrial y de laboratorio. -Se obtiene una eficiencia de extracción muy buena -Se obtiene aceite esencial libre de solventes -Aplicación de principios de Ingeniería Química -Bajos costo de producción -Tecnología no sofisticada. 	<ul style="list-style-type: none"> -Su principal desventaja es sus altas temperaturas de operación, lo que para aceites sensibles al calor es inapropiada. -Si no se realiza una buena operación se puede llegar a obtener una baja calidad en el aceite y con un aroma a tostado.

Fuente: (Paredes y Quinatoa 2010)

2.4.6.2. Etapas del sistema de extracción por arrastre de vapor.

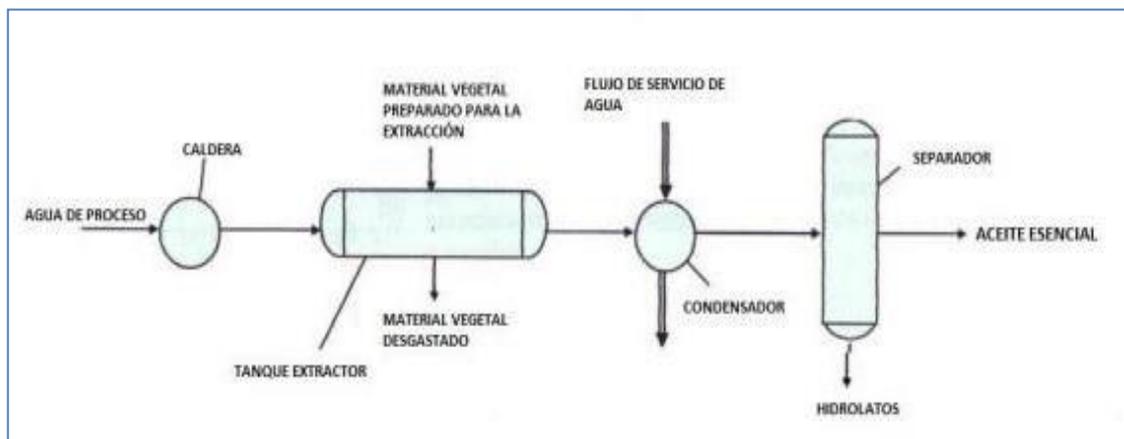


Figura 16-2: Proceso de extracción de arrastre con vapor

1. Primera etapa: Esta etapa se refiere a la extracción mediante arrastre de vapor, para lo cual el vapor generado entra al tanque extractor, llegando a obtener una mezcla de aceite y vapor. Además, el material vegetal residual obtiene mayor cantidad de humedad que al principio de la fase. (Ruiz Galán 2019)

2. Segunda etapa: Es la etapa de la condensación. El vapor generado en el tanque de extracción se somete a un cambio de fase mediante ayuda de un refrigerante que usualmente suele ser el agua.

3.Tercera etapa: en esta etapa se aprovecha la propiedad física de la inmiscibilidad del aceite esencial producido con el agua, además de la alta volatilidad de estos. Permitiendo que se dé su separación, obteniendo como producto el aceite esencial y como subproducto un hidrolato o también denominado agua floral.

2.4.6.3. Componentes del proceso por arrastre de vapor

- **Caldero o generador de vapor:** Es un dispositivo que se usa para generar vapor o calentar agua a una presión mayor a la atmosférica mediante el uso de combustible (pueden ser líquidos, sólidos o gaseosos), el mismo que se coloca en un compartimento, mientras que el agua está otro y se convertirá en vapor.
- **Extractor:** Es el extractor propiamente dicho, el cual generalmente se encuentra construido de acero inoxidable y este compuesto por un fondo falso con agujeros donde se coloca el material vegetal.

Para facilitar el proceso de carga o descarga se coloca una cesta perforada donde va colocado el material vegetal y este descansa sobre el falso fondo. Además, el sistema distribuidor de vapor se encuentra por debajo del falso fondo. En el fondo cuenta con un grifo de desagüe el cual permite la salida de vapor de agua condensada. El tanque extractor cuenta con una tapa que se cierra herméticamente, además que se conecta con el condensador mediante un tubo colocado en la parte superior.

- **Condensador o intercambiador de calor:** Para poder facilitar la separación de los dos líquidos miscibles, el vapor de aceites y de agua entra al condensador pasando a la fase líquida. Las principales razones para el uso del condensador son:
 - ✓ Subir la temperatura de un fluido mediante uno con mayor temperatura.
 - ✓ Se reduce la temperatura de un fluido mediante la aplicación de un fluido con menor temperatura. (condensar un fluido en estado gaseoso por medio de un fluido frío).
- **El separador:** Es el recipiente donde se coloca el fluido obtenido de la extracción y condensación, teniendo en cuenta que el volumen de agua condensada siempre va ser mayor a la cantidad de aceite extraído, por lo que el agua debe ser eliminada continuamente, los separadores son de dos tipos:
 - ✓ Separadores para aceites más livianos que el agua

✓ Separadores para aceites más pesados que el agua.

- **Recolector:** Contiene un volumen y forma apropiada, ya que es el destinado a recoger el aceite esencial, estos deben ser resistentes a la acción corrosiva de los componentes de los aceites, siendo así que los tambores recubiertos internamente con resina de tipo epoxi son de gran utilidad para la recolección y almacenamiento de aceites. (Paredes y Quinatoa 2010)

Factores que influyen en la destilación

- **Tiempo del secado material:** La materia prima húmeda genera hongos por pueden producir que se trasfiera un olor terroso, mohoso el aceite debido a la formación de ácidos grasos, por eso si el material no se procesa dentro de 3 días se dispone en literas para su oreo. (Bermudo Crespo 2019)
- **Tiempo de extracción:** Después de un tiempo de destilación la salida esencial es insignificante y el exceso de vapor de agua causa una disminución en el rendimiento.
- **Presión del vapor:** Se presenta hidrolisis si la presión de vapor de arrastre es muy alta por lo que la calidad del aceite disminuye y su rendimiento.
- **Distribución interior del vapor:** El vapor es un estado en el que puede encontrarse un fluido, siendo el agua como fluido más usado, además el vapor es una fuente de calor de alta eficiencia en determinadas condiciones, posee una alta transferencia de energía en forma de calor latente. El sistema de distribución de vapor tiene un rol de suministrar de manera confiable vapor de alta calidad desde la fuente generadora de vapor hacia los equipos de vapor con las condiciones de caudal y presión requeridas y debe realizarlo con las mínimas pérdidas de calor.
- **Eficiencia del condensador:** Para llegar a tener una mayor una mayor eficiencia en el condensador debe acercarse en la medida posible a la presión de vacío absoluto (diferencia entre la presión entre el condensador y la presión atmosférica). Además, la condensación se logrará aumentar la temperatura del mismo fluido en el sistema, es decir, si la temperatura del vapor que entra es mayor a la saturación es necesario bajarle la temperatura. Siendo así la eficiencia es la relación entre los insumos consumidos por el condensador, agua y vapor y el producto obtenido.

CAPÍTULO III

3. Marco metodológico

3.1. Tipo de estudio

Con la finalidad de llegar a obtener aceite esencial a partir del eucalipto para su comercialización por parte de Planta de Innovación Agropecuarias IFG se llevó a cabo el presente proyecto técnico, el cual se desarrollará mediante la aplicación de métodos investigativos como el inductivo, deductivo y experimental, los cuales brindarán una guía para llegar a cumplir con los objetivos planteados mediante la recolección de información tal como datos, reseñas bibliográficas, entre otras.

3.2. Metodología

Las condiciones de aceptabilidad del producto deben ser tomadas en consideración en el proyecto, al igual que la calidad del mismo hasta la obtención de un producto final que muestre las características propias tanto químicas, físicas, microbiológicas y organolépticas. El producto se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en donde se realizó la simulación o experimentación del proceso a implementar a escala industrial, para lo cual se obtuvo las variables que darán principio al diseño ingenieril de la línea de producción del aceite esencial a obtener.

El aceite esencial de eucalipto se extrajo mediante una destilación por arrastre de vapor mediante el uso de hojas de árboles que crecen de forma silvestre las cuales fueron obtenidas de forma aleatoria simple, pero considerando que las muestras cuenten con características organolépticas como olor, textura.

3.2.1. Métodos

3.2.1.1. Método Inductivo

En el presente proyecto técnico se estudia la posibilidad de obtener aceite esencial, a partir de del muestreo y procesamiento de hojas de eucalipto media. Además, partiendo de un análisis físico-químico de las materias prima, y el procesamiento a la temperatura necesaria y el tiempo requerido se obtendrá las variables de proceso que permitan el diseño ingenieril y que terminará

con la obtención del producto final, mismo que debe cumplir con la normativa ecuatoriana Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 770, aceite crudo o rectificado de Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*).

3.2.1.2. Método Deductivo

Para lograr el dimensionamiento del equipo extractor de aceites esenciales se debe tener en consideración las características generales del producto que se desea obtener. Este método permite que se parta de recolección de información bibliográfica, que permita realizar los cálculos acordes a las condiciones adecuadas de extracción con ayuda de ensayos experimentales en laboratorio, las cual otorgará conocimientos de las operaciones que serán parte del proceso.

3.2.1.3. Método Experimental

Nos permite aplicar de manera técnica el procedimiento a base experimental con ensayos de laboratorio donde se logrará obtener variables y parámetros necesarios para llegar a concluir el proyecto, mediante la utilización de técnicas de laboratorio, equipos, materiales e insumo que permitan que el proceso de transformación de la materia prima a un aceite esencial de calidad que pueda ser comercializado.

3.2.2. Técnicas

La etapa experimental del proyecto se llevó a cabo mediante la aplicación de técnicas que permitan obtener datos, así como de validez el proceso, llegando a cumplir con los objetivos planteados, las mismas que se consideraron a partir de la norma INEN-ISO 770, aceite crudo o rectificado de Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*), que a su vez cita otras normas donde reposan las técnicas especificadas a continuación:

Tabla 1-3: Densidad relativa

Parámetro	Fundamento	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Densidad relativa	Determinación de la relación de masa de un volumen dado del aceite esencial.	ISO 279	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua destilada ✓ Picnómetro ✓ Termómetro ✓ Balanza analítica ✓ Aceite esencial 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpiar el picnómetro, enjuagar con etanol o acetona, secar mediante corriente de aire seco. ✓ Secar el exterior con una tela seca o papel de filtro ✓ Pesar el picnómetro vacío con su tapa ✓ Llenar el picnómetro con agua destilada, secar el exterior y pesar. ✓ Vaciar el picnómetro y secarlo, proceder a colocar la muestra de aceite esencial y pesar el picnómetro. 	$\frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$ <p> <i>m</i>₀: masa del picnómetro vacío <i>m</i>₁: masa del picnómetro con agua <i>m</i>₂: masa del picnómetro con aceite esencial </p>

Fuente: ISO 279

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

Tabla 2-3: Índice de refracción

Parámetro	Fundamento	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Cálculo
Índice de refracción	La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción.	ISO 280	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Refractómetro ✓ Agua destilada ✓ Aceite esencial 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparación de la muestra ✓ Regular el refractómetro ✓ Colocar la muestra en el refractómetro ✓ Leer directamente 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Leer directamente

Fuente: ISO 280

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

Tabla 3-3: Determinación de la miscibilidad en etanol

Parámetro	Fundamento	Norma	Materiales y reactivos	Procedimiento	Calculo
Miscibilidad en etanol	La adición gradual a un aceite esencial, a la temperatura de 20 °C, de etanol de una graduación conocida.	ISO 875	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bureta de 50mL ✓ Pipeta ✓ Balanza analítica ✓ Probeta de 25mL o matraz con tapa ✓ Termómetro 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparación de la muestra ✓ Con una pipeta, introducir en la probeta o matraz 1 mL del aceite esencial, mantener a la temperatura a $20 \pm 0,2$ °C. ✓ Añadir, mediante la bureta, etanol de determinada graduación alcohólica anteriormente llevado a la temperatura de $20 \pm 0,2$ °C, por fracciones de 0,1 mL hasta completa miscibilidad, agitando vigorosamente después de cada adición. Cuando la mezcla está perfectamente límpida, registrar el volumen de la mezcla etanol-agua adicionado. 	Ver tabla 1 de la norma ISO 875, a la temperatura de 20 °C, se expresa de la siguiente forma: 1 volumen de aceite esencial en V volúmenes de etanol de graduación t.

Fuente: ISO 875

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

3.2.3. Experimentación a nivel laboratorio

3.2.3.1. Selección de materia prima

Para la producción de aceite esencial de eucalipto se considera las hojas del árbol como materia prima, teniendo en cuenta que se encuentre en una etapa de crecimiento (tierno) para llegar a obtener mayor cantidad de aceite esencial, ya que, en este estado el eucalipto libera grandes cantidades de aceite como autodefensa para los insectos que se encuentran a su alrededor. Por otro lado, se tiene un aproximado de la materia prima obtenida que cada 1000g se tiene 70g de hojas y el restante son ramas. Además, se debe considerar que para la selección de la materia prima se ha considerado aspectos físicos en la hoja de eucalipto.

Tabla 4-3: Aspecto físicos de la materia prima

Aspecto	Descripción
Presentación	Natural, uniforme sin daños o insectos presentes.
Olor	Característico, libre de olores extraños.
Color	Característico del eucalipto

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

El eucalipto cosechado debe almacenarse en recipientes libres de corrientes de viento, debido a que la fragancia se libera más rápido del eucalipto.

3.2.3.2. Materiales de laboratorio

Los materiales usados en el laboratorio para la elaboración del aceite esencial de eucalipto deben ser adecuados para la realización del proceso, con finalidad de llegar a obtener el mayor rendimiento y un producto final de calidad. Dichos materiales son los siguientes.

Tabla 5-3: Materiales obtención aceite esencial

MATERIALES	USO
Balón esmerilado de 2000mL	También conocido como balón de destilación, donde se calienta uniformemente distintas sustancias.
Balanza analítica	Usado para medir pequeñas masas
Reverbero	Generar calor mediante la aplicación de corriente eléctrica
Pinzas con nuez	Permite sostener firmemente objetos mediante el uso de la doble nuez ligada a un soporte universal

Soporte universal	Donde se sujetan las pinzas de laboratorios mediante dobles nueces, sujetando buretas, embudos de decantación, entre otras.
Erlenmeyer	Contenedor de líquidos, soportando altas temperaturas
Mangueras de látex	Como conductor de gas, agua o sustancias no corrosivas.
Trampa Clevenger	Diseñada para determinar la cantidad de disolución en los aceites esenciales
Picnómetro	Se usa para determinar la densidad del aceite esencial
Termómetro	Medir la temperatura
Embudo de decantación	Se usa para separar líquidos inmiscibles, es decir, decir que no se mezclan debido a sus propiedades.
Probeta	Permite medir un determinado volumen

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

3.2.3.3. Descripción del procedimiento

- ✓ Materia prima (hojas de eucalipto): Se preparo la materia prima para la extracción, la cual se trató de desojar las ramas provenientes de los árboles de eucalipto, además de realizar una selección de las hojas que se encuentren en óptimas condiciones para el proceso, posteriormente se las rejudo de tamaño para colocar en el balón esmerilado.



Figura 1-3: Pesado hoja de eucalipto

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

- ✓ Se realiza un pesado, determinando el peso del balón esmerilado vacío (483,27g) primeramente, seguido del balón esmerilado lleno de hojas de eucalipto (801,14g), el cual por diferencia nos da 317,9g del peso real de la muestra a procesar.

- ✓ Se añade agua destilada al balón que contiene as hojas de eucalipto, el agua añadida cubre la muestra de sólido, siendo un volumen usado de 1600mL.



Figura 2-3: Muestra con agua destilada

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

- ✓ Se arma el equipo de extracción de aceite esencial, que consta del balón esmerilado, Trampa Cleverger, la pera de separación, mangueras de látex y el soporte universal con las pinzas de nuez como se puede ver a continuación:

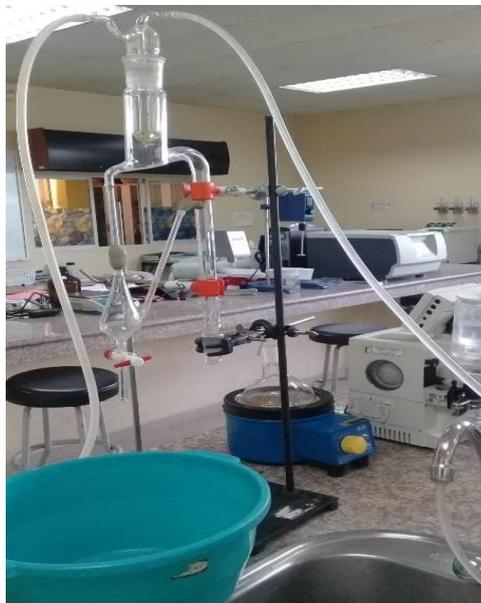


Figura 1-3: Equipo extractor de aceite esencial

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

- ✓ Encender el reverbero hasta que la temperatura de extracción se encuentre entre un rango de 85-90°C.



Figura 3-3: Temperatura de extracción

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

- ✓ Medir la cantidad de agua y la cantidad de aceite esencial obtenido posterior a la extracción por arrastre de vapor, la cual se ubica en la pera de separación como se puede observar a continuación:

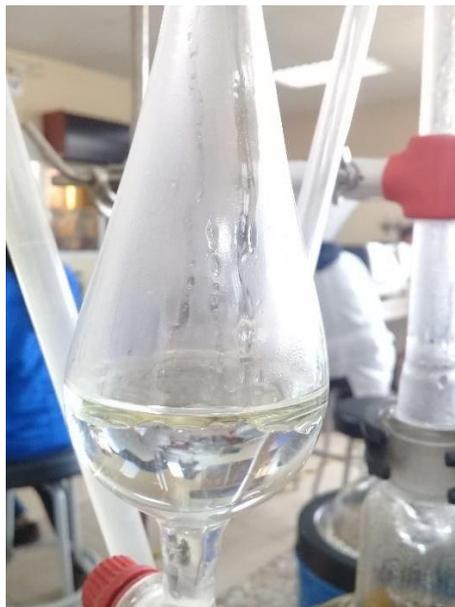


Figura 4-3: Separación del aceite

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

- ✓ Se realiza la separación del agua y el aceite esencial posterior a un tiempo determinado que haya reposado en la pera de separación.



Figura 5-3: Separación del aceite esencial del agua

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

- ✓ El agua extraída se colocó en un vaso de precipitación, mientras que el aceite esencial se coloca en una probeta donde se medirá el volumen obtenido, el cual es de 3,6mL, mismo que se ubicará en un frasco para su conservación.



Figura 6-3: Aceite esencial

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Rendimiento del proceso en el laboratorio

**Do
nd
e:**

V_a = Volumen
obtenido de aceite

ρ_a = Densidad del aceite

M_e = Masa de hojas de
eucalipto

$$\%R = \frac{V_a * \rho_a}{M_e} * 100 =$$

$$\%R = \frac{3,6 \text{ ml} * 0,920}{32}$$

* 100 =

%*R* = 1,04 %

3.2.3.4. Evaluación de la actividad antibacterial del aceite esencial de eucalipto

1. Se realiza la activación de las bacterias, utilizando como medio de cultivo el caldo cerebro corazón el cual se le agrega a 4 tubos de ensayo para activar a diferentes bacterias en cada uno de los tubos, con un contenido de caldo de 5 ml respectivamente.
2. A cada tubo de ensayo se contamina con una bacteria, en el primer tubo con *S. aureus*, en el segundo tubo *E. cloacae*, en el tercer tubo *P. aeruginosa* y en el cuarto tubo *E. coli*
3. Se esteriliza 4 cajas Petri para añadir 18 ml de agar Soya Tróptica a cada una y se las encuba a 35°C por 24 horas, con la finalidad de que el agar sólido forme colonias.
4. Se prepara previamente agar Mueller para luego sembrar con la ayuda de una espátula delta de forma estriada en cada caja Petri que anteriormente estaba con el agar Soya Tróptica (sólido) se lo dejó incubar por 24 horas, con el objetivo de ver la actividad antibacteriana.
5. Con la ayuda de un hisopo se siembran las bacterias en cada caja Petri en la que se colocan las diferentes bacterias y se rotula

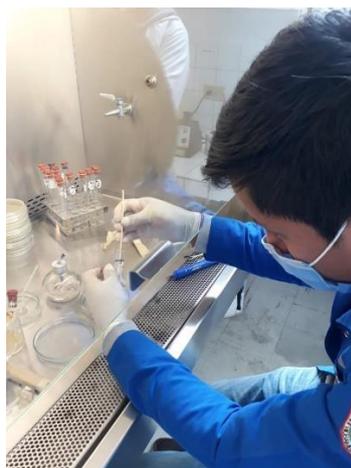


Figura 7-3: Siembra de bacterias
Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

6. En las cajas Petri que contienen soya tróptica y agar Mueller se procede a poner 3 discos, uno en blanco, uno con el antibiótico y el último con una gota de aceite esencial de eucalipto. Se introducen las muestras en la incubadora por 24 horas para proceder a observar los resultados.



Figura 8-3: Introducción de discos en blanco en las cajas Petri
Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

7. Se mide con ayuda de una regla los halos que tienen cada uno de los discos: en blanco, el que contiene la vancomicina y el aceite esencial de eucalipto.
8. Se anota los resultados y se relaciona con las tablas de límites de los diámetros de las zonas de inhibición para sepas patrón.



Figura 9-3: Caja Petri con resultados de E. coli Miuller
Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

3.2.3.5 Diagrama de la extracción de aceite esencial de las hojas de eucalipto en el laboratorio

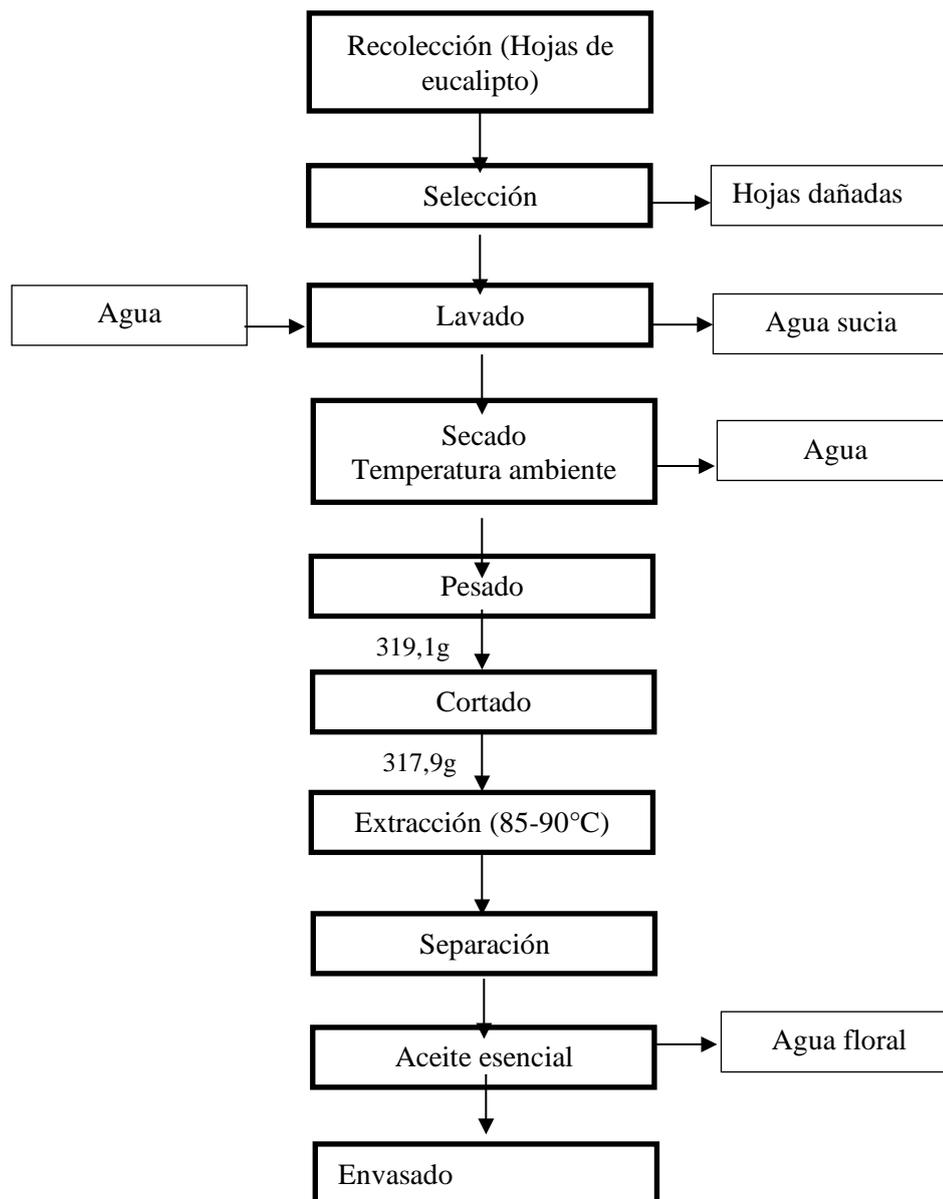


Figura 10-3: Diagrama de proceso en el laboratorio

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

3.2.3.6. Variables del proceso

A continuación, se da a conocer las variables que están implícitas en los procesos u operaciones para obtener como producto final el aceite esencial de eucalipto, dando a conocer las variables importantes y rango a controlar.

Tabla 6-3: Variables del proceso de obtención del aceite esencial

Aceite esencial de eucalipto		
Operación	Descripción	Variable o Parámetro
Extracción	Separación del aceite esencial del material vegetal	Alimentación
		Temperatura
		Tiempo
		Presión manométrica del extractor
		Vapor de agua
Condensador	Convertir el vapor generado (vapor de agua más vapor de aceite esencial) en líquido	Masa total de vapor
		Presión absoluta del vapor al ingreso del condensador
		Temperatura del vapor al ingreso del condensador
		Temperatura del vapor a la salida del condensador
		Diámetro de la tubería
		Flujo del agua

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

3.3. Cálculos ingenieriles

3.3.1. Mesa de selección

La materia prima cuando se encuentra en su fase de crecimiento presenta las siguientes características promedio en 20 hojas considerando la longitud, anchura y peso.

Tabla 7-3: Datos para el dimensionamiento de mesa de selección

Número	Peso (g)	Ancho (cm)	Longitud (cm)
1	2,1	4,6	10,2
2	2,4	4,4	10,1
3	1,8	4,6	10
4	1,8	4,7	8,9
5	2,3	4,6	10,1
6	2,2	4,6	9,6
7	2,2	4,8	8,7
8	1,9	4,3	10,4
9	1,6	3,9	10,1
10	1,8	4,2	9,8
11	1,8	3,8	10
12	2,6	4,7	10,4
13	2,1	4,6	9,8
14	2,3	4,1	10,5
15	2,2	4	10,7
16	2,5	4,7	10,1
17	1,9	4,2	10
18	1,7	4,3	10,6
19	2,6	3,9	9,8
20	2,5	4,8	9,9
Promedio	2,1	4,4	9,9

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Con la información presentada en la Tabla 8-3, se desea realizar una línea de proceso para 3,5Kg de hojas de eucalipto necesarias para la obtención de 500 ml de aceite esencial.

- Numero de hojas promedio en 3,5 Kg

$$N_{hojas} = \frac{\text{Peso a procesar}}{\text{Peso promedio de las hojas}}$$

$$N_{hojas} = \frac{3500}{2,1} = 1666,67 \text{ hojas}$$

- Largo Mesa

$$L_m = \frac{N_h}{s} = \text{Longitud promedio de las hojas}$$

$$L_m = \frac{1667}{9,9 \text{ cm}} = 168,38 \frac{\text{cm} \times 100 \text{ cm}}{1,68 \text{ m}} = 168,38 \text{ m}$$

Para el largo de la mesa se tendrá en consideración un factor de seguridad del 10%, obteniendo:

$$1,68 \times 1,10 = 1,85 \text{ m}$$

- Ancho mesa

$$A_m = \frac{N_{hojas}}{\text{Ancho promedio de las hojas}}$$

$$\frac{1667}{4,4 \text{ cm}} = 378,86 \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ c}} = 3,78 \text{ m}$$

$$3,78 \text{ m} \times 1,10 = 4,15$$

$$\text{m} \text{ Área total de la mesa} = 7,67 \text{ m}^2$$

3.3.2. Diseño del tanque extractor

- Volumen del tanque extractor

Donde:

$$r = \text{radio } h =$$

altura

V = volumen

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

$$V = \pi \times 0,20$$

$$m^2 \times 0,55 m$$

$$V = 0,0691 m^3$$

$$V = 69,11 L$$

- Área transversal

$$A = \frac{\pi *}{4}$$

Donde:

D=diámetro del extractor

$$A = \frac{\pi *}{(0,40$$

$$m)^2 \cdot 4}$$

$$A = 0,13 m^2$$

- Calor sensible

$$Q_s = ma * C_{pa} * \Delta T$$

$$Q_s = ma * C_{pa} * (T_f - T_i)$$

Donde:

ma = masa de agua

C_{pa} = capacidad calorífica del agua

T_i = temperatura inicial

T_f = temperatura final

$$Q_s = 10,5 \frac{K}{Kg} \times 4,18 \frac{J}{K} \times (89 - 18)^\circ C$$

$$Q_s = 3116,19 KJ$$

- Presión absoluta

$$P_{abs} = P_{Man} + P_{atm}$$

Donde:

P_{Man}: Presión Manométrica o presión de trabajo del equipo

P_{atm}: Presión atmosférica local

$$P_{abs} = 2,04 atm + 0,704 atm$$

$$P_{abs} = 2,744 atm$$

$$P_{abs} = 0,2806 \text{ MPa}$$

- Calor latente

Mediante el uso de la TABLA A-4 Termodinámica de Cengel se tiene:

A la presión de 0,2806 MPa $h_{fg} = 2170,77 \frac{KJ}{Kg}$
se tiene h

$$QL = ma * h_{fg}$$

Donde:

$ma =$ masa de
agua

$h_{fg} =$ entalpia
de vaporización

$$QL = 10,5 Kg \times 2170,77 \frac{Kj}{Kg}$$

$$QL = 22793,08 KJ$$

- Calor total de vaporización de agua

$$Qt = Qs + QL$$

Donde:

Qs : Calor
sensible

QL : Calor
latente

$$Qt = 3116,19 KJ + 22793,08 KJ$$

$$Qt = 25909,27 KJ$$

Al ser un proceso donde se genera calor, se tendrá en cuenta un factor de seguridad del 10% que permita posteriormente considerar con el material de construcción del equipo a trabajar

$$Qt = 25909,27 KJ \times 1,10$$

$$Qt = 28500,19 KJ$$

Considerando que la masa de vapor de agua es mayor a la del aceite esencial que se desea extraer, dentro de todo el proceso productivo, los cálculos para la vaporización se realizaran en base al agua, ya que el aceite se mezclara la temperatura de vaporización adecuada generando un “arrastre de vapor”

SUSTANCIA	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)
AGUA	18	45
VAPOR	92	38

$$T_{\text{saturación}} = 89^{\circ}C$$

$$Q_L = 7 \text{ Kg} \times 2170,77 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$Q_L = 15195,39 \text{ Kj}$$

$$Q_s = m v$$

$$C_{pv} \Delta T$$

$$Q_s = 7 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \times 4,21 \frac{\text{Kj}}{\text{K}} \times (89 - 38)^{\circ}C$$

$$Q_s = 1502,97 \text{ Kj}$$

$$Q_t = Q_s + Q_L$$

$$Q_t = 1502,97 \text{ Kj} + 15195,39 \text{ Kj}$$

$$Q_t = 16698,36 \text{ Kj}$$

$$Q_t = 16698,36 \frac{\text{Kj}}{\text{h}} \times 1,10$$

$$Q_t = 18368,19 \text{ Kj}$$

$$Q_t = 16698,36 \frac{\text{Kj}}{\text{h}} \times 0,00027$$

$$Q_t = 4,5 \text{ Kw} \times 1,10$$

$$Q_t = 4,95 \text{ Kw}$$

- Cantidad de Agua requerida

$$Q_{\text{entra}} = Q_{\text{sale}}$$

$$Q_{\text{pierde (vapor+aceite esencial)}} = Q_{\text{gana (agua de refrigeración)}}$$

$$Q_{\text{gana (agua de refrigeración)}} = 18368,19 \text{ Kj}$$

$$Q_{\text{gana (agua de refrigeración)}} = m a C_{pa} \Delta T$$

$$Q_{\text{gana (agua de refrigeración)}}$$

$$m\alpha = \frac{C_p \alpha \Delta T}{C_p \alpha \Delta T}$$

$$ma = \frac{18368,19 \text{ Kj}}{4,18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (38 - 18)^\circ\text{C}}$$

$$ma = 219,71 \text{ Kg} \approx 220 \text{ L}$$

- Tuberías distribución de vapor

Diámetro de la tubería

$$D = \sqrt{\frac{21200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{v}}$$

Donde:

\dot{m} = caudal másico de vapor

v = volumen específico de vapor

v = velocidad máxima de diseño

$$D = \sqrt{\frac{21200 \times 10,5 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times 0,00001298 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}}{1800 \frac{\text{m}}{\text{h}}}}$$

$$D = 0,040 \text{ m}$$

Número de agujeros

$$N = \frac{D^2}{D^2 \text{ perf}}$$

Donde:

D =
diámetro de
tubería

$D^2 \text{ perf}$ = diámetro recomendado por el
fabricante

$$N = \frac{(0,040 \text{ m})^2}{(0,0212)^2 \text{ perf}}$$

$$N = 3,56$$

$N = 4$ en cada tubería de cruce al
liberar vapor

Distancia entre agujeros

$$p = \frac{L}{NL + 1}$$

Donde:

L = longitud brazo transporta vapor

NL = números de agujeros totales en 4 brazos

$$dp = \frac{1,25 m}{16 + 1}$$

$$dp = 0,073 m$$

3.3.3. Diseño del intercambiador de calor

- **Área del tubo condensador**

Se utilizará un tubo condensador para el flujo de la mezcla de vapor y aceite del tipo AISI 304 debido a las condiciones de operación de la línea de producción, por ende, se considera las siguientes dimensiones:

$$\text{Diámetro interno} = 9,2 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro externo} = 13,7 \text{ mm}$$

$$A_{\text{interno}} = \frac{\pi \emptyset^2}{4}$$

Donde:

\emptyset : Diámetro interno

$$A_{\text{interno}} = \frac{\pi(0,0092 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{\text{interno}} = 6,64 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{externo}} = \frac{\pi(0,0137 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{\text{externo}} = 1,47 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Temperatura de ebullición del agua

$$K_{sy} = 0,00012$$

$$P_x = 735 \text{ mmHg}$$

$$P_{\text{ebullición}} = 760 \text{ mmHg}$$

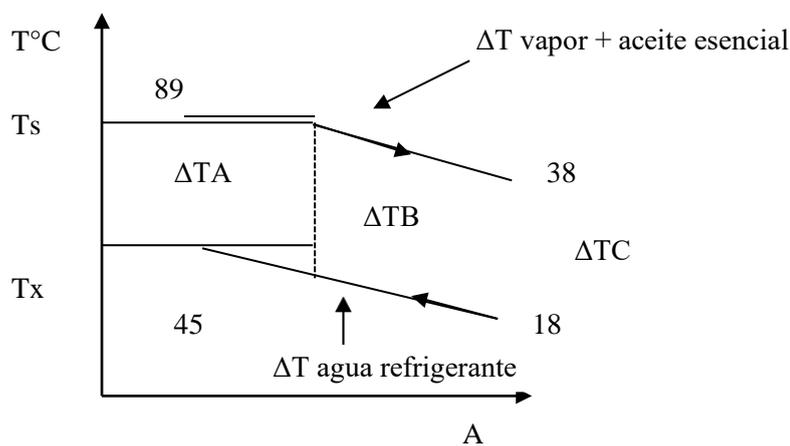
$$T_{\text{ebullición}} = 100^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{ebullición}} = K_{sy}(760 \text{ mmHg} - P_x)(273 + T_{\text{ebullición}} P_x)$$

$$T_{\text{ebullición } P_x} = \frac{100 - 273(0,00012)(760 - 735)}{1 + (0,00012)(760 - 735)}$$

$$T_{\text{ebullición } P_x} = 97,54^\circ\text{C}$$

Diferencia de la temperatura media logarítmica para la condensación



$$T_{A1} = 45^\circ\text{C}$$

$$T_{A2} = 92,25^\circ\text{C}$$

$$T_{B1} = 21,67^\circ\text{C}$$

$$T_{B2} = 89^\circ\text{C}$$

$$MLDT = \frac{\Delta T_B - \Delta T_A}{\ln \frac{\Delta T_B}{\Delta T_A}}$$

$$MLDT = \frac{(89 - 21,67)^\circ C - (92,25 - 45)^\circ C}{\ln \frac{(89 - 21,67)^\circ C}{(92,25 - 45)^\circ C}}$$

$$MLDT = 56,69^\circ C$$

- **Diferencia de la temperatura media logarítmica para enfriamiento**

$$T_{B1} = 21,67^\circ C$$

$$T_{B2} = 89^\circ C$$

$$T_{C1} = 45^\circ C$$

$$T_{C2} = 18^\circ C$$

$$MLDT = \frac{\Delta T_C - \Delta T_B}{\ln \frac{\Delta T_C}{\Delta T_B}}$$

$$MLDT = \frac{(45 - 18)^\circ C - (89 - 21,67)^\circ C}{\ln \frac{(45 - 18)^\circ C}{(89 - 21,67)^\circ C}}$$

$$MLDT = 44,13^\circ C$$

- **Coeficientes convectivos**

- ✓ PRIMERA ITERACION (ASUMIENDO 80°C)

Temperatura del film

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2}$$

$$T_w = 80^\circ C$$

$$T_f = \frac{89 + 80^\circ C}{2}$$

$$T_f = 84,5^\circ C$$

Entalpia de consensacion en el interior de la tuberia

$$\rho_L = 968,78 \frac{Kg}{m^3}$$

$$K_L = 0,6750 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$\mu_L = 337,34 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2}$$

$$Cp_L = 4,19 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C}$$

$$hfg_L = 2297,28 \frac{Kj}{Kg}$$

$$\rho_V = 0,34 \frac{Kg}{m^3}$$

$$h'fg = hfg_L + \frac{3}{8} Cp_L (T_{sat} - T_w)$$

$$h'fg = \frac{K}{g} + \frac{3}{8} 4,19 \frac{K}{g} (89 - 80)^{\circ}C$$

$$h'fg = 2311,42 \frac{Kj}{Kg}$$

$$hi = 0,555 \left[\frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_V)^{\frac{1}{4}} K_L^3 h'fg^4}{\mu_L (T_{sat} - T_w) \phi_i} \right]$$

$$hi = 0,555 \left[\frac{9,8 \frac{m}{K} \times \frac{g}{m} (968,78 \frac{Kg}{m^3} - 0,34 \frac{Kg}{m^3})^{\frac{1}{4}} \times 2311,42 \frac{Kj}{m^3}^3 \times 2297,28 \frac{Kj}{Kg}^4}{337,34 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2} (89 - 80)^{\circ}C \times 0,0092 m} \right]$$

$$hi = 2170,68 \frac{W}{m^2}$$

Temperatura real en la pared del condensador

$$qt = hi \cdot \phi_i \left(\frac{T_e + T_s}{2} \right) = 2170,68 \frac{W}{m^2} \times 0,0092 m \times \left(\frac{97,54 + 45}{2} \right)^{\circ}C$$

$$Qt = 2170,68 \frac{W}{m^2} \times 0,0092 m \times \left(\frac{97,54 + 45}{2} \right)^{\circ}C$$

$$T_w = 59,61^{\circ}C \neq 80^{\circ}C$$

✓ SEGUNDA ITERACION

$$T_w = 59,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura del film

$$Tf = \frac{Ts_{at} + T}{2}$$

$$Tf = \frac{89 + 59,61}{2}$$

$$Tf = 74,30^\circ C$$

Entalpia de consensacion en el interior de la tuberia

$$\rho_L = 975,05 \frac{Kg}{m^3}$$

$$K_L = 0,669 \frac{W}{m^\circ C}$$

$$\mu_L = 386,84 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2}$$

$$C_{pL} = 4,1902 \frac{Kj}{Kg^\circ C}$$

$$h_{fgL} = 2359,45 \frac{Kj}{Kg}$$

$$\rho_V = 0,41 \frac{Kg}{m^3}$$

$$h'fg = h_{fgL} + \frac{3}{8} \epsilon C_{pL} (Ts_{at} - T_w)$$

$$h'fg = \frac{Kj}{Kg} + \frac{3}{8} 4,19 \frac{Kj}{Kg} (89 - 59,61)^\circ C$$

$$h'fg = 2343,45 \frac{Kj}{Kg}$$

$$hi = 0,555 \left[\frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_V) K_L^3 h'fg}{\mu_L (Ts_{at} - T_w) \phi_i} \right]^{1/4}$$

$$hi = 0,555 \left[\frac{9,8 \frac{m}{w^3} \times 975,05 \frac{Kg}{m^3} (975,05 \frac{Kg}{m^3} - 0,41 \frac{Kg}{m^3}) 0,669^3 \frac{W}{m^\circ C} \times 2359,45 \frac{Kj}{Kg}}{386,84 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2} (89 - 59,61)^\circ C \times 0,0092} \right]^{1/4}$$

$$h_i = 1910,94$$

m

Temperatura real en la pared del condensador

$$qt = h_i \cdot \Phi_i \left(\frac{T_e + T_s}{2} \right)$$

$$Q_t = 2170,68 \frac{W}{m^2} \times 0,0092 m \times \frac{97,54 + 45}{2})^\circ C$$

$$0,55 m \times \pi \times (T_w - T_w = 76,89^\circ C \neq 59,61^\circ C$$

✓ TERCERA ITERACIÓN

$$T_w = 76,89^\circ C$$

Temperatura del film

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{89 + 76,89}{2}^\circ C$$

$$T_f = 82,95^\circ C$$

Entalpia de consensacion en el interior de la tuberia

$$\rho_L = 969,48 \frac{Kg}{m^3}$$

$$K_L = 0,674 \frac{W}{m^\circ C}$$

$$\mu_L = 342,98 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2}$$

$$C_{pL} = 4,197 \frac{Kj}{Kg^\circ C}$$

$$h_{fgL} = 2301,25 \frac{Kj}{Kg}$$

$$\rho_V = 0,305 \frac{Kg}{m^3}$$

$$h'fg = h_{fgL} + \frac{3}{8} \epsilon p_L (T_{sat} - T_w)$$

$$h'fg = \frac{K}{j} + \frac{3}{8} 4,197 \frac{K}{j} (89 - 76,89)^\circ C$$

$$g$$

$$h'fg = 2323,58 \frac{Kj}{Kg}$$

$$hi = 0,555 \left[\frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_V)^{\frac{1}{4}} K_L^3 h'fg}{\mu^L} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$(T_{sat} - T_w) \rho_i \quad]$$

h_i

$$h_i = \frac{9,8 \frac{m}{kg} \times 969,48 \frac{kg}{m^3} (969,48 \frac{g}{m^3})^{0,674} \times 2323,58 \frac{Kj}{g}}{342,98 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2} (89 - 76,89)^\circ C \times 0,0092}$$

$$h_i = 2008,25 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Temperatura real en la pared del condensador

$$q_t = h_i \cdot \phi_i \left(\frac{T_e + T_s}{2} \right) = 2008,25 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 0,0092 m \times \left(\frac{97,54 + 45}{2} \right)^\circ C$$

$$T_w = 69,7^\circ C \neq 76,89^\circ C$$

✓ CUARTA ITERACIÓN

$$T_w = 69,7^\circ C$$

Temperatura del film

$$T_f = \frac{T_{sat} + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{89 + 69,7^\circ C}{2}$$

$$T_f = 79,35^\circ C$$

Entalpia de consensacion en el interior de la tuberia

$$\rho_L = 971,8 \frac{kg}{m^3}$$

$$K_L = 0,673 \frac{w}{m^\circ C}$$

$$\mu_L = 353,7 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2}$$

$$C_{pL} = 4,194 \frac{Kj}{kg^\circ C}$$

$$h_{fgL} = 2308,8 \frac{Kj}{kg}$$

$$\rho_V = 0,341 \frac{kg}{m^3}$$

$$h'fg = hfg_L + \frac{3}{8} \epsilon p_L (T_{sat} - T_w)$$

$$h'fg = \frac{K}{j} + \frac{3}{8} 4,194 \frac{K}{j} (89 - 79,35)^\circ C$$

$$h'fg = 2323,97 \frac{Kj}{Kg}$$

$$hi = 0,555 \left[\frac{g \rho_L (\rho_L - \rho_V)^{1/4} K_L^3 h'fg}{\mu (T_{sat} - T_w) \phi_i} \right]^4$$

$$hi = 0,555 \frac{\frac{9,8 \frac{m}{s^2} \times 971,8 \frac{Kg}{m^3} (971,8 \frac{Kg}{m^3} - 0,341 \frac{Kg}{m^3})^{1/4} (0,673 \frac{W}{m \cdot K})^3 (2323,97 \frac{Kj}{Kg})}{353,7 \times 10^{-6} \frac{N \cdot s}{m^2} (89 - 79,35)^\circ C \times 0,0092}}{m^2}$$

$$hi = 2109,50 \frac{W}{m^2}$$

Temperatura real en la pared del condensador

$$qt = hi \cdot \phi_i \left(\frac{T_e + T_s}{2} - T_w \right)$$

$$0,55 \frac{W}{m^2} \times \pi \times (76,34 - \frac{97,54 + 45}{2})^\circ C$$

$$T_w = 76,34 \cong 76,89^\circ C$$

Temperatura promedio para el enfriamiento del fluido

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_b = \frac{89 + 45}{2}$$

$$T_b = 67^\circ C$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{67 + 76,34}{2}$$

$$T_f = 71,67^\circ C$$

$$\Delta T_f = 71,67^\circ C$$

$$\rho_L = 976,54 \frac{Kg}{m^3}$$

$$K_L = 0,667 \frac{W}{m^\circ C}$$

$$\mu_L = 402,14 \times 10^{-6} \frac{N \cdot \text{seg}}{m^2}$$

$$Pr = 2,62$$

- Número de Grashof

$$Gr = \frac{\rho^2 g (T_w - T_b) L_c^3}{\beta \mu^2}$$

$$\beta = 595,4 \times 10^{-6} \frac{1}{K}$$

$$Gr = \frac{(976,54 \frac{Kg}{m^3})^2 \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 595,4 \times 10^{-6} \frac{1}{K} (71,67^\circ C - 67^\circ C) (0,0137 m)^3}{(402,14 \times 10^{-6} \frac{N \cdot \text{seg}}{m^2})^2}$$

$$Gr = 4069861$$

$$Ra = Gr \times Pr$$

$$Ra = 4069861 \times 2,62$$

$$Ra = 106630351$$

Numero de Nusselt

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 Ra^{1/4}}{0,559^{9/16} [1 + (Pr)^{1/4}]}$$

$$Nu = 0,36 + \frac{0,518 (106630351)^{1/4}}{0,559^{9/16} [1 + (2,62)^{1/4}]}$$

$$Nu = 45,41$$

$$he = \frac{Nu \times K}{L_c}$$

$$he = \frac{45,41 \times 0,668}{0,0137 m}$$

$$h e = 2214,15 \overline{m^2 K^\circ}$$

Calor de conveccion en las superficies interiores

$$T_b = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$T_b = \frac{18 + 45}{2}$$

$$T_b = 31,5^\circ C$$

$$T_f = \frac{T_b + T_w}{2}$$

$$T_f = \frac{31,5 + 76,34}{2}$$

$$T_f = 53,92^\circ C$$

$$A T_f = 53,92^\circ C$$

$$\rho_L = 985,9 \frac{Kg}{m^3}$$

$$K_L = 0,65 \frac{W}{m^\circ C}$$

$$\mu_L = 525,7 \times 10^{-6} \frac{N \cdot seg}{m^2}$$

$$C_{pL} = 4,18 \frac{Kj}{Kg^\circ C}$$

$$Pr = 3,51$$

Tubo de acero inoxidable de 4 plg

$$\phi_i = 0,1016 \text{ m}$$

$$\phi_{ext} = 0,1068 \text{ m}$$

$$A_{int} = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$A_{int} = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$A_{\text{interna}} = \frac{\pi(0,1016}{4m)^2}$$

$$A_{\text{interna}} = 8,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Área paso de agua refrigerante

$$A = A_{\text{interna}} - A_{\text{evap}}$$

$$A = 8,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2 - 6,64 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A = 8,04 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

$$V = \frac{219,71 \text{ Kg}}{\text{Kg/h}}$$

$$8,04 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \times 985,9 \text{ m}^3$$

$$V = 27,71 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$V = 0,0077 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Coefficiente convectivo de transferencia de calor

$$\frac{h}{G} \frac{Cp^2}{K} \left(\frac{\mu_s}{\mu} \right)^{0,14} = \frac{0,02}{3^{0,2}} \frac{De}{G} \left(\frac{\mu}{\mu} \right)$$

Donde:

h : Coeficiente convectivo de transferencia de calor

Cp : Calor específico

μ : Viscosidad dinámica

μ_s : Viscosidad dinámica a temperatura de pared

G : Flujo másico

K : Conductividad térmica

De : Diámetro hidráulico

$$De = 0,40 \text{ m} - 0,1016 \text{ m}$$

$$De = 0,2984 \text{ m}$$

$$G = \rho L V$$

$$G = 985,9 \frac{\text{Kg } m}{m^3} \times 0,0077 s$$

$$G = 7,6 \frac{Kg}{m^2 \times s}$$

$$\frac{0,02}{3^{0,2}}$$

$$\frac{De}{G} (\mu)$$

$$0,023$$

$$\frac{0,2984 \text{ m} \times 7,6^{-0,2} \frac{Kg}{m^2 \times s}}{525,7 \times 10^{-6} \frac{N}{m^2}}$$

$$\frac{h}{C} \frac{C}{p G K} \frac{\mu^{0,1}}{\mu^4} = 4,42 \times 10^{-3}$$

$$h = \frac{4,42 \times 10^{-3} C p G}{\frac{C}{p} \frac{\mu^{0,14}}{\mu^3}}$$

$$h = \frac{4,42 \times 10^{-3} \times 4180 \frac{Kj}{K} \times 7,6 \frac{Kg}{m^2 \times s}}{10^{-6} \frac{N}{m} \times 525,7 \times \frac{g}{\text{°C}} \frac{2}{3} \times \frac{3,68 \times 10^{-4}}{10^{-4}}^{0,14}}$$

$$h = 656,12 \frac{W}{m^2 K}$$

- Coeficiente de transferencia de calor en la condensación

$$Uc = \frac{hc \times ho}{hc + ho}$$

$$Uc = \frac{W}{m^2} 2109,50$$

$$\begin{array}{r}
 \underline{w} \ 2109,50 \ m^2 \\
 \hline
 x \ 656,12 \\
 \underline{w} \\
 \begin{array}{r}
 m \\
 2 \\
 K \\
 + \ 656,12 \\
 \underline{w} \\
 m \\
 2 \\
 K
 \end{array} \\
 \\
 U_c = 500,46 \ \frac{w}{m^2 \cdot C} = 1800,78 \ \frac{Kj}{m^2 \cdot C}
 \end{array}$$

- Coeficiente global de transferencia de calor en subenfriamiento

$$Ue = \frac{h_e \times h_o}{h_e + h_o}$$

$$Ue = \frac{2214,15 \frac{W}{m^2 K} \times 656,12 \frac{W}{m^2 K}}{2214,15 \frac{W}{m^2 K} + 656,12 \frac{W}{m^2 K}}$$

$$Ue = 506,21 \frac{W}{m^2 K} = 1821,47 \frac{W}{m^2 C}$$

- Área de transferencia de calor necesaria en la condensación

$$Ac = \frac{q_l}{U_c LMT D_c F}$$

$$Ac = \frac{3116,19 \text{ Kj}}{\frac{1800,78 \frac{W}{m^2 C} \times 56,69 C \times 1}{KJ}}$$

$$Ac = 0,030 m^2$$

- Área de transferencia de calor necesaria en el subenfriamiento

$$Ae = \frac{q_s}{U_e LMT D_e F}$$

$$Ae = \frac{1502,97 \frac{Kj}{KJ}}{1821,47 \frac{W}{m^2 C} \times 44,13 C \times 1}$$

$$Ac = 0,018 m^2$$

- Área total de transferencia de calor

$$At = Ac + Ae$$

Donde:

Ac: Área de transferencia de calor necesaria en la condensación

Ae: Área de transferencia de calor necesaria en el sub enfriamiento

$$At = 0,030 \, m^2 + 0,018 \, m^2$$

$$At = 0,068 \, m^2$$

- Longitud del condensador

$$L = \frac{At}{\pi Dext}$$

$$L = \frac{0,068 \text{ m}^2}{\pi 0,01016 \text{ m}}$$

$$L = 2,10 \text{ m}$$

3.3.4. Selección de la Bomba

$$ma = 219,71 \text{ Kg/h}$$

$$T^{\circ} \text{ agua} = 18^{\circ} \text{ C}$$

$$\rho = \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 998,8$$

- Caudal

$$Q = \frac{ma}{\rho}$$

$$Q = \frac{219,71 \text{ Kg/h}}{\frac{998,8 \text{ Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q = 6,12 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$As = \frac{Q}{Vs}$$

$$As = \frac{6,12 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$As = 3,22 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\pi Ds^2$$

$$As = \frac{1}{4}$$

$$D_s = \sqrt{\frac{4 A_s}{\pi}}$$

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \times 3,22 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_s = 6,40 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D_s =$$

$$0,25$$

- Cabeza estática de succión $D_s = \frac{1}{4} \text{ plg}$

$$h_s = -h_{ed} + h_f + h_a + h_{pmd}$$

$$\text{Altura del liquido en el tanque} = 0,4$$

- Pérdidas por fricción en la cabeza de succión

$$h_f = \left(\frac{L}{\phi}\right) \frac{V d^2}{2g}$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{V}{\phi V}$$

$$Re = \frac{1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0127 \text{ m}}{1,072 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 22509,32$$

$$\epsilon = 0,0015 \text{ tubo PVC}$$

$$\epsilon r = \frac{\epsilon}{\phi S}$$

$$\epsilon r = \frac{0,001}{5 \times 12,7}$$

$$\epsilon r = 0,000118$$

$$h_f = \left(\frac{L}{\phi}\right) \frac{V}{d \cdot 2g}$$

$$0,15 \text{ m} \left(1, \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$hf = 0,024 \left(\frac{\quad}{0,0127} \frac{\underline{\underline{5m}}}{2x} \frac{\quad}{9,8} \frac{\quad}{s^2} \right)$$

$$hf = 0,052 \text{ m}$$

Perdidas por accesorios

$$ha = \sum \frac{K V^2}{2g}$$

$$ha = 0,6 \frac{(1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$ha = 0,1105 \text{ m}$$

$$hs = -hed + hf + ha$$

$$hs = -0,40 + 0,052 \text{ m} + 0,1105 \text{ m}$$

$$hs = -0,2375 \text{ m}$$

- Condiciones de descarga

$$A = \frac{Q}{Vd}$$

$$Vd = 5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = V \times A$$

$$Ad = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$Q = v \times \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$v = \frac{4Q}{\pi \phi^2}$$

$$v = \frac{4(6,12 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\pi}$$

$$(0,0127)^2$$

$$v = 4,83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Ad = \frac{6,12 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4,83 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$Ad = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Ad = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$Ds = \sqrt{\frac{4 Ad}{\pi}}$$

$$Ds = \sqrt{\frac{4 \times (1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{\pi}}$$

$$Ds = 0,0126 \text{ m}$$

$$Ds = \frac{1}{2} \text{ plg}$$

- Cabeza estática de descarga

$$hd = -hed + hf + ha + hpm$$

$$\text{Altura del liquido en el tanque} = 0,55 \text{ m}$$

Pérdidas por fricción en la cabeza de succión

$$hf = \left(\frac{L}{\phi}\right) \frac{V}{d} \frac{1}{2g}$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{V}{\phi \nu}$$

$$Re = \frac{5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0127 \text{ m}}{1,072 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 61604,47$$

$$\epsilon = 0,0015 \text{ tubo PVC}$$

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

$$\epsilon r = \frac{0,0015}{12,7}$$

$$\epsilon r = 0,000118$$

$$hf = \left(\frac{L}{\phi}\right) \frac{V}{d} \frac{1}{2g}$$

$$0,31 \text{) (5,2}$$

$$76$$

m)²

$$hf = 0,024 \left(\frac{\quad}{0,0127} \frac{\quad}{2x} \frac{\underline{m}}{9,8} \frac{\quad}{s^2} \right)$$

$$hf = 0,80 \text{ m}$$

Pérdidas por accesorios

$$ha = \sum \frac{K V^2}{2g}$$

$$ha = 2,7 \frac{(5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$ha = 3,72 \text{ m}$$

$$hd = -hed + hf + ha$$

$$hs = -0,55 + 0,80 \text{ m} + 3,72 \text{ m}$$

$$hs = 3,97 \text{ m}$$

Altura efectiva

$$ht = hs + hd$$

$$ht = -0,2375 \text{ m} +$$

$$3,97 \text{ m} \quad ht = 3,73 \text{ m}$$

NPSH

$$NPSH = \frac{Pb}{\gamma} + hes - \frac{Pv}{\gamma}$$

$$Pb = 10,25 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} = 1487,87 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$Pv = 0,30554 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} = 44,35 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}$$

$$\gamma = 9,8 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 62,39 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\frac{Pb}{\gamma} = \frac{1487,87 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}}{62,39 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}$$

$$\frac{Pb}{\gamma} = 23,8478 \text{ ft}$$

$$\frac{Pb}{\gamma} = 7,2664 \text{ m}$$

$$\frac{Pv}{\gamma} = \frac{44,35 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}}{62,39 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}$$

$$\frac{Pv}{\gamma} = 0,7108 \text{ ft}$$

$$\frac{Pv}{\gamma} = 0.2166 \text{ m}$$

$$NPSH = 7.2664 \text{ m} + 0,8 - 0,0765 - 0.2166 \text{ m}$$

$$NPSH = 7,77 \text{ m}$$

$$BOMBA = 0,5 \text{ Hp}$$

Tiempo de residencia

$$t = 100 \times \frac{\mu_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}} - \rho_{\text{aceite}}}$$

donde:

μ_{agua} = viscosidad de agua a la temperatura en la mezcla

ρ_{agua} = densidad de agua a la temperatura en la mezcla

ρ_{aceite} = densidad de aceite a la temperatura en la mezcla

$$t = 100 \times \frac{3,60 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg seg}}{\text{m}^2}}{971,8 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} - 922 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$t = 7,23 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 2,11 \text{ h}$$

Volumen del decantador

$$V = Q \times t$$

donde:

Q = caudal de salida agua y aceite esencial

t = tiempo de extracción

$$V = 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 2,11 \text{ h}$$

$$V = 0,46 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \left(\frac{L}{FD} \right)^5$$

$$V = 0,46 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 1$$

$$V = 0,092 \text{ m}^3$$

Eficiencia térmica del equipo extractor

$$\varepsilon = \frac{Q_{requerido}}{Q_{sum} - Q_p} \times 100$$

$$Q_{requerido} = 18368,19 \text{ Kj}$$

$$Q_{suministrado} = 28500,19 \text{ Kj}$$

$$Q_p = Q_{sum} \times 0,10$$

$$\varepsilon = \frac{18368,19 \text{ Kj}}{28500,19 \text{ Kj} - 2850,19} \times 100$$

$$2850,19$$

$$\varepsilon = 70,86$$

BALANCE DE MASA

- Balance de masa agua

$$\begin{aligned} \text{masa agua}_{entrada} &= \text{masa} \\ \text{agua}_{condensada} &+ \text{masa agua}_{residual} \\ &+ \text{masa} \\ &\text{agua}_{residual} \\ &\text{eucalipto} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{masa agua}_{residual eucalipto} \\ &= \text{masa agua}_{entrada} - \text{masa} \\ &\text{agua}_{condensada} - \text{masa} \\ &\text{agua}_{residual} \end{aligned}$$

$$\text{masa agua}_{residual eucalipto} = 17,62 \text{ Kg} - 11,83 \text{ kg} - 4,56 \text{ Kg}$$

$$\text{masa agua}_{residual eucalipto} = 1,23 \text{ Kg}$$

- Balance de masa aceite esencial

$$F_{XF} = R_{XR} + D_{XD}$$

$$F_{XF} = D_{XD}$$

$$XF = \frac{D_{XD}}{F}$$

$$XF = \frac{349}{\text{---}}$$

3500

$$\mathbf{XF} = 0,009$$

CAPITULO IV

4. Resultados

4.1. Resultados del diseño de equipos

Los resultados obtenidos de cada equipo diseñado para la obtención de aceite esencial de eucalipto se muestran a continuación, donde se ha tenido en consideración la cantidad de producción propuesta por la empresa.

Tabla 1-4: Resultados de diseño de equipos

Descripción	Valor	Unidad
Mesa de selección		
Número de hojas promedio	1666,67	Unidades
Ancho de la mesa	1,85	<i>m</i>
Largo de la mesa	4,25	<i>m</i>
Tanque extractor		
Capacidad del tanque extractor	3,5	<i>Kg</i>
Volumen del tanque extractor	69,11	<i>L</i>
Área transversal del tanque extractor	0,13	<i>m²</i>
Altura del tanque extractor	0,55	<i>m</i>
Cantidad de agua requerida para refrigeración	220	<i>L</i>
Diámetro del Tanque extractor	0,4	<i>m</i>
Calor sensible	3116,19	KJ
Presión absoluta	0,2806	<i>MPa</i>
Calor latente	22793,08	<i>KJ</i>
Calor total de vaporización de agua	28500,19	<i>KJ</i>
Cantidad de agua requerida	220	<i>L</i>
Tubería de distribución de vapor		
Diámetro de tubería vapor de agua	0,040	<i>m</i>
Numero de agujeros distribuidor de vapor en cruz	16	Unidades
Separación de agujeros distribuidor de vapor en cruz	0,073	<i>m</i>
Intercambiador de calor		
Área del tubo condensador interno	$6,64 \times 10^{-5}$	<i>m²</i>
Área de tubo condensador exterior	$1,47 \times 10^{-4}$	<i>m²</i>

Diferencia de la temperatura media logarítmica para la condensación	56,69	$^{\circ}C$
Diferencia de la temperatura media logarítmica para enfriamiento	44,13	$^{\circ}C$
Longitud del condensador	2,10	m
Selección de la bomba		
Caudal	$6,12 \times 10^{-5}$	$\frac{m^3}{s}$
Pérdidas por fricción	0,052	m
Pérdidas por accesorios	-0,2375	m
Potencia de la bomba	0,5	Hp

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.2. Resultados del tiempo de extracción

Tabla 2-4: Datos de la extracción

Tiempo (min)	Aceite (mL)	Temperatura de extractor ($^{\circ}C$)
0	0	15
5	0	19
10	0	21
15	0,8	47
20	1,8	59
25	2,1	71
50	2,4	81
55	2,5	85
60	2,6	85
65	2,6	85
70	2,7	86
75	2,8	86
80	2,8	86
85	2,9	86
90	2,9	87
95	3,0	87
100	3,0	89
105	3,1	88
110	3,2	88
115	3,3	89
120	3,4	89
125	3,5	90
130	3,6	90
135	3,6	90
140	3,6	90

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

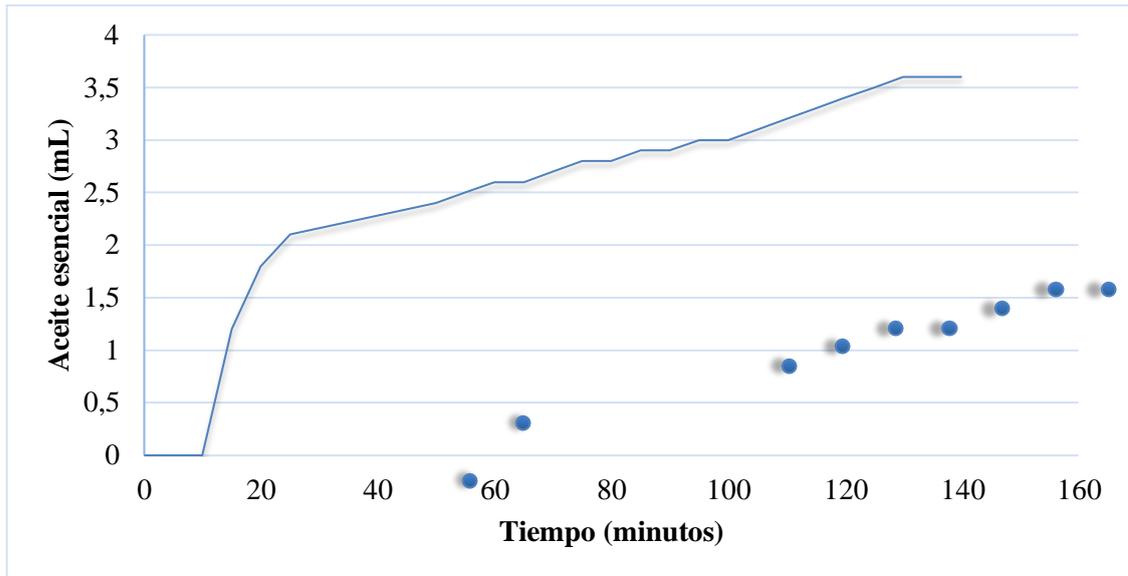


Gráfico 1-4: Cantidad de aceite esencial vs el tiempo de extracción

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

En el Grafico 1-4 se puede observar que en los primeros 10 minutos existe un tiempo muerto en comparación con la relación de obtención de aceite esencial, cual corresponde al tiempo de donde se inyecta calor al proceso hasta la aparición del primero condensado de aceite esencial.

En los 50 minutos posteriores de la extracción se llega a obtener la mayor cantidad de aceite esencial y mientras el tiempo sigue trascurriendo la cantidad de aceite extraído disminuye hasta hacerse constante.

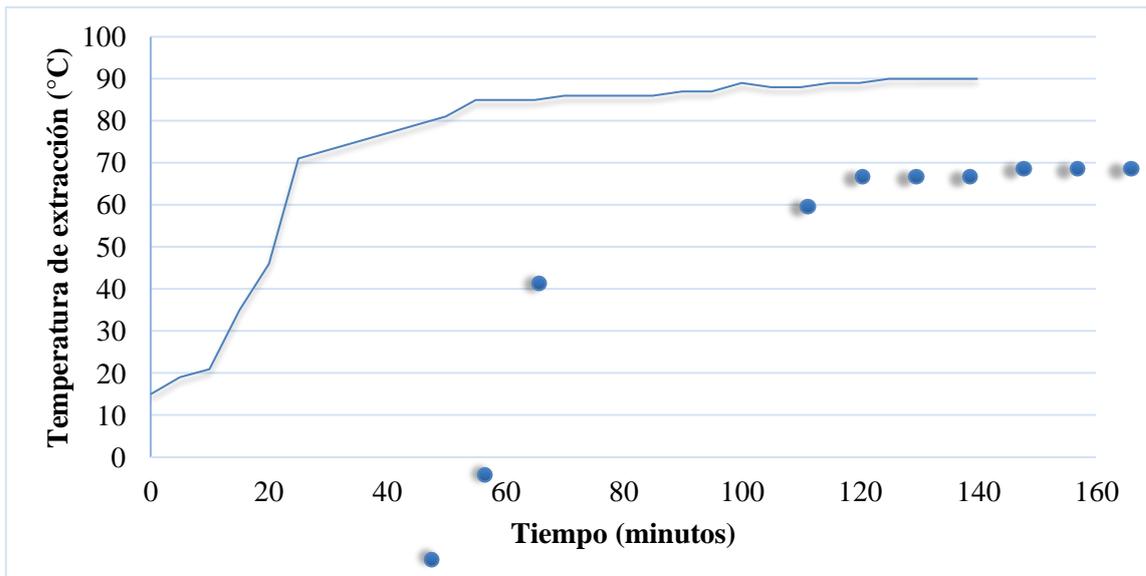


Gráfico 2-4: Temperatura de extracción vs tiempo

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Además, se tiene en la Grafica 2-4 que a medida que el tiempo avanza la temperatura aumenta, teniendo en consideración que posterior de los 60 minutos la temperatura tiende a ser constante, la temperatura es una variable fundamental, ya que si esta sube demasiado el aceite esencial obtendrá un olor a quemado.

4.3. Validación del proceso y producto

Se lleva a cabo la caracterización del producto final obtenido para realizar la validación del mismo. La cual se basa en la normativa ecuatoriana NTE INEN-ISO 770, aceite crudo o rectificado de Eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*). En donde se encuentra especificada los valores óptimos que debe contener el aceite esencial.

Tabla 3-4: Resultados organolépticos

Parámetro	Condición
Estado	Líquido a temperatura ambiente
Color	Incoloro
Olor	Alcanforado

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.3.1. Índice de refracción



Figura 1-4: Índice de refracción

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

El índice de refracción determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo, varía según la longitud de onda de la luz considerada. Este parámetro posee un gran interés debido a que se puede detectar adulteraciones y envejecimiento, su principal beneficio es la sencillez y rapidez con la que se puede obtener. Siendo el índice de refracción obtenido de 1,46132, que según algunos autores describen que va desde 1,4580 hasta 1,4700.

4.3.2. Densidad



Figura 2-4: Peso del picnómetro
Realizado por: William David Farinango Guzmán, 2021

Casi todos los aceites esenciales poseen una densidad menor a la del agua, con algunas excepciones como del ajo, canela y clavo de olor. La densidad del aceite esencial varía desde 0,906 a 0,927g/mL. Mediante la siguiente ecuación se tiene la densidad:

$$\rho = \frac{\text{masa}_{\text{picnómetro+aceite}} - \text{masa}_{\text{picnómetro}}}{\text{Volumen}_{\text{picnómetro}}}$$

$$\rho = \frac{24,393 \text{ g} - 15,194 \text{ g}}{10 \text{ mL}}$$

$$\rho = 0,920 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$$

4.3.3. Espectrometría de Infrarrojo

La realización de la espectroscopia infrarroja es usada para comprobar que el aceite esencial obtenido está compuesto por los componentes principales que lo conforman. Cada uno de los componentes tienen un espectro IR característico presentando pico o bandas de absorción en número de ondas determinadas. El análisis proveniente de la muestra del aceite esencial de

eucalipto nos dio como resultado el espectro que se muestran a continuación:

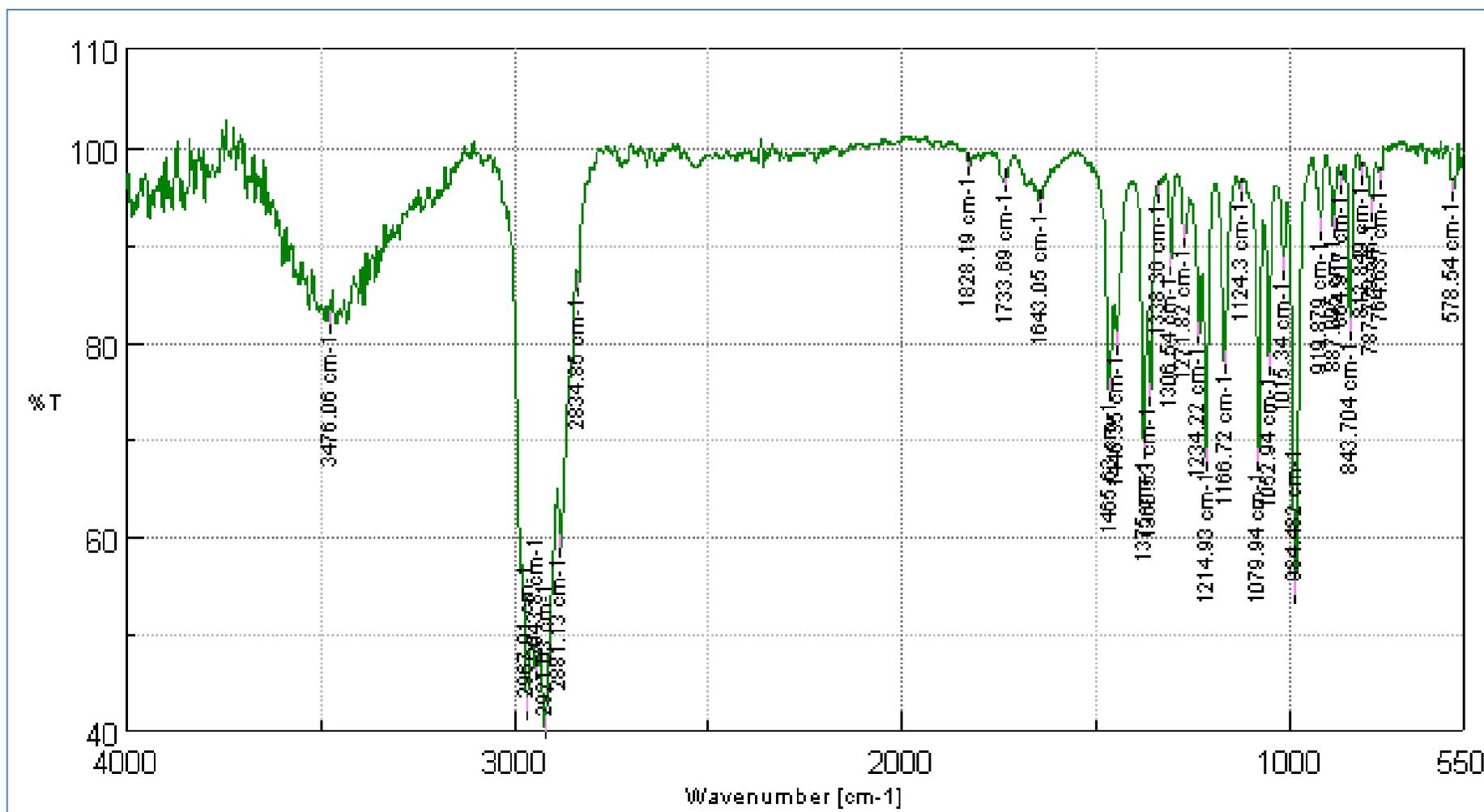


Gráfico 3-4: Espectroscopia infrarroja del aceite esencial de eucalipto

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

En los Gráficos 3-4 se puede observar que al realizar el análisis infrarrojo de las muestras de *Eucalyptus globulus Labill*, las cuales dan a conocer el grupo funcional orgánico que se encuentra en el aceite esencial, las mismas que se especifican a continuación en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Resultados de la espectroscopia infrarroja del aceite esencial

Números de onda observados (cm-1)	Asignación de picos	Asignación de picos	Grupo funcional
2967.91	42.0751	Estiramiento C-H	Alcano
2921.63	40.2987	Estiramiento C-H	Alcano
1733.69	96.3751	C=O carbonilo	Aldehídos, cetonas
1465.63	74.8111	C-H metil	Alcohol y fenol
1446.35	79.6728	OH en plano	Alcohol y fenol
1375	69.0147	OH en plano y plegado C-H	Alcohol y fenol
1360.53	74.3955	Flexión de vibración de enlaces O-H	Alcohol y fenol
1306.54	87.773	Estiramiento simétrico C-C	Alcohol y fenol
1214.93	67.6598	Estiramiento C-N	Aminas
1166.72	77.6926	S=O vibración de estiramiento asimétrico del ácido sulfúrico	Aminas
984.482	54.1067	Estiramiento C-O	Alcohol
843.704	81.0019	Estiramiento C-O	Alcohol
787.779	93.3809	Estiramiento O-H-O	Alcohol y fenol

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

4.3.4. Validación de la actividad antibacterial del aceite esencial de eucalipto

4.3.4.1. Pruebas microbiológicas de los límites de inhibición del aceite esencial de eucalipto

Bacteria	Disco en blanco	Aceite esencial de eucalipto	Antibiótico (Vancomicina)
	Diámetro de halo de sensibilidad (mm)	Diámetro de halo de sensibilidad (mm)	Diámetro de halo de sensibilidad (mm)
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	8	20
<i>Enterobacter cloacae</i>	0	6	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0	11	0
<i>Escherichia coli</i>	0	23	0

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

Con respecto al *Staphylococcus aureus* para el disco en blanco el diámetro del halo de sensibilidad medido es 0 mm, ya que no contiene ningún antibiótico y las bacterias contaminaron el disco al no poseer estas cantidades de esencia ni de antibiótico. Mientras que con el aceite esencial de eucalipto se pudo visualizar el diámetro de halo de sensibilidad de 8 mm esto quiere decir que el aceite de eucalipto inhibe la presencia de bacterias de *Staphylococcus aureus*. La bacteria de *Staphylococcus aureus* con el antibiótico de vancomicina presento un diámetro de halo de sensibilidad de 20 mm, esto quiere decir que el antibiótico repele la bacteria *Staphylococcus aureus* mientras que el aceite esencial de eucalipto logra alcanzar los 8 mm en inhibir la bacteria que en conclusión el aceite esencial de eucalipto está recomendado para consumirse para inhibir la bacteria de *Staphylococcus aureus*.

En la experimentación del *Enterobacter cloacae* se puede observar que el disco en blanco presento una contaminación completa ya que no se le añadió ni aceite natural de eucalipto ni ningún antibiótico. Mientras que para el aceite esencial de eucalipto se pudo observar un diámetro de 6 mm de sensibilidad de halo. Para el antibiótico vancomicina se puso observar que tuvo un diámetro de sensibilidad de halo de 0 mm ya que este antibiótico es específicamente para la bacteria *Staphylococcus aureus* lo cual en el disco de *Enterobacter cloacae* se observó que se contamina totalmente con el disco de la bacteria, esto quiere decir que el aceite esencial de eucalipto natural inhibe la bacteria y puede ser consumido por el ser humano

La bacteria *Pseudomonas aeruginosa* al poner el disco en blanco y esperar 24 horas se puede observar que se contamina en su totalidad ya que no poseía ningún antibiótico ni aceite natural,

mientras que en el disco en blanco añadido una gota de aceite esencial de eucalipto se pudo observar un halo de sensibilidad de 11mm.

Al observar el disco en blanco del antibiótico de vancomicina se observó un halo de sensibilidad de 0 mm lo cual nos indica que el antibiótico no inhibe a la bacteria de *Pseudomonas aeruginosa*, esto quiere decir que el aceite esencial de eucalipto inhibe a la bacteria lo cual el antibiótico de vancomicina no lo hace y por tanto es de gran ayuda para el consumo del ser humano.

En el estudio de laboratorio la bacteria *Escherichia coli* se observó en el disco en blanco que bacteria lo contamina al 100%, al observar el disco con la muestra de aceite esencial de eucalipto natural se observó un halo de sensibilidad de 23mm siendo este el halo más grande visibilizado en las muestras con respecto a las muestras anteriores. Al ver la muestra que contiene la bacteria *Escherichia coli* con el disco con el antibiótico de vancomicina lo contamina en su totalidad lo que se concluye en general que el aceite esencial de eucalipto es de gran utilidad para combatir contra las bacterias en diferente diámetro de halos y que es en algunos casos más poderosa que el mismo antibiótico.

4.4. Proceso de Producción

Teniendo en consideración la experimentación realizada en laboratorio, y la necesidad de la empresa se tiene la cantidad de materia prima a procesar, donde la producción del producto final será de 300mL y se necesita las siguientes cantidades de materia prima e insumos.

4.4.1 Materia prima para la obtención de aceite esencial de eucalipto

Tabla 5-3: Materia prima

Materia prima	Cantidad	Unidad
Hojas de eucalipto	3,5	<i>K</i> <i>g</i>

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

Tabla 6-3 Insumos para la producción del aceite esencial

Insumos	Cantidad	Unidad
Frascos con gotero	30	Unidad

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

4.4.2. Diagrama de proceso de obtención de aceite esencial a escala industrial

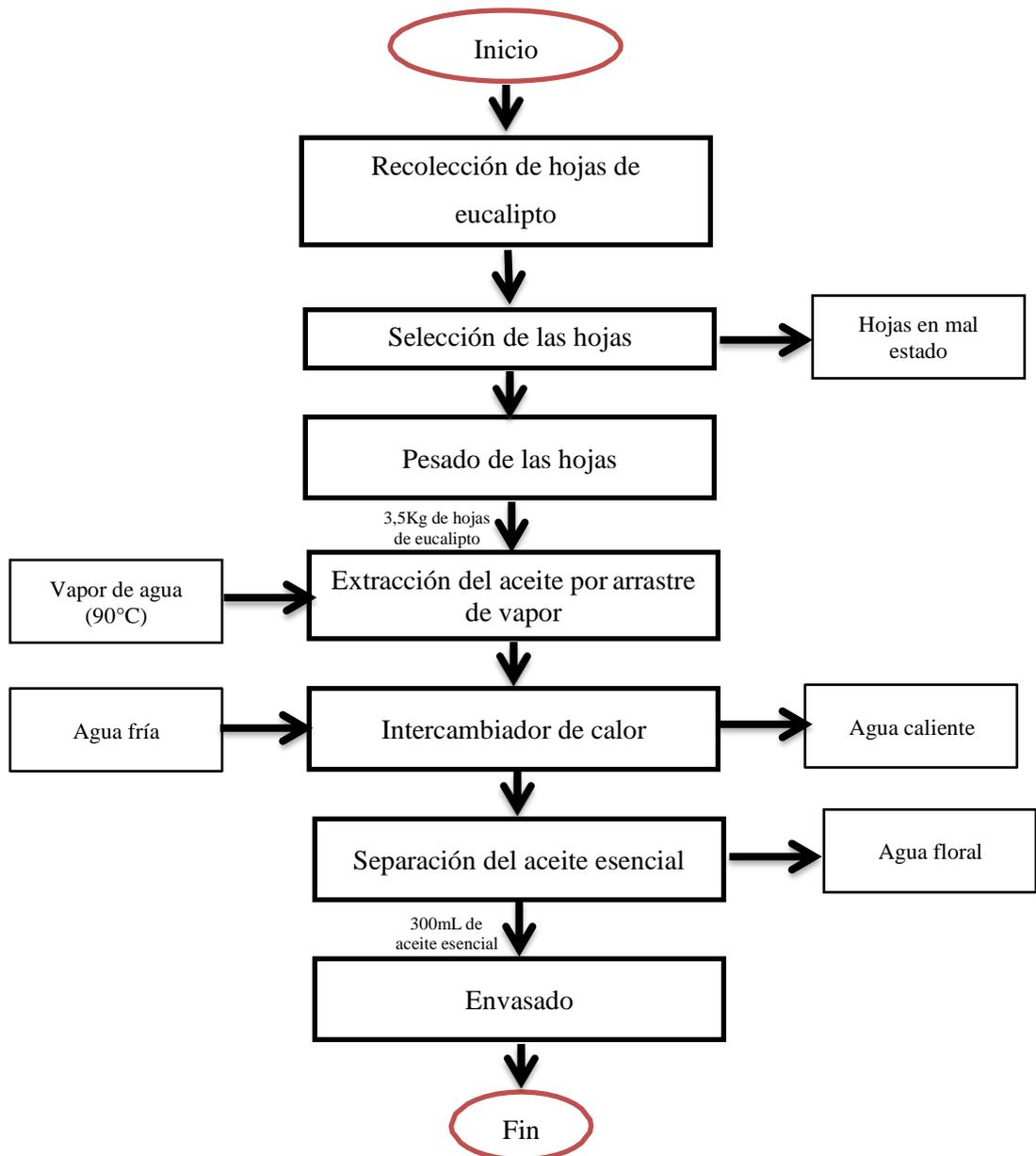


Figura 3-4: Proceso de obtención del aceite esencial

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

4.4.3. Distribución y diseño de la planta

El proceso diseñado para la elaboración de aceite esencial de eucalipto está basado en medias arbitrarias que se encuentran dentro del área de implementación que en la empresa IFG Innovaciones Agropecuarias ubicada en Ibarra – Ecuador tiene disponible para implementar este proyecto, mismo que cuenta con un área aproximada de 360 m² (18m x 20m).

Puesto que la planta será una de las primeras implementadas con este fin, debe contar con diversas áreas a parte del área de producción en donde se elabora el producto. A continuación, se describen de manera breve cada una de ellas.

- **Área de recepción de la materia prima:** Esta área esta dispuesta con la finalidad de recepcionar las hojas de eucalipto, antes de ingresar al área de producción con la primera operación de selección de la misma.
- **Área de control de la producción:** Como en cada empresa se debe contar con una rea de control de producción para cerciorarse que el proceso diseñado sea adecuado en todo momento para evitar fallas en el producto final.
- **Área de producción:** En esta área es donde se realiza todas operaciones necesarias y diseñadas para la obtención de aceite esencial de eucalipto, pues incluyen operaciones unitarias como: destilado, decantación.
- **Área de envasado y almacenamiento:** Es necesario que se disponga un área exclusiva para el envasado y almacenamiento del producto, pues lo ideal es que los envases sean de vidrio (ámbar) y sean esterilizados antes de llenar con el producto, de igual forma el almacenamiento es recomendable se realice en un lugar fresco y seco.
- **Área de esparcimiento:** Además de las áreas de producción y demás dispuestas para la elaboración de aceite esencial de eucalipto, es necesario contar con un espacio adecuado para el descanso.

4.4.4. Capacidad de obtención del producto

La capacidad de obtención del aceite esencial de manera industrial, partiendo de 3,5Kg de hojas de eucalipto se llega a obtener 300mL diarios, volumen que será envasado en frascos de 10mL. Además, se debe tener en consideración que la producción se llevará a cabo de lunes a viernes.

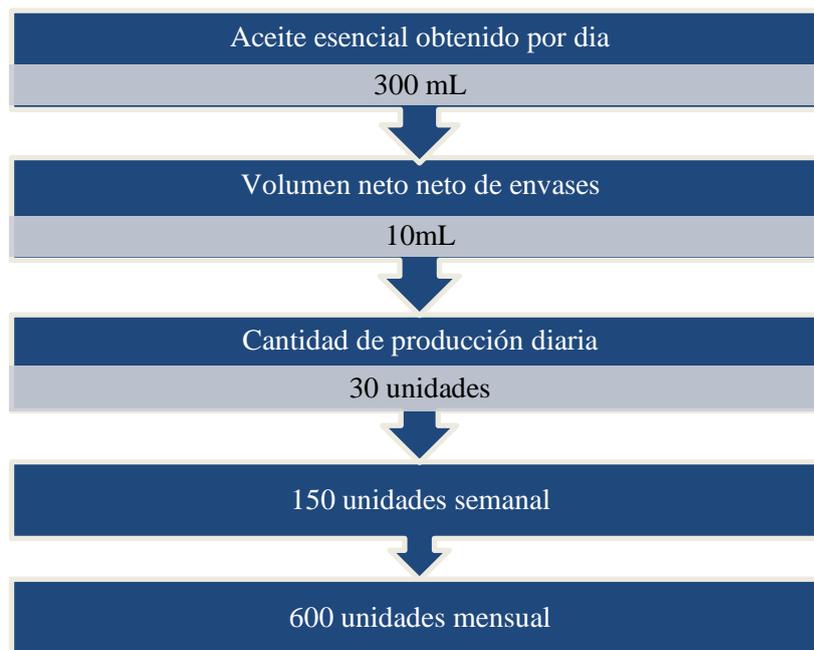


Figura 4-3 Capacidad de producción
Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

4.5. Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

4.5.1. Requerimientos de Equipos

Para implementar el proceso de producción la empresa IFG Innovaciones Agropecuarias necesita los equipos principales para llegar a obtener el aceite esencial como producto final dichos equipos se muestran a continuación en la Tabla 7-4.

Por otro lado, el equipo al formar parte de un proceso de manipulación de alimentos o que pueda estar en contacto con alguno debe ser realizado con material que sea resistente a daños provocados por oxidación, que no genere olores al producto, además que sea resistente a la presión interna generada y que sea resistente a productos de limpieza. Por lo cual se ha optado por el uso de acero inoxidable AISI 304.

Tabla 7-4: Equipos requeridos en el proceso

Sistema/ Componentes	Tecnología/ Equipo /Maquinaria	Descripción
Obtención de aceite de eucalipto		
Selección de materia prima	Mesa de selección de materia prima	El uso de una mesa de selección tendrá como objetivo el clasificar las hojas de eucalipto por parte del operador de manera manual, eliminando hojas que se encuentren en mal estado.
Extracción	Tanque extractor por arrastre de vapor	Este equipo ayuda a cumplir con el objetivo de extraer el aceite esencial de las hojas del eucalipto, a más de ser una técnica usada desde la antigüedad y que proporciona bajos costos de implementación y producción.
Condensación	Intercambiador de calor	El vapor generado en el extractor contiene moléculas volátiles ya que estos vapores son una mezcla de agua-aceite que provienen del destilado y necesitan ser condensados para lograr su separación en fases.
Separación del aceite esencial	Pera de separación	Se usa para lograr separar el agua floral del aceite esencial mediante diferencia de densidades de los fluidos.
Embotellado	Frascos de vidrio con gotero	Para su comercialización es necesario que el aceite esencial obtenido se encuentre en un frasco de 10mL, es cual cuenta con gotero para una facilidad de uso del aceite esencial

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021

4.6. Análisis de Costo/beneficio del proyecto

4.6.1 Inversión Fija

Son aquellos costes que se tienen en consideración el capital a aplicarse para la adquisición de equipos para la producción de aceite esencial de eucalipto, al igual que la infraestructura física para su instalación.

A continuación, en la Tabla 8-4, se muestra los costos necesarios para llevar a cabo la implementación del proceso.

Tabla 8-4: Equipos para la línea principal del proceso

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Tanque extractor	1	800	800
Tubo condensador	1	1000	1000
Embudo de separación de 2000mL	1	120	120
Caldero a diésel de 6 BHP	1	2100	2500
Bombas de separación	1	400	400
Contenedor del agua refrigerante	1	80	80
Subtotal			4500

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Para que el producto cuente con la calidad deseada se debe contar con material de laboratorio que ayude a cumplir con esta meta, por lo cual a continuación se muestra el coste de los mismos.

Tabla 9-4: Equipos para control y seguimiento del proceso

Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Termómetro	1	14,5	14,50
Potenciómetro	1	17,4	17,40
Probeta	1	5,3	5,30
Balón aforado de 100ml	1	8,4	8,40
Matraz 100ml	1	2,3	2,00
Piseta	1	4	4,00
Refractómetro	1	120	120,00
Vasos de precipitación	2	2,8	5,60
Pipeta	1	2,5	2,50
Balanza digital	1	48,50	48,50
Picnómetro	1	9,50	9,50
Subtotal			237,70

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Además, se debe realizar adecuaciones en la estructura física que ya cuenta la empresa para colocar la nueva zona de producción o línea de producción para que pueda funcionar correctamente, para lo cual se debe realizar una inversión como se puede ver a continuación en la Tabla 10-4.

Tabla 10-4: Inversiones en la planta de procesamiento

Inversión	Costo (\$)
Adecuaciones de la estructura física (red eléctrica, agua potable, modificaciones estructurales)	1050
Adecuación del área de control de calidad	600,00
Imprevistos y contingencias	200,00
Subtotal	1850,00

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Con finalidad de poder arrancar con el proyecto es necesario tener en cuenta que se debe realizar una capacitación, así como un gasto en el personal encargado de la cumplir con la instalación del equipo, así como cumplir con las adecuaciones para su funcionamiento, para lo cual se tiene especificado a continuación los costes:

Tabla 11-4: Recursos humanos para el montaje e instalación del proceso

Denominación	costo (\$)
Mano de obra para el montaje e instalación de equipos	800,00
Mano de obra para adecuación de la planta	1200,00
Asesoría y capacitación a socios	500,00
Subtotal	2500,00

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Como inversión fija se tiene en resumen los costos anteriormente indicados, los mismos que muestras que para iniciar el proyecto se debe contar con un capital de 16814,30 como se puede ver a continuación en la Tabla 12-4.

Tabla 12-4: Inversión fija

Detalles	Costo (\$)
Equipos para la línea principal del proceso	4500,00
Equipos para control y seguimiento del proceso	237,70
Inversiones en la planta de procesamiento	1850,00
Recursos humanos para el montaje e instalación del proceso	2500,00
TOTAL	9087,70

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.6.2. Determinación de egresos

Este tipo de costes se basan en los gastos en materia prima e insumos para la producción, así como la mano de obra especializada para llevar a cabo el buen funcionamiento y obtención del aceite esencial. Sin olvidar los servicios como el agua y luz eléctrica que son necesarios para llevar a cabo el producto.

Tabla 13-4: Servicios básicos

Servicio	Costo mensual (\$)
Agua potable	50,88
Energía eléctrica	40
Teléfono	30
Subtotal	120,88
Costo anual	1450,56

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Tabla 14-4: Recursos humanos para el proceso de manufactura

Personal	Actividad	Cantidad	Tiempo de trabajo (h)	Salario/ mes (\$)	Costo anual (\$)
Técnico de producción	Control de calidad, asesoramiento, seguimiento y manipulación del proceso de producción	1	160	800,00	9600,00
Subtotal					9600,00

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Otro de los egresos que son sumamente importantes son los costos de producción, mismo que será realizado por lote producido (5 días a la semana), además de tener en consideración que la materia prima no tiene costo ya que la empresa cuenta con hectáreas donde se encuentra árboles de eucalipto, los insumos y suministros para producir 300mL de aceite esencial de eucalipto, como se puede ver a continuación:

Tabla 15-4: Costo de elaboración del aceite esencial por lote (30 unidades de 10mL)

Materiales, insumos y suministros	Valor por presentación	Valor unitario (\$)	Cantidad requerida	Unidad	Valor total (\$)
Hojas de eucalipto	-	-	-	-	-
Frascos con gotero	-	0,85	30	unidades	25,50
Diesel para el caldero	-	1,12	2	Galón	2,24
Etiquetas	\$20 /1000 etiquetas	0,02	30	Unidad	0,60
Cofia	\$ 6,60 /100 unidades	0,04	5	Unidad	0,20
Mascarillas	\$4,00/ (50u)	2	1	Unidad	0,40
Guantes	\$8,50/caja (50 pares)	0,17	1	Unidad	0,85
Subtotal					29,77
Costo anual					7143,60

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Teniendo un gasto anual de 18194,16 dólares como se puede ver en la Tabla 16-4:

Tabla 16-4: Egresos

Detalles	Costo (\$)
Servicios básicos	1450,56
Recursos humanos para el proceso de manufactura	9600,00
Costo de elaboración del aceite esencial de eucalipto al año teniendo en cuenta que se produce un lote diario en días hábiles (300mL)	7143,60
TOTAL	18194,16

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.6.3. *Financiamiento*

La principal fuente de financiamiento será cubierta por empresa IFG Innovaciones Agropecuarias mediante una inversión fija, y en el caso de existir otra fuente de financiamiento se realizará mediante gestión con el Ministerio de inclusión económica, los cuales brindan un apoyo social al proyecto, buscando de esta manera llegar a buscar un financiamiento privado con altos costos de interés, es decir un crédito bancario. Por otro lado, se tiene en cuenta que el caso de existir imprevistos que afecten el proyecto se ha designado un 3% que cubra estas necesidades tanto en la inversión fija como de los egresos anuales.

Tabla 17-4: Costos totales de inversión fija y egresos

Descripción	Valor (\$)
Inversión fija	9087,70
Imprevistos (6%)	9360,33
Egresos anuales (costos de producción)	18194,16
Imprevistos (6%)	18739,98

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.6.4. *Determinación de ingresos anuales*

Los ingresos anuales hacen referencia directa al precio que tendrá el producto para su venta por unidad al público, el mismo ya cuenta inmerso los costos de producción de cada unidad, como se mencionó con anteriormente cada lote con una producción de 30 unidades de 10 mL cada una. Además, el porcentaje de ganancia por cada unidad de producto producido se desea tener de utilidad el 42%. Por lo que el costo de producción por unidad será de 3,90 dólares y el precio de venta al público se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$PVP = CP \left(\frac{100}{100 - U} \right)$$

Dónde:

PVP: Precio de venta al público

CP: Costo de producción; \$3,90

U: Utilidad deseada; 42%

$$PVP = \$3,90 \left(\frac{100}{100 - 42} \right)$$

$$PVP = \$6,73$$

Por lo que se puede obtener el ingreso anual que produce el proyecto, como se puede observar en la siguiente Tabla 18-4.

Tabla 18-4: Ingresos anuales

Unidades producidas/lote	Costo de producción anual	Costo de producción por unidad (\$)	PVP (\$)	Ingresos anuales (\$)
30	18739,98	3,90	6,73	24224,41

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.6.5. Cálculo de valor actual neto, tasa de retorno interno y periodo de recuperación

Mediante el cálculo de los valores que se van a tener a continuación, se obtendrá la fiabilidad de saber si el proyecto es viable al implementarlo, y saber en qué tiempo se verá ganancias netas, esto aplicando cálculos estadísticos como el valor actual neto (VAN), la tasa de retorno interno (TIR) y periodo de recuperación (PDR).

4.6.5.1. Valor actual neto

Es un criterio de inversión en función del tiempo, el cual representa o refleja entre la diferencia entre el valor actual de los cobros menos el valor actualizado de los pagos, en otras palabras, es el valor esperado de todos los flujos de caja referido a un mismo momento del tiempo.

El Van se puede interpretar de la siguiente manera:

VAN > 0; Que el proyecto o la empresa está generando beneficios.

VAN = 0; No existe una ganancia o pérdida, pero se pierde el tiempo,

VAN < 0; Existe pérdidas en la empresa, además de pérdida de tiempo, por lo que debe ser rechazado.

Tabla 19-4: VAN

Periodo inicial	Inversión inicial (Inv): \$17837,70			
0				
Periodos (años) j	Ingreso (\$)	Egreso (\$)	Flujo de caja (\$) Fj	Fj/(1+i)^j
1	24224,41	18739,98	5484,43	4985,84
2	24224,41	18739,98	5484,43	4532,58
3	24224,41	18739,98	5484,43	4120,53
4	24224,41	18739,98	5484,43	3745,94
5	24224,41	18739,98	5484,43	3745,94
Tasa de descuento	i=10%	$VAN = -Inv + \sum_{j=1}^n \frac{Fj}{(1+i)^j}$		11702,59

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

4.6.5.2. Tasa Interna de Retorno

Es la más alta tasa de actualización que se puede exigir al proyecto. O también es el tipo de retorno de actualización que igual a “0” el VAN. A continuación, se presenta los criterios de selección de la tasa de actualización donde “i” es la tasa de descuento de flujos elegida para el cálculo del VAN:

TIR > i; El proyecto de inversión será aceptado.

TIR = i; La inversión podrá llevarse a cabo si se mejora la posición competitiva de la empresa.

TIR < i; El proyecto debe ser rechazado.

$$VAN = 0 = -Inv + \sum_{j=1}^n \frac{Fj}{(1+i)^j}$$

Mediante la realización de una hoja de cálculo en Excel se tiene los valores de TIR como se puede ver a continuación:

Tabla 20-4: Cálculo de tasa interna de retorno

Tasa de descuento (%)	VAN
0	18334,43
10	11790,29
20	7314,09
30	4270,00
40	2074,00
50	436,69
55	-320,59
60	-818,72
TIR	53,1 %

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

Los cálculos realizados sobre la estimación del Valor Neto Actual (VAN) y sobre la Tasa Interna de Retorno (TIR) nos revelan la rentabilidad del proyecto es viable.

5.6.5.3. Periodo de Recuperación de la inversión

Se determina el tiempo en el cual se va a recuperar lo invertido inicialmente, y a que tiempo se verá las ganancias.

Tabla 21-4: Periodo de Recuperación de la inversión

Periodos (años)	Flujo de caja (\$)	Flujo acumulado (\$)
0	-9.087,70	-9087,70
1	5.484,43	-3603,27
2	5.484,43	1881,15
3	5.484,43	7365,58
4	5.484,43	12850,00
5	5.484,43	18334,43

Realizado por: Willian David Farinango Guzmán, 2021.

La cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 PDR &= \text{periodo último} && \frac{|\text{último flujo} \\
 \text{acumulado negativo} & && \text{acumulado} \\
 + & && \text{negativo}| \\
 & && \hline
 & && \text{flujo de caja del} \\
 & && \text{año siguiente}
 \end{aligned}$$

$$PDR = 1 + \frac{|-3603,2}{7|}{5484,43}$$

$$PDR = 1 + 0,66 \text{ años}$$

$$PDR = 1 \text{ año } 7 \text{ meses } 27 \text{ días}$$

El tiempo estimado de recuperación del capital invertido es de 1 año, 7 meses y 27 días, considerando que su capacidad de diseño esta propuesto para la obtención de 300mL de aceite esencia, dicho volumen será colocado en frascos de 10mL para su comercialización, por lo que se tiene que por lote se producirá 30 unidades, teniendo en cuenta que el costo de producción por unidad es de 3,90 dólares de los cuales se le sumara un 42% de ganancia ocasionando que el precio de venta al público sea de 6,73 dólares.

4.7. 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		■																										
Diseño del proceso de obtención del			■	■	■	■																						
Simulación del proceso de obtención del						■	■	■	■																			
Realización de pruebas de funcionamiento											■																	
Análisis información												■																
Validación del proceso													■	■	■													
Análisis físico-químicos y microbiológico																■												
Elaboración de borrador de tesis																	■	■										
Corrección borrador de tesis																			■									
Tipiado del trabajo final																			■	■	■							
Empastado y presentación del trabajo final																							■					
Auditoría académica																								■				
Defensa del trabajo																												■

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La preparación de la materia prima siendo a ser significativa por lo que se procede a la eliminación de hojas que no se encuentren en buen estado o que presenten daños causados por insectos, además de seleccionar hojas que sean jóvenes. Para la realización de por destilación con arrastre de vapor se empleó el equipo Clevenger donde se colocó la materia prima empleando agua, además de un sistema de calentamiento directo. El condensador acoplado al balón y la conexión en forma de D, permitieron acumular y separar el aceite esencial de la mezcla condensada Para terminar cual para la separación y obtención del aceite se añadió un embudo de separación que mediante diferencia de densidades se tiene el aceite esencial y el agua por separado.

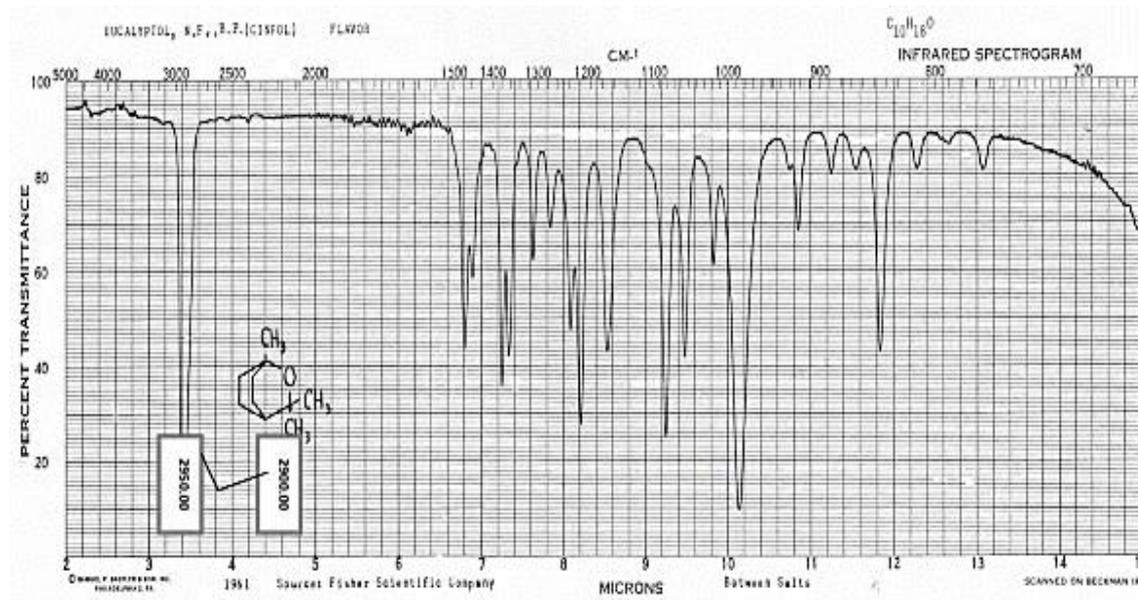
Con el rendimiento obtenido a nivel de laboratorio de 1,04% se realizó una analogía con estudios previos pertenecientes a diferentes autores, por ejemplo (Moreno, López y Siche 2010) donde describe como realizar un modelación u optimización del proceso de extracción esencial de eucalipto aplicando el método de Superficie Respuesta con la cual logra superar el rendimiento de hasta un 2,1%, mientras que en la mayoría de literatura el promedio va de 1,35% en hojas jóvenes, mientras que en hojas provenientes de árboles con un rango de edad de 18 años de edad es de 0,75% como lo especifica (Paredes y Quinatoa 2010).

Por otro lado, los datos que se presentan en el presente proyecto sobre el aceite esencial de eucalipto llegan a proporcionar datos puntuales del tiempo de extracción y la temperatura adecuada para la realización de la extracción que favorezcan el rendimiento. Siendo así que la temperatura 90°C y de un tiempo de 120 minutos, como se puede observar en la Gráfica 2-4, que a comparación del modelo de optimización que tiene un tiempo de extracción de 98 y 126 minutos, mientras que (Díaz y Martínez 2013) reporta un tiempo de 100 minutos de extracción con un rendimiento de 0,69%.

El aceite esencial fue caracterizado mediante la determinación de la densidad e índice de refracción, en el caso del primer parámetro se obtuvo un valor de 0,920g/mL que es de menor valor que la densidad del aceite esencial, característica responsable de hacer posible la separación del aceite del agua al final del proceso de destilación. Haciendo la comparación con otros autores es un valor propio del aceite esencial, ya que puede tener un valor desde 0,906 a 0,927g/mL. Siendo así que (Granados, Santafé y Acevedo 2015) reportan en su estudio una densidad de 0,910g/mL, mientras que (Quispe 2017) menciona en su estudio denominado como modelado matemático de la extracción de aceite esencial de eucalipto por destilación con vapor de agua realizado en Perú llega a presentar una densidad de 0,9058m/mL. Este último autor además

reporta un índice de refracción de 1,46, mientras que el valor obtenido en el presente proyecto es de 1,46132 valor que se encuentra dentro de los límites considerado de 1,4580 hasta 1,4700.

Además, se llevó a cabo una espectroscopia infrarroja del aceite esencia donde se llegó a tener un espectro típico de este tipo de aceite, donde se presentan grupos funcionales en diferentes números de onda como el estiramiento de C-H en el rango de $2967,91$ a $2921,63\text{cm}^{-1}$ perteneciente a los grupos funcionales alcano, en $1733,69\text{cm}^{-1}$ con asignación de pico $74,8111\text{cm}^{-1}$ con C=O carbonilo propio del grupo aldehídos y cetonas, seguido por el rango de $1446,35\text{cm}^{-1}$ a $1306,54\text{cm}^{-1}$ se tiene los grupos funcional alcohol y fenol. Desde el número de onda observados de $1214,93\text{cm}^{-1}$ a $166,72\text{cm}^{-1}$ se tiene el grupo amina y finalmente desde $984,482$ a $787,779\text{cm}^{-1}$ se tiene el grupo funcional con estiramiento en C-O y O-H-O. Dichos valores se pueden observar en la Tabla 4-4. Además, si se denota la Gráfica 3-4, se tiene los picos antes mencionados, los cuales comparando con una gráfica obtenida bibliográficamente de un laboratorio se puede observar que cuentan con coincidencias en el espectro obtenido. A continuación, se puede ver el espectro antes mencionado.



Una vez obtenido el aceite esencial de forma experimental se la llevo a escala semiindustrial, donde se puede obtener un volumen de 300mL a partir de 3,5Kg de hojas de eucalipto como capacidad de producción diaria de 30 frascos de 10mL, teniendo en consideración que se va a producir en la semana los días lunes a viernes, llegando a obtener 150 unidades semanal y 600 unidades mensuales.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un proceso industrial para la obtención de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus labill*) en la empresa IFG Innovaciones Agropecuarias ubicada en Ibarra-Ecuador, con la recepción de la materia prima, para luego realizar la extracción del aceite esencial de eucalipto que será embotellado en presentaciones de 10 mL en envases de tipo ámbar, envasados herméticamente y etiquetados para su venta al público. Cumpliendo con normas técnicas ecuatorianas.
- Se determinó las características organolépticas del árbol de eucalipto en su etapa de juventud, presentó hojas diferentes cuando es maduro, siendo las primeras las más apreciadas para la química, debido a que es rico en aceites esenciales. Estas hojas jóvenes de 4-16 cm de largo, sésiles, glabras, opuestas y coloración verde-glaucosa, con la lámina ovada, redondeadas hacia la base. Para llegar a formar parte del proceso de materia prima, las hojas se seleccionaron organolépticamente donde estas estaban en buen estado, libre de insectos que causan manchas foliares.
- Mediante la experimentación en el laboratorio se determinó las variables que se encuentran inmersas para llevar a cabo el dimensionamiento de los equipos para la extracción del aceite esencial de eucalipto, de las cuales se tiene como: la alimentación, temperatura, tiempo, presión manométrica del extractor y el vapor de agua que ingresa para que se produzca la extracción. Mientras que para el condensador se tiene como variables la masa total del vapor, presión absoluta al ingreso del condensador, temperatura tanto al ingreso y salida del condensador, diámetro de la tubería y por último el flujo de agua necesario para que se produzca la condensación del aceite esencial obtenido.
- Una vez que se han identificado las variables que forman parte del proceso y las operaciones físicas que sobre la materia prima (eucalipto en hoja) hasta producir aceite esencial, se elaboró los cálculos de ingeniería pertinentes, para lo cual se partió de la cantidad de producto final que la empresa IFG Innovaciones Agropecuarias desea obtener diariamente, la cual es de 300mL. Los equipos diseñados para llegar a cumplir con el objetivo tienen las siguientes dimensiones: Mesa de selección de 1,85m de ancho y 4,25m de largo. El extractor cuenta con un volumen de 69,11L; diámetro de 0,4m; altura de 0,55m; para la tubería de distribución de vapor en el tanque extractor se tiene un diámetro de 0,040m: número de agujeros del distribuidor en cruz 16 unidades y la separación de estos agujeros es de 0,073m. Para finalizar el condensador tiene una longitud de 2,10m.

- Se verificó los resultados de la caracterización físico-química del aceite esencial de eucalipto el mismo que cuenta con una densidad 0,920 g/mL: un índice de refracción de 1,46132; valores propios del aceite esencial obtenido en comparación con varios autores. Además, se identificó mediante espectroscopia infrarroja los grupos funcionales orgánicos característicos de este tipo de aceite esencial, es así que los componentes que los conforman son alcanos, aldehídos, cetonas, alcohol y fenol, tal como se puede observar en la Tabla 4-4. Siendo así su verificación que el producto obtenido cumple con las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 770.

RECOMENDACIONES

Se debe desarrollar un proyecto en el cual se estudie los principios activos del aceite esencial de eucalipto con finalidad de crear nuevos productos médicos, por ejemplo, ya que cuenta con diferentes propiedades terapéuticas que pueden aportar a la salud un beneficio.

Se debe motivar a la empresa IFG innovaciones agropecuarias para aprovechar diferentes plantas presentes en la zona, logrando que se implemente la obtención de diferentes tipos de aceites esencial, ofreciendo de esta manera al mercado mayores alternativas y con ello un crecimiento empresarial e industrial.

La extracción debe realizarse con los valores de operación de temperaturas, debido a que puede quemar la planta dentro del extractor y ocasionar un aceite esencial de pésimas condiciones en cuanto se refiere organolépticamente debido a que se puede presentar un olor a quemado y un color no deseado.

BIBLIOGRAFÍA

ACÁN, F; & PILATAXI, J. Diseño y Construcción de un equipo extractor de Aceites Esenciales por arrastre de vapor para Berro, Espinaca, Zanahoria [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014. [Consulta: 2021-01-09] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3874/1/96T00279UDCTFC.pdf>.

ALARCÓN, M. “Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *minthostachys mollis*”. *Artículo* [en línea], 2016, 20(1), pp. 69-79. ISSN 0121-3709. Disponible en: www.sci-agropecu.unitru.edu.pe.

ANDREA, M. “Extracción De Aceite Esencial De Eucalipto Y Su Aplicación Como Agente Antifúngico En Un Envase Activo Para Conservación De Frambuesa”. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. [en línea], 2015. 16(2), pp. 228-233. ISSN 1665-0204.

BERMUDO CRESPO, G.S. Parámetros óptimos de operación en la extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con el equipo modular de extracción de aceites esenciales. (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 2019.

CASADO VILLAVERDE, I. Optimización de la extracción de Aceites Esenciales por destilación en Corriente de Vapor [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España. 2018. [Consulta: 2021-01-21] Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/02/13/Rodas-Melisa.pdf>.

CERÓN-SALAZAR, I. & CARDONA-ALZATE, C. “Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja”. *Ingeniería y Ciencia - ing.cienc.* [en línea], 2011. 13(7), pp. 65-86. Disponible en: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/401>.

DEL VALLE, H. & ZAMBRANO, J. Extracción de Aceites Esenciales de Plantas Autóctonas Menta (*Mentha Piperita L.*), Palo Santo (*Bursera Graveolens*), Hierba Luisa (*Cimbopongón Citratus*) de la provincia de Manabí, con potenciales de Industrialización [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. 2015. [Consulta: 2021-01-21]. Disponible en: http://repositorio.utm.edu.ec/bitstream/12345678/100/1/TRABAJO_DE_TITULACION_FINAL_REPOSITORIO_DEL_VALLE-ZAMBRANO.pdf.

ERA ZUÑIGA, J.F. Propuesta para el desarrollo de una práctica para el laboratorio de operaciones de separación, utilizando el equipo de extracción multifuncional en la obtención del aceite esencial de eucalipto (instalado en el laboratorio de operaciones unitarias) [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Instituto Politécnico Nacional, Quito, Ecuador, 2010. [Consulta: 2021-01-21]. Disponible en: [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25109/Propuesta para el desarrollo de una práctica para el laboratorio de operaciones de separación III%252C utilizando el equipo de extracción multifuncional en la obtención del aceite esencial de eucalipto %25](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25109/Propuesta%20para%20el%20desarrollo%20de%20una%20pr%C3%A1ctica%20para%20el%20laboratorio%20de%20operaciones%20de%20separaci%C3%B3n%20utilizando%20el%20equipo%20de%20extracci%C3%B3n%20multifuncional%20en%20la%20obtenci%C3%B3n%20del%20aceite%20esencial%20de%20eucalipto%20%25).

GONZÁLEZ-GUÍÑEZ, R. “Aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill Y *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden (*myrtaceae*) para el control de *Sitophilus zeamais* Motschulsky”. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, [en línea], 2016. pp. 0-0. ISSN 0719-3890. DOI 10.4067/s0719-38902016005000005.

GUTIÉRREZ GALICIA, R.I. Extracción del aceite de copal y su aplicación en productos cosméticos. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Instituto Politécnico Nacional, Quito, Ecuador, 2013.

LEÓN, A. & ROBLES, A. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta extractora de aceites esenciales [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Técnica del Norte. 2009. [Consulta: 2021-01-21]. Disponible en: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/1739/1/T-ULVR-1536.pdf>.

MENDOZA, B. “Obtención de aceite esencial de romero con fines cosméticos”. *Revista Prisma Tecnológico* [en línea], 10(1), pp. 28–32. Disponible en: <https://doi.org/10.33412/PRI.V10.1>.

MORENO, J. & SICHE, R. “Modeling and optimization of extraction process of eucalyptus essential oil (*Eucalyptus globulus*)”. *Scientia agropecuaria* [en línea], 2010. 1(1), pp. 147-154. ISSN 20779917. Disponible en: DOI 10.17268/sci.agropecu.2010.02.05.

NOLAZCO, D. & LENA, T. “Extraction and chemical characterization of essential oil from *Eucalyptus* obtained by microwave and ultrasound”. [en línea], 2020. 3(22), pp. 274-284.

PAREDES, D. & QUINATO, F. Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2010. [Consulta: 2021-01-21]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/1710/1/15T00453.pdf>.

RODAS, M.A. Análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos de un aceite esencial de romero obtenido por medio de la destilación por arrastre de vapor [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Rafael Landívar. 2012. [Consulta: 2021-01-21]. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/02/13/Rodas-Melisa.pdf>.

RUIZ GALÁN, J. Ingeniería Básica de una Planta de Extracción de Aceite Esencial de “*Mentha arvensis L.*” por Destilación de Arrastre con Vapor [en línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad de Sevilla, España. 2019. [Consulta: 2021-01-21]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/92520/fichero/TFG-2520+RUIZ+GALÁN.pdf>.

SEVILLANO, R. “Optimization of the extraction by steam extraction of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) using sequential designs”. *Manglar*, [en línea] 2019. 1(16), pp. 53-61. ISSN 1816-7667. DOI 10.17268/manglar.2019.008.

SITTE H. & P. ZIEGLES. Principio Activo del Aceite del Eucalipto. 2001, pp. 1-9.

ANEXOS

ANEXO A: Posición de las bandas de absorción de grupos orgánicos e inorgánicos.

5.5 Posición de las bandas de absorción de grupos orgánicos e inorgánicos ¹			
Frecuencias características de grupos orgánicos para identificar espectros (IR)			
Gpo. funcional	Tipo de vibración	Frecuencia (cm. ⁻¹)	Intensidad
C – H	Alcanos (tensión)	3000-2850	f
	–CH ₃ (flexión)	1450 y 1375	m
	–CH ₂ – (flexión)	1465	m
	Alquenos (tensión)	3100-3000	m
	Alquenos (fuera del plano de flexión)	1000-650	f
	Aromáticos (tensión)	3150-3050	f
	Aromáticos (fuera del plano de flexión)	900-690	f
	Alquino (tensión)	ca. 3300	f
	Aldehidos	2900-2800 y 2700	d
C = C	Alqueno	1680-1600	m – d
	Aromáticos	1600 y 1475	m – d
C ≡ C	Alquino	2250-2100	m – d
C = O	Aldehido	1740-1720	f
	Cetona	1725-1705	f
	Ácidos carboxílicos	1725-1700	f
	Éster	1750-1730	f
	Amida	1670-1640	f
	Anhídridos	1810 y 1760	f
	Cloruro ácido	1800	f
C – N	Aminas	1350-1000	m – f
C = N	Iminas y oximas	1690-1640	d – f
C ≡ N	Nitrilos	2260-2240	m
N = O	Nitro (R-NO ₂)	1550 y 1350	f
S – H	Mercaptanos	2550	d
O – H	Alcoholes, fenoles Libre	3650-3600	m
	Alcoholes, enlace H	3500-3200	m
	Ácidos carboxílicos	3400-2400	m
S = O	Sulfóxidos	1050	f
	Sulfones, cloruros de sulfónidos	1375-1300 y	f
	Sulfatos, sulfoamidas	1200-1140	f
X = C = Y	Alenos, quetanos, isocianatos, isotiocianatos	2270-1950	m – f
C – C	Alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, anhídridos	1300-1000	f
C – X	Fluoruro	1400-1000	f
	Cloruro	800-600	f
	Bromuro, ioduro	<667	f

f = fuerte, m = medio, d = débil

¹ Fuente: Robinson K.A., Robinson J.P., "Análisis Instrumental", 2000.

ANEXO B: Tabla de límites de los diámetros de las zonas de inhibición para sepas patrón.

MANUAL DE TÉCNICAS EN MICROBIOLOGÍA CLÍNICA

**TABLA XII: LÍMITES DE LOS DIÁMETROS DE LAS ZONAS DE INHIBICIÓN PARA CEPAS PATRÓN
(M. DIFUSIÓN EN MEDIO SÓLIDO) (NCCLS ORDER CODE M2-A3, VOL 4, 1984)**

Agente antimicrobiano	Carga del disco	<i>E. coli</i> (ATCC® 25922)	<i>S. aureus</i> (ATCC® 25923)	<i>P. aeruginosa</i> (ATCC® 27853)	<i>E. coli</i> (ATCC® 35218)
Amikacina	30 µg.	19-26	20-26	18-26	—
Amoxicilina más ácido clavulánico	20/10 µg.	19-25	28-36	—	18-22
Ampicilina	10 µg.	16-22	27-35	—	—
Azlocilina	75 µg.	—	—	24-30	—
Aztreonam	30 µg.	28-36	—	23-29	—
Carbenicilina	100 µg.	23-29	—	18-24	—
Cefamandol	30 µg.	26-32	26-34	—	—
Cefazolina	30 µg.	23-29	29-35	—	—
Cefonicid	30 µg.	25-29	22-28	—	—
Cefoperazona	75 µg.	28-34	24-33	23-29	—
Cefotaxima	30 µg.	29-35	25-31	18-22	—
Cefotetán	30 µg.	28-34	17-23	—	—
Cefoxitina	30 µg.	23-29	23-29	—	—
Ceftazidima	30 µg.	25-32	16-20	22-29	—
Ceftizoxima	30 µg.	30-36	27-35	12-17	—
Ceftriaxona	30 µg.	29-35	22-28	17-23	—
Cefuroxima	30 µg.	20-26	27-35	—	—
Cefalotina	30 µg.	17-22	29-37	—	—
Cloranfenicol	30 µg.	21-27	19-26	—	—
Cinoxacina	100 µg.	26-32	—	—	—
Clindamicina	2 µg.	—	24-30	—	—
Doxiciclina	30 µg.	18-24	23-29	—	—
Eritromicina	15 µg.	—	22-30	—	—
Gentamicina	10 µg.	19-26	19-27	16-21	—
Imipenem	10 µg.	26-32	—	20-28	—
Kanamicina	30 µg.	17-25	19-26	—	—
Meticilina	5 µg.	—	17-22	—	—
Mezlocilina	75 µg.	23-29	—	19-25	—
Minociclina	30 µg.	19-25	25-30	—	—
Moxalactam	30 µg.	28-35	18-24	17-25	—
Nafcilina	1 µg.	—	16-22	—	—
Nalidixico	30 µg.	22-28	—	—	—
Netilmicina	30 µg.	22-30	22-31	17-23	—
Nitrofurantoina	300 µg.	20-25	18-22	—	—
Norfloxacina	10 µg.	28-35	17-28	22-29	—
Oxacilina	1 µg.	—	18-24	—	—
Penicilina G	10 unidades	—	26-37	—	—
Piperacilina	100 µg.	24-30	—	25-33	—
Estreptomicina	10 µg.	12-20	14-22	—	—
Sulfisoxazol	250 ó 300 µg.	18-26	24-34	—	—
Tetraciclina	30 µg.	18-25	19-28	—	—
Ticarcilina	75 µg.	24-30	—	22-28	—
Ticarcilina más ácido clavulánico	75/10 µg.	25-29	32-40	20-28	21-25
Tobramicina	10 µg.	18-26	19-29	19-25	—
Trimetoprim	5 µg.	21-28	19-26	—	—
Trimetoprim más sulfametoxazol	1,25/23,75 µg.	24-32	24-32	—	—
Vancomicina	30 µg.	—	15-19	—	—

ANEXO C: Norma NTE INEN-ISO 770. Aceite Crudo O Rectificado De Eucalipto (*Eucalyptus Globulus Labill.*).



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO 770
Segunda edición
2014-01

ACEITE CRUDO O RECTIFICADO DE EUCALIPTO (*EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL.*) (ISO 770:2002, IDT)

CRUDE OR RECTIFIED OILS OF EUCALYPTUS GLOBULUS (*EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL.*)
(ISO 770:2002, IDT)

Correspondencia:

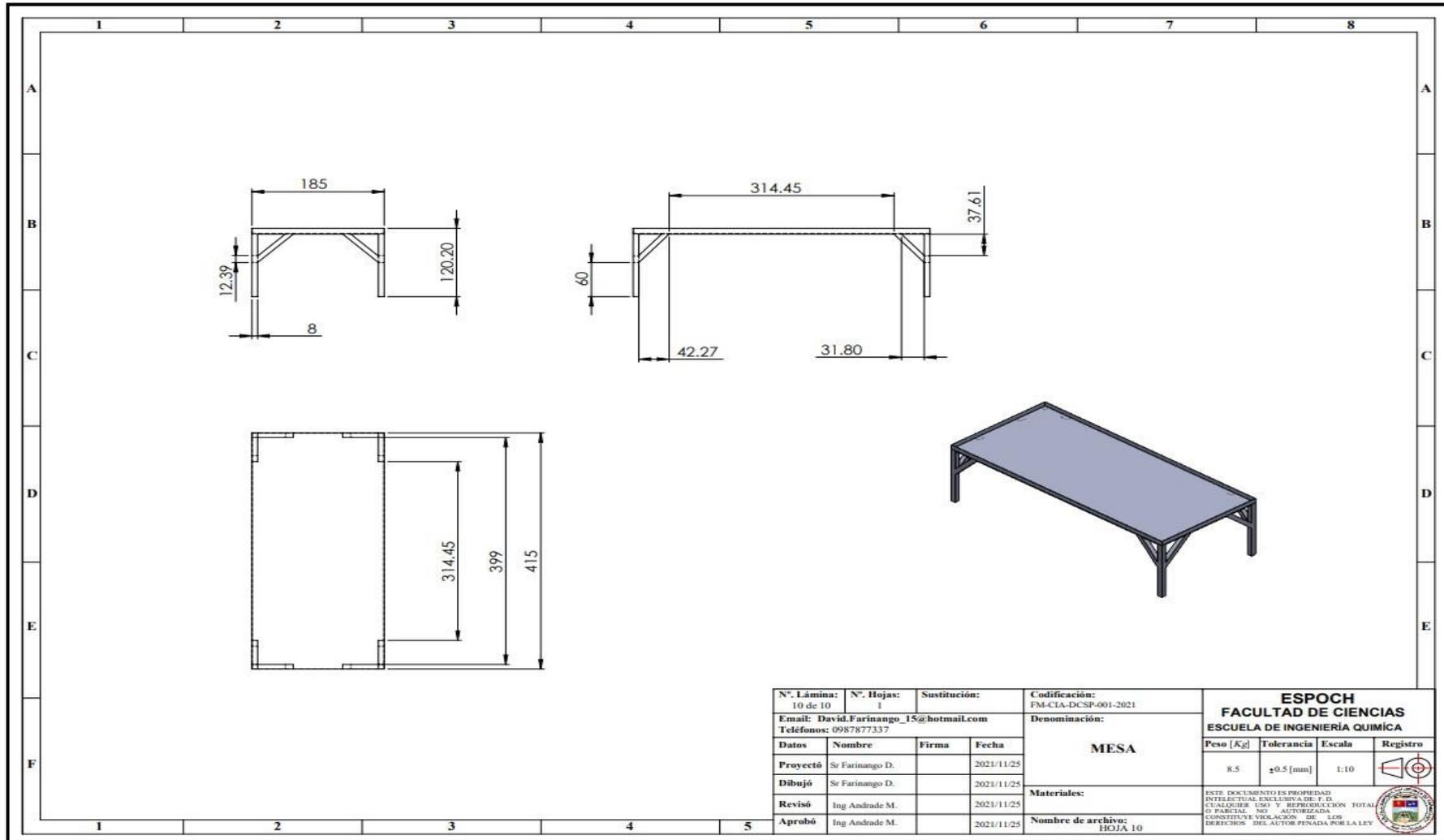
Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 770:2002

DESCRIPTORES: aceite, esencial, crudo, rectificado, Eucalipto, *Eucalyptus globulus Labill*
ICS: 71.100.60

13
Páginas

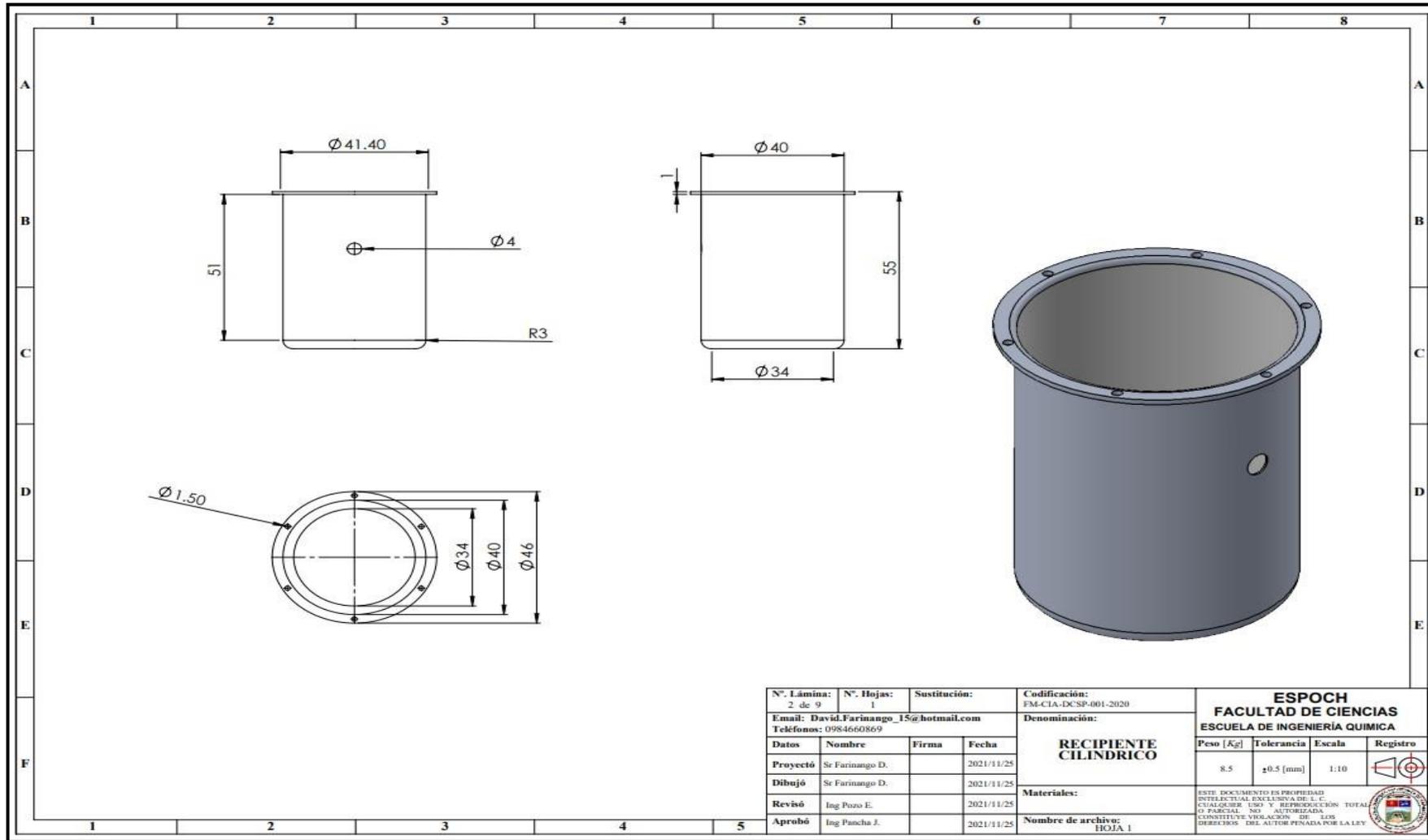
© ISO 2002 – Todos los derechos reservados
© INEN 2014

ANEXO D: Mesa de selección de la materia prima



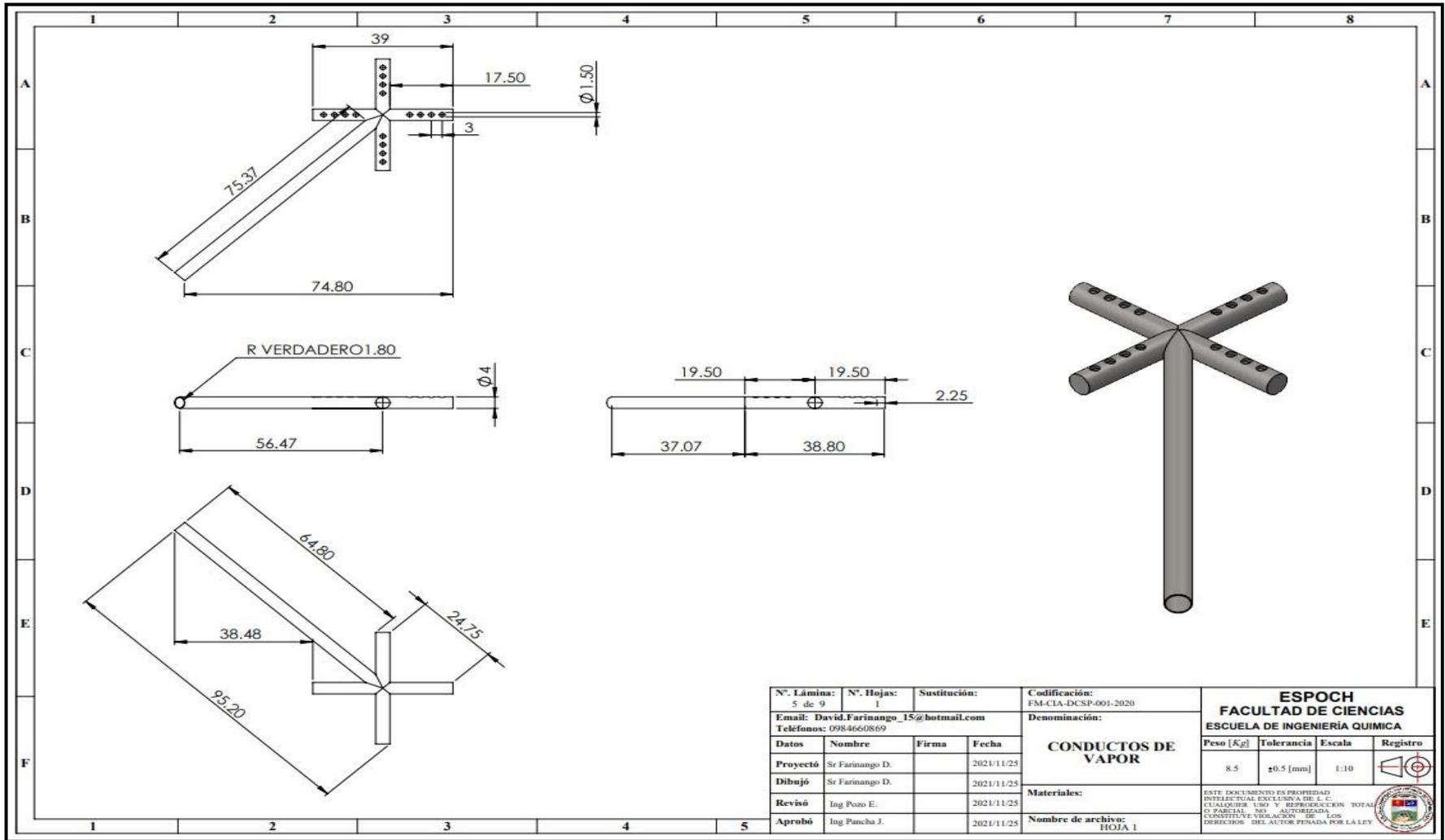
N°. Lámina: 10 de 10		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CLA-DCSP-001-2021	
Email: David.Farinango_15@hotmail.com				Denominación:			
Teléfonos: 0987877337				MESA			
Datos	Nombre	Firma	Fecha				
Proyectó	Sr Farinango D.		2021/11/25				
Dibujó	Sr Farinango D.		2021/11/25				
Revisó	Ing Andrade M.		2021/11/25				
Aprobó	Ing Andrade M.		2021/11/25	Materiales:		Nombre de archivos: HOJA 10	
Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
8.5		±0.5 [mm]		1:10			
<p style="text-align: center;">ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="font-size: small;">ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE F. D. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</p> 							

ANEXO E: Tanque extractor de aceite esencial

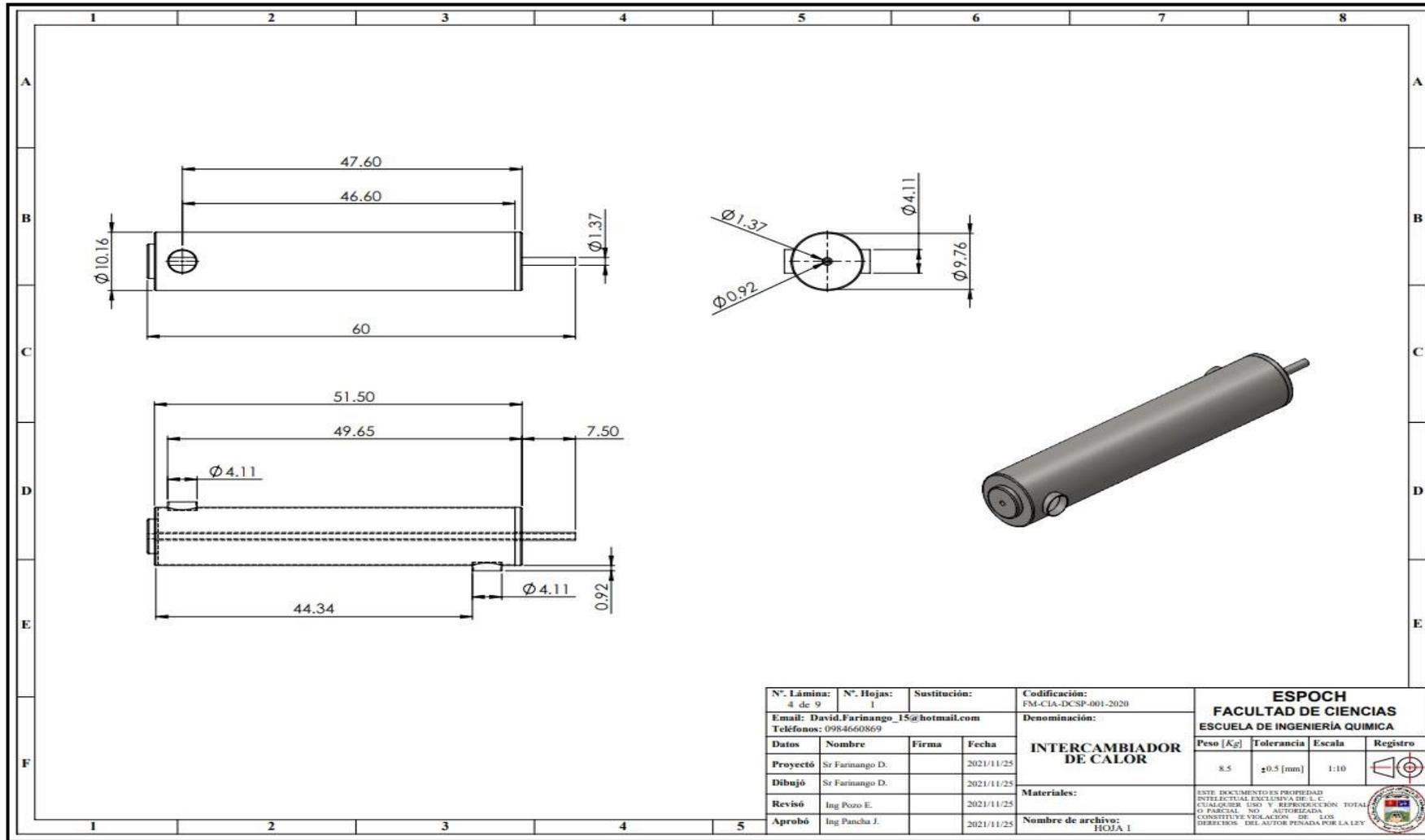


N° Lámina: 2 de 9		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-DCSP-001-2020		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
Email: David.Farinango_15@hotmail.com Teléfonos: 0984660869						Denominación: RECIPIENTE CILINDRICO					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					8.5	± 0.5 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr Farinango D.		2021/11/25								
Dibujó	Sr Farinango D.		2021/11/25								
Revisó	Ing Pozo E.		2021/11/25								
Aprobó	Ing Pancha J.		2021/11/25								
						Materiales:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE L.C. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.			
						Nombre de archivo: HOJA 1					

ANEXO F: Tubería de districión de vapor en cruz

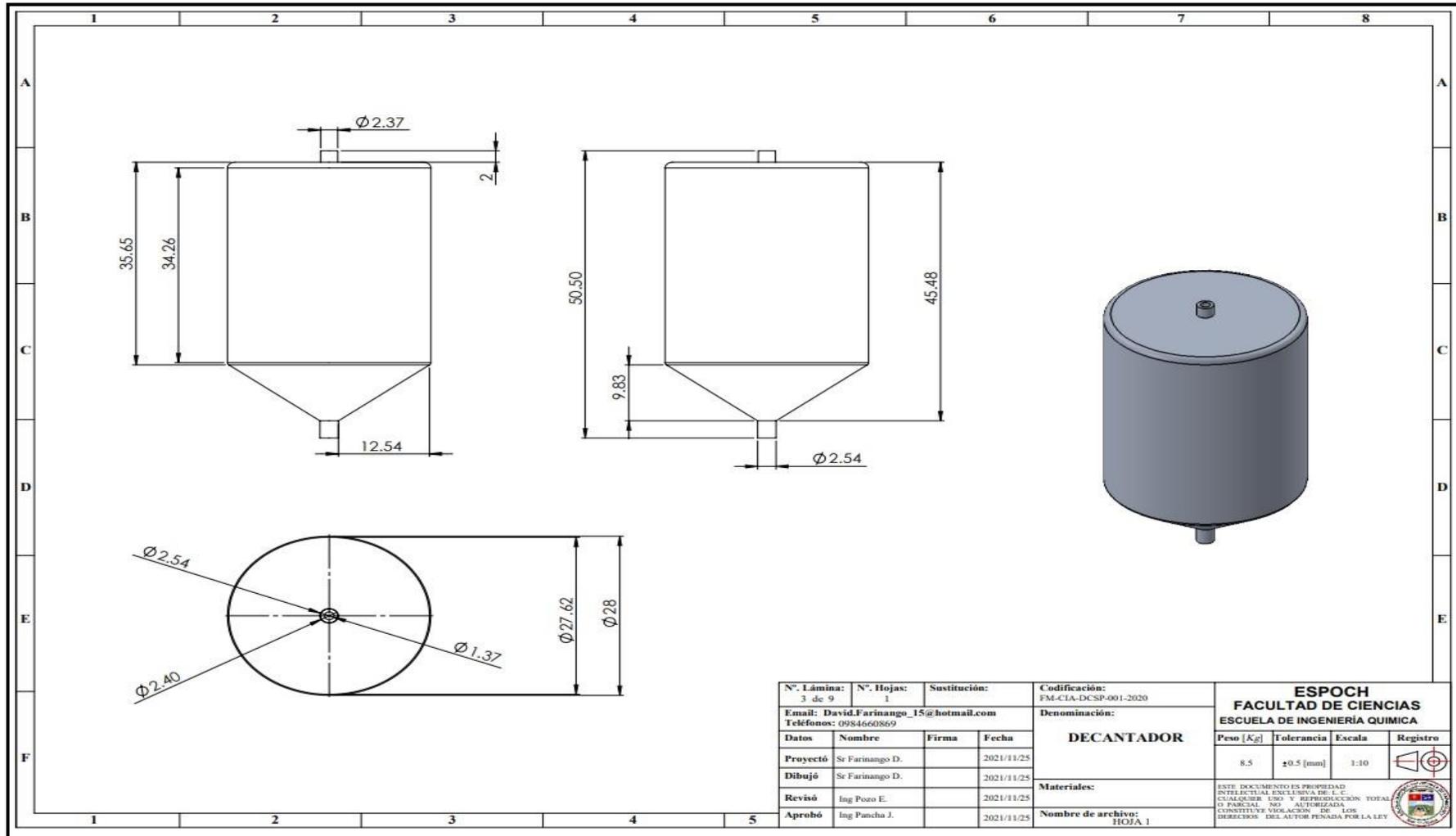


ANEXO G: Intercambiador de calor



N°. Lámina: 4 de 9		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-ClA-DCSP-001-2020		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA									
Email: David.Farinango_15@hotmail.com						Denominación:						<table border="1"> <tr> <th>Peso [Kg]</th> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> <tr> <td>8.5</td> <td>±0.5 [mm]</td> <td>1:10</td> <td></td> </tr> </table>		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro														
8.5	±0.5 [mm]	1:10															
Teléfonos: 0984660869						INTERCAMBIADOR DE CALOR											
Datos	Nombre	Firma	Fecha														
Proyectó	Sr Farinango D.		2021/11/25														
Dibujó	Sr Farinango D.		2021/11/25														
Revisó	Ing Pozo E.		2021/11/25														
Aprobó	Ing Panca J.		2021/11/25														
						Materiales:											
						Nombre de archivo: HOJA 1				<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE L. C. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>							

ANEXO H: Decantador

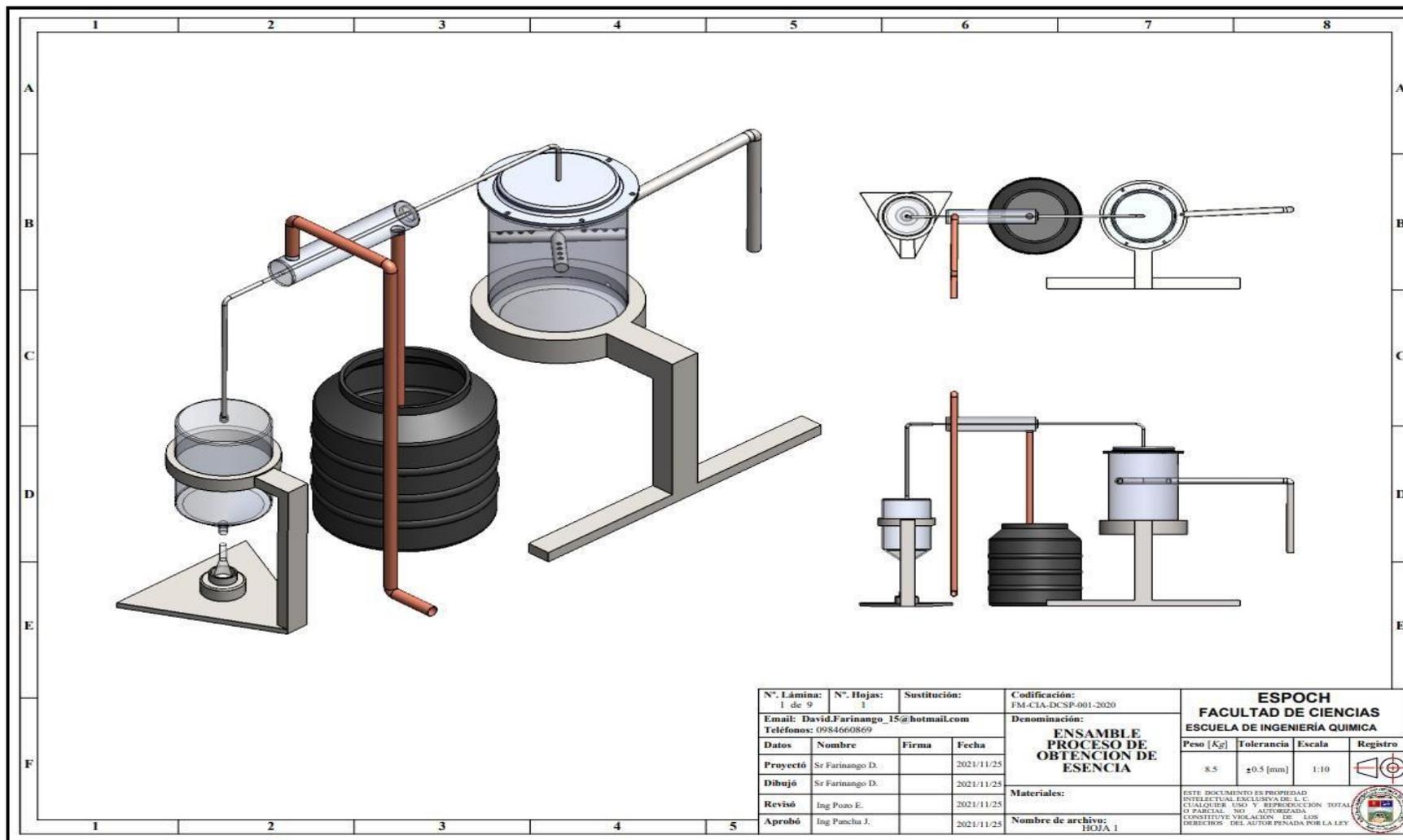


N°. Lámina: 3 de 9	N°. Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CLA-DCSP-001-2020
Email: David.Farinango_15@hotmail.com		Denominación:	
Teléfonos: 0984660869		DECANTADOR	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Sr Farinango D.		2021/11/25
Dibujó	Sr Farinango D.		2021/11/25
Revisó	Ing Pozo E.		2021/11/25
Aprobó	Ing Pancha J.		2021/11/25
Materiales:		Nombre de archivo: HOJA 1	

ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
8.5	±0.5 [mm]	1:10	
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE L.C. CHALCABUR AND Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.</small>			



ANEXO I: Ensamble del equipo extractor de aceite esencial de eucalipto



N°. Lámina: 1 de 9		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-DCSP-001-2020		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
Email: David.Farinango_15@hotmail.com		Teléfonos: 0984660869		Denominación: ENSAMBLE PROCESO DE OBTENCIÓN DE ESENCIA		Nombre de archivo: HOJA 1					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales:		Este documento es propiedad intelectual exclusiva de E. C. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN, CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY		8.5	±0.5 [mm]	1:10	
Proyectó	Sr Farinango D.		2021/11/25								
Dibujó	Sr Farinango D.		2021/11/25								
Revisó	Ing Pozo E.		2021/11/25								
Aprobó	Ing Pancha J.		2021/11/25								

ANEXO J: Distribución de la planta de la Empresa IFG Innovaciones Agropecuarias.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 11 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos: WILLIAN DAVID FARINANGO GUZMÁN	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: CIENCIAS	
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA	
Título a optar: INGENIERO QUÍMICO	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Firmado electrónicamente por: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA

