

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DEL EQUIPO PARA LA EXTRACCION DEL
ACEITE DE CANNABIS DE LA MARIHUANA (*Cannabis
sativa L*) A NIVEL BANCO”**

AUTOR:

Ing Mg LEONARDO FELIX MACHACA GONZALES

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'L. Machaca', is located to the right of the author's name.

Callao, 2022

PERU

DEDICATORIA

A los que tuvieron paciencia:
Mi esposa VILMA y mis hijos: VALERIA Y
SEBASTIAN.
A mis estudiantes de la FIQ-UNAC



Agradecimientos

Mis agradecimientos a la Facultad Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao por facilitarme el uso del ambiente y gabinete del laboratorio de Investigación, Desarrollo e Innovación. Igualmente, mis agradecimientos al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Callao por la aprobación del trabajo de investigación y la asignación del Fondo Especial de Desarrollo Universitario (FEDU) para el financiamiento en el desarrollo del presente trabajo de investigación.



INDICE

	Pág.
INDICE	1
TABLAS DE CONTENIDO	3
TABLA DE GRAFICOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	10
1.1. Descripción de la realidad problemática.	10
1.2. Formulación del problema.	11
1.2.1 Problema general.	11
1.2.2 Problemas específicos.	12
1.3. Objetivo	12
1.3.1. Objetivo general.	12
1.3.2. Objetivos específicos.	12
1.4. Limitantes de la investigación. (Teórica, temporal, espacial).	12
II. MARCO TEÓRICO.	14
2.1. Antecedentes (internacional y nacional).	14
2.2. Bases teóricas.	21
2.2.1. Tipos de aceites de cannabis.	21
2.2.2. Tipos de procesos difusionales de extracción solido-liquido	23
2.2.3. Características del proceso de extracción	28
2.2.4. Transferencia de masa y calor en procesos de extracción solido-liquido.	31
2.2.5. Proceso de obtención del aceite de cannabis.	36
2.3. Conceptual	38
2.4. Definición de términos básicos: Funcionales a la investigación. del problema.	39

III. HIPOTESIS Y VARIABLES.	42
3.1. Hipótesis (general y específicos).	42
3.2. Definición conceptual de variables.	42
3.2.1. Operacionalización de la variable (dimensiones, indicadores, índices, método y técnica)	43
IV. DISEÑO METODOLOGICO.	45
4.1. Tipo y diseño de la investigación.	45
4.2. Método de investigación.	45
4.3. Población y muestra.	46
4.4. Lugar de estudio.	46
4.5. Técnicas e instrumento para la recolección de la información.	46
4.6. Análisis y procedimientos de datos.	47
4.6.1. Fundamento de diseño del equipo de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (Cannabis sativa L)	47
4.6.2. Procedimiento de diseño del equipo de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (Cannabis sativa L)	57
V. RESULTADOS	75
5.1. Resultados descriptivos	75
5.2. Resultados inferenciales	75
5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.	75
VI. DISCUSION DE RESULTADOS	80
6.1. Contrastacion y demostracion de la hipotesis con los Resultados.	80
6.2. Contrastacion de los resultados con otros estudios similares	82
6.3. Responsabilidad etica.	83
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	85
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	86
ANEXOS.	94

TABLAS DE CONTENIDO
INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de la variable.	44
Tabla 2. Contenido de tetrahidrocannabinol (THC) en la parte de la planta vegetal (marihuana).	49
Tabla 3. Diámetro de la línea de vapor.	70
Tabla 4. Coeficiente global de transferencia de calor típico.	73
Tabla 5. Datos de construcción del recipiente extractor.	77
Tabla 6. Datos de construcción del vaporizador-concentrador.	78
Tabla 7. Datos de construcción del tubo transportador de vapor.	79
Tabla 8. Datos de construcción del condensador.	79



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mecanismo de extracción de aceites esenciales.	35
Figura 2. Equipo de extracción en vidrio de 6 L.	56
Figura 3. Equipo de extracción en cobre de 10 L.	56
Figura 4. Equipo de extracción en acero inoxidable SS-316 L de 25 L	57
Figura 5. Recipiente extractor	66
Figura 6. Condensador	75
Figura 7. Equipo diseñado para la extracción del aceite de cannabis De la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco	80



RESUMEN

Las plantas vegetales son recursos naturales preciosos, porque pueden suministrar tanto fitoquímicos como biomasa lignocelulósica. En esta investigación, se ha centrado en la marihuana (*Cannabis sativa* L.), ya que es una fuente de fibras, aceite y moléculas de uso medicinal.

Para el diseño del equipo de extracción se realizaron cálculos de ingeniería como balance de masa, transferencia de calor, transferencia de materia. El equipo contiene: un tanque de extracción de acero quirúrgico con un volumen de 17 litros, con su sistema de agitación que incluye un motor, y impulsor de tipo ancla con su eje respectivo, un tanque vaporizador-concentrador de acero quirúrgico con un volumen de 24012 litros, un condensador de acero quirúrgico con un tubo de 0,9 cm de diámetro enrollado en espiral con 13 vueltas de 2cm de diámetro dentro de la carcasa, un tubo transportador de vapor del solvente de acero quirúrgico de 2 cm de diámetro, y un calefactor eléctrico con una potencia de 3 kw.

Se ha empleado el modelo de extracción de lecho fijo con flujo cruzado intermitente con el solvente extractor, y el modelo Soxhlet para el diseño del extractor propiamente dicho, usando las flores pistiladas de la marihuana triturada.

Finalmente, se presentan los fundamentos y procedimiento de diseño, los cálculos y criterios correspondientes para el diseño de todo el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) a nivel banco, y, las especificaciones y datos de construcción del extractor se mencionan en la tabla de resultados.

PALABRA CLAVE

Diseño extractor aceite Cannabis Marihuana.

ABSTRACT

Vegetable plants are precious natural resources because they can supply both phytochemicals and lignocellulosic biomass. In this research, he has focused on marijuana (*Cannabis sativa* L.), as it is a source of fibers, oil, and molecules for medicinal use.

For the design of the extraction equipment, engineering calculations were made such as mass balance, heat transfer, and mass transfer. The equipment contains: a surgical steel extraction tank with a volume of 17 liters, with its agitation system that includes a motor and an anchor-type impeller with its respective shaft, a surgical steel vaporizer-concentrator tank with a volume of 24012 liters, a surgical steel condenser with a 0.9 cm diameter tube spirally wound with 13 2 cm diameter turns inside the casing, a 2 cm diameter surgical steel solvent vapor carrier tube, and an electric heater with a power of 3 kw.

The intermittent crossflow fixed-bed extraction model was used with the extraction solvent, and the Soxhlet model for the design of the extractor itself, using the pistillate flowers of crushed marijuana.

Finally, the fundamentals and design procedure, the calculations, and corresponding criteria for the design of all the equipment for the extraction of cannabis oil from marijuana (*Cannabis sativa* L) at the bench level, and the specifications and construction data are presented. of the extractor are mentioned in the results table.

KEYWORD

Cannabis Marijuana oil extractor design.

INTRODUCCION.

Cuando se diseña un equipo de extracción industrial se necesita de un gran número de experimentos a nivel banco para seleccionar las variables de diseño, y optimizar el procedimiento de diseño detallado de los equipos de extracción industrial. Durante los últimos 50 años, los científicos han utilizado los recipientes cilíndricos de vidrio de laboratorio, frascos Erlenmeyer, extractor Soxhlet para el desarrollo de los procesos de extracción a nivel de laboratorio y a pequeña escala, con volúmenes que oscilan comúnmente entre los 50 mL y 500 mL. El uso de estos se estima en un 90 % de todos los experimentos de este tipo realizados en la industria de aceites esenciales y medicinales y en estudios académicos.

La marihuana que se conoce científicamente como *Cannabis sativa L.* Es una importante especie herbaria originaria de Asia Central, y se ha utilizado en la medicina tradicional y como fuente de fibras textiles desde la antigüedad. Debido a sus múltiples aplicaciones, esta planta de rápido crecimiento ha ganado recientemente un renovado interés, de hecho, como un tesoro de fitoquímicos y una rica fuente de fibras leñosas y celulosa (Hill, 1983 y UNODC, 2009).

El extractor en la industria química es una unidad principal del proceso difusional, el cual es diseñada para llevar a cabo una o varias extracciones líquido- líquido, sólido-líquido de aceites esenciales, aceites vegetales, aceites medicinales, aromas y saborizantes. En general, esta definición se refiere a un sistema bastante limitado, frecuentemente es un recipiente cerrado, con líneas de entrada y salida claramente definidas y un algoritmo de control. Sin embargo, este concepto no agota el campo de aplicación de los fundamentos de la Ingeniería de los procesos difusionales. Aunque la mayor parte de las aplicaciones están dentro de la definición anterior. Sin embargo, los ingenieros químicos han extendido la aplicación de los fundamentos de extracción sólido-líquido y de la Ingeniería de diseño de equipos de extracción dentro del ámbito de los procesos industriales (Walas, 1990; Machaca, 2013 y Duran, 2015)

Este análisis ha permitido activar un área de investigación de gran interés, donde los fundamentos de la Ingeniería del proceso difusional o de separación se aplican a procesos extracción de aceite de uso medicinal.

Este trabajo de investigación se justifica porque pretende implementar el diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de banco, en el cual la metodología a utilizar constituye una implicancia de tipo teórico - experimental y observacional, asimismo el ordenamiento y sistematización teórica, que constituye un aporte científico para el planteamiento del problema. Puesto que, resulta necesario continuar con la investigación desarrollado sobre el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco que permite determinar las variables y las condiciones de diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana con un alto valor económico en el mercado nacional e internacional, debido a que, al revisar los antecedentes nacionales no se ha encontrado una tecnología de extracción de aceite de cannabis sativa implementada en el Perú.

La Ingeniería de diseño de equipos de extracción, es la ciencia que desarrolla y enfoca los métodos para dimensionar el extractor y sus unidades que lo componen, es decir, nos proporciona los fundamentos para diseñar un extractor, de modo que, éste cumpla con su objetivo de obtener un producto dado a partir de las materias primas conocidas, con un cierto rendimiento de extracción, mediante un proceso difusional seguro y respetuoso con el medio ambiente. Para ello, se establece las variables de diseño y la funcionabilidad del extractor, que relaciona la alimentación de la materia prima con el flujo de salida del producto, las condiciones de operación, la forma de contacto, tiempo de extracción y los procesos de transferencia de materia (Machaca, 2013 y Duran, 2015).

El escalamiento del tamaño del equipo y tiempo de extracción en la Ingeniería de diseño de extractores, varían mucho en las diferentes etapas del proceso de desarrollo, desde la extracción en un recipiente o matraz de laboratorio hasta en un equipo a nivel industrial (Machaca, 2013).

La investigación del proceso de extracción de un producto tiene su origen a nivel de laboratorio, de aquí, se evalúa que el proceso puede llegar a ser factible a escala banco y luego a escala industrial. El ingeniero de diseño de extractores dispone de una amplia variedad de extractores a nivel de laboratorio que le permiten estudiar las tasas de extracción, rendimiento de extracción, y si es necesario, establecer las condiciones óptimas de operación y una base para el escalamiento del proceso (Caldas, 2012 y Machaca, 2013).

El proceso de extracción a escala banco también permite estudiar la distribución del producto en diferentes condiciones de operación. Asimismo, permite estudiar la extracción del aceite de cannabis a distintas condiciones de operación y realizar la estimación de los costos técnicos y económicos de la tecnología del proceso de producción a nivel industrial de aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*)

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Descripción de la realidad problemática. -

En el marco de un eje prioritario de investigación conocido como el desarrollo de tecnologías para mejorar la calidad y diversificar la oferta en el proceso de fabricación de medicamentos en la línea de trabajo: la obtención de aceite de cannabis de la planta de marihuana (*Cannabis sativa L.*) y sus derivados, donde la extracción debe realizarse en equipos de tamaño razonable y económico, llamado extractor en las condiciones de temperatura y presión tolerables.

Para la investigación del proceso de extracción sólido-líquido a nivel de laboratorio y a escala banco, se emplean sistema por lotes o proceso batch, las cuales operan de manera intermitente o por carga, son de importancia en el estudio del diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana a escala banco que incluye el efecto de transferencia de masa y la fluodinámica.

La Ingeniería de detalles o el diseño detallado del equipo de extracción sólido-liquido, es la fase en la que quedan determinados todos y cada uno de los componentes o partes que integran el equipo, puesto que precisa el procedimiento de diseño, para ello, es primordial generar los cálculos de ingeniería de los datos y variables de diseño.

En los procesos de extracción sólido-liquido principalmente se utilizan los contactores sólido-líquido que operen de manera discontinua o por lotes sea a escala banco o escala industrial.

La extracción de aceite cannabis a partir de las flores pistiladas de la marihuana con solventes como etanol, hexano, y otros solventes, se produce dentro de un extractor ampliamente utilizado en la industria de aceites medicinales.

En una planta industrial de extracción sólido-liquido, los equipos que componen están estandarizadas según las bibliografías revisadas y analizadas. Por el contrario, se deben tomar en cuenta las consideraciones y las variables de diseño del equipo de extracción al futuro o a posterioridad, puestos que,

siempre varían de una planta a otra debido a los factores que se consideran, como, las materias primas que siempre contienen diversos principios activos o componentes, la calidad del aceite de uso medicinal según las especificaciones del consumidor, y el sistema de comercialización del producto en condiciones económicas internacionales, regionales y locales. En atención a estos razonamientos, el diseño del equipo de extracción sólido-líquido no puede ser completamente estandarizado por ser el equipo principal en una planta de extracción sólido-líquido. Por lo tanto, los extractores de aceite de uso medicinal utilizando solventes, deben diseñarse teniendo en cuenta las consideraciones técnicas y económicas para cada caso individual con las instalaciones de las unidades de recuperación de solvente, ahorro de vapor, la localización y disponibilidad de las instalaciones existentes que conforman una nueva planta teniendo en cuenta la seguridad e higiene industrial y protección ambiental que involucran en el buen diseño de equipos de extracción (Walas, 1990; Machaca, 2013).

Por lo tanto, es fundamental diseñar este equipo de extracción de aceite de cannabis de la marihuana (*cannabis sativa L*) a nivel banco con el fundamento de la ingeniería de diseño de extractores, empleando modelos matemáticos que describen los procesos involucrados en la extracción de aceites de uso medicinal, tiene como principal objetivo extender esta investigación al sector industrial y realizar investigaciones dirigidas al desarrollo de tecnologías.

Con el propósito de alcanzar los objetivos y metas que se pretenden, se ha diseñado el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco usando las condiciones de operación del proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel de laboratorio realizado en el trabajo de investigación anterior (Machaca, 2021).

1.2. Formulación del problema. -

1.2.1. Problema general. -

¿Cómo se diseñará el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco?

1.2.2. Problemas Específicos.

1. ¿Cuáles son las informaciones disponibles que se analizará sobre el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco?
2. ¿Cómo y con qué fundamento se diseñará el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de banco?
3. ¿Cómo se diseñará detalladamente el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de banco?

1.3. Objetivos. -

1.3.1. Objetivo General. -

Diseñar el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de banco

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de banco.
2. Analizar el fundamento de diseño del equipo para extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa*) a nivel banco.
3. Diseñar detalladamente el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de banco.

1.4. Limitantes de la investigación (Teórica, temporal, espacial).

1.4.1. Teórica. -

Durante el desarrollo de la investigación se ha utilizado que, la gran mayoría de los procesos industriales, incluyen el proceso de extracción de una materia prima para la obtención de productos.

Los procesos de extracción incluyen el conocimiento de una serie de etapas, como el enfoque o planteamiento del proceso, los antecedentes y la selección

del equipo de extracción, para lo cual se debe realizar un análisis teórico, incluido el conocimiento de la termodinámica de la solución y la tasa de extracción, principalmente relacionados con los fenómenos de transferencia de masa difusional y convectiva (Machaca, 2018).

Una vez completado esta etapa, viene el diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.

1.4.2. Temporal. -

El trabajo de investigación es de carácter teórico-experimental y observacional, por ello, se ha programado para ser desarrollado en el periodo aproximado de 1 año comprendido desde 01/03/2021 a 28/02/2022.

1.4.3. Espacial. -

El área que abarca el trabajo de investigación tiene importantes características tecnológicas y operativas, ya que propone alternativas y encuentra modelos matemáticos adecuados para el diseño de equipos para la extracción de aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel de banco, lo que mejora el rendimiento de extracción y mejora los costos de operación. Por esta razón, se necesita un conocimiento previo de los principios científicos para proporcionar una buena base en el diseño de equipos para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel de banco.



II. MARCO TEORICO. -

El marco teórico tiene un propósito fundamental, de situar el problema de investigación dentro de un conjunto de conocimientos que ha permitido delimitar teóricamente los conceptos planteados, conocido también como marco referencial, referencia bibliográfica o antecedentes. Es decir, que la redacción del marco teórico es la argumentación teórica de la relación que se ha establecido entre las variables planteadas en el problema de investigación, puesto que, su desarrollo exige integrar el conjunto de conceptos organizados de manera lógica, sistemática y jerárquica.

2.1. Antecedentes. -

Los antecedentes que se han encontrado en materia de investigación bibliográfica son los siguientes:

2.1.1. Antecedentes internacionales. –

Hielscher Ultrasonics (2019), ha publicado sobre equipos de extracción por ultrasonidos de alto rendimiento para la extracción de productos botánicos y el cannabis. Mencionan que los extractores ultrasónicos de Hielscher son muy usados debido a su gran eficiencia de extracción de materiales botánicos, este equipo consta de: propagador de las ondas de ultrasonido (sonotrodos ultrasónicos), sistema de agitación, recipiente de extracción y su equipo de control. Asimismo, mencionan que, en este equipo, cuando se aplica un ultrasonido de alto rendimiento a sistemas de líquidos (incluyendo lodos y pastas viscosas) se genera cavitación acústica. La cavitación acústica describe el fenómeno de la generación, crecimiento y eventual implosión de las burbujas de cavitación. Durante la propagación de las ondas de ultrasonido, las burbujas de vacío oscilan, crecen y colapsan en el punto en que la burbuja no puede absorber más energía. La implosión de burbujas crea localmente condiciones extremas de temperaturas muy altas, presiones, velocidades de calentamiento y enfriamiento, así como diferencias de presión y chorros de líquido. Las condiciones extremas provocan efectos térmicos, mecánicos y químicos. La disrupción celular y la liberación de compuestos bioactivos (extracción) es un efecto mecánico, que es muy eficaz y eficiente para procesos de extracción de

materiales botánicos. También, ha publicado una rápida y sencilla extracción de Cannabis por ultrasonidos, donde menciona que para producir cannabinoides de alta calidad, es preciso un método de extracción de cannabis eficiente y fiable. Asimismo, mencionan que han demostrado que la extracción por ultrasonidos acorta el tiempo de extracción e incrementa el rendimiento de forma significativa. Mediante la energía ultrasónica, la extracción de cannabis resulta más rápida, completa y eficiente. Finalmente indican que, la extracción ultrasónica es sencilla y fiable.

Igualmente menciona que, la sonicación ejerce intensas fuerzas de cizalla y tensión sobre el medio, consiguiendo así una extracción con alto rendimiento en un tiempo muy breve. Esto significa que el proceso de extracción de sustancias activas o materiales vegetales, como los cannabinoides y terpenos de las plantas de cannabis, puede ser optimizarse de forma sustancial. Es decir que, la extracción por ultrasonidos se puede realizar con una amplia variedad de disolventes. Por otro lado, dependiendo de su uso posterior, los principios activos del cannabis se extraen con solventes como butano, CO₂, propano, etc., cuando los extractos se destinan para ser inhalados. También mencionan que, si se desean preparar extractos para la ingestión oral, se suelen utilizar solventes como el etanol, ciclohexano, isopropanol, aceite de oliva, aceite de coco, y entre otros solventes extractores.

May, (2018). Señala las técnicas de extracción que se utilizan para separar los componentes del cannabis y eliminarlos de la matriz vegetal. En este artículo menciona que, varios métodos pueden dividir el material vegetal de cannabis en partes, o extractos, que contienen diferentes productos químicos. Con el cannabis obtenido, las técnicas de extracción a menudo se utilizan para aislar compuestos deseables específicos, porque el cannabis contiene al menos 113 cannabinoides, incluidos el cannabidiol (CBD) y el tetrahidrocannabinol (THC). Por otro lado, menciona que, un productor puede buscar crear un extracto único con muchos compuestos de cannabis deseables; a veces llamados extractos de plantas enteras. Incluyendo los cannabinoides más conocidos, los científicos han identificado más de 550

químicos el cannabis en general, incluidos componentes como los terpenos. Las técnicas de extracción también se utilizan para concentrar productos químicos de interés.

También menciona que, los métodos más comunes de extracción de cannabis deben tener en cuenta que la extracción de cannabis es química, no cocina. Por lo tanto, se requieren algunas habilidades en métodos analíticos más equipos de laboratorio reales para realizar estos métodos de manera correcta y segura. En muchos casos, los reactivos y cómo se usan pueden crear situaciones peligrosas. En consecuencia, muchas de las técnicas requieren equipo de seguridad, como una campana extractora. Igual de importante, el proceso de extracción debe realizarse correctamente para producir un producto seguro para uso humano, y los resultados deben confirmarse de forma independiente con las pruebas analíticas adecuadas.

Mead (2017) señala que, en los Estados Unidos, las leyes federales y estatales sobre el uso médico del cannabis y el cannabis están en conflicto, lo que genera confusión entre pacientes, cuidadores y proveedores de atención médica. El cannabis ahora es legal para uso médico en el 50% de los estados, y otros 17 estados permiten productos con alto contenido de cannabidiol (CBD) y THC (tetrahidrocannabinol) para uso médico. Muchas de estas artesanías se venden en farmacias o por internet.

A pesar de ello, ninguno de estos productos ha sido aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). Comprender cómo se aplican las leyes federales a la investigación y la práctica clínica puede ser un desafío, y la complejidad de estas leyes ha generado una confusión específica sobre el estado legal del CBD. Este documento proporciona una descripción actualizada (a partir de agosto de 2016) de los aspectos legales del cannabis y el cannabis, incluido su cultivo, producción, distribución y uso medicinal.

Acan y Pilataxi (2014), reportaron el diseño y construcción de un equipo extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor para la obtención de aceite esencial de berro, espinaca y zanahoria con el fin de aprovechar al

máximo las propiedades que presentan dichas plantas. Asimismo, mencionan que, el equipo diseñado funcionará como material didáctico y educativo en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Con el equipo diseñado y construido realizaron ensayos de laboratorio a distintos tiempos de extracción estas son 60, 70, 80 90 minutos; Este equipo cuenta con un recipiente extractor de 100 L de volumen, tres recipientes de carga de materia prima con una capacidad total de 15 Kg, un condensador a contracorriente de 60 cm de longitud y de 12 cm de diámetro, un quemador industrial y un sistema de recirculación de agua (tanque de alimentación de 210 L y una bomba de 0,5 HP).

También mencionan que, el presente equipo trabaja a una temperatura de 92 °C produciendo de esta forma el vapor de agua necesario para arrastrar el aceite esencial contenido en la materia prima, posteriormente esta mezcla pasa de vapor a estado líquido en el condensador y se separan con la ayuda de un embudo de separación por diferencia de densidades. Como resultado se obtuvo un extractor de aceites esenciales con una eficiencia de 93,8% con un rendimiento medio para la materia prima utilizada de 0,17% en un tiempo de extracción de 90 minutos. Se recomienda utilizar el extractor de aceites esenciales por arrastre de vapor dentro del laboratorio para la obtención de aceites esenciales de nuevas plantas y futuras investigaciones acerca del proceso de extracción.

Grotenhermen (2006) publicó un artículo en el que afirmaba que el cuerpo humano tiene sitios de unión de cannabinoides específicos en la superficie de muchos tipos de células y que nuestros cuerpos producen otros endocannabinoides. Entre sí, derivados de ácidos grasos, se unen a los receptores de cannabinoides (CB) activados. Los receptores CB y los endocannabinoides juntos forman el sistema endocannabinoide. Algunos fitocannabinoides (Cannabis de la planta de Cannabis) y muchos cannabinoides sintéticos producen efectos similares a los endocannabinoides en el laboratorio. El Δ^9 -THC (o dronabinol), el cannabinoide farmacológicamente más activo de la planta de cannabis, se une a los dos tipos

de receptores de cannabinoides identificados hasta la fecha, el CB1 y el CB2, que se localizan en el sistema nervioso central (cerebro y médula espinal) como, así como en muchos tejidos y órganos periféricos. Dependiendo del tipo de célula, la dosis y la situación en el cuerpo, la activación de los receptores CB produce una variedad de efectos, que incluyen euforia, ansiedad, boca seca, relajación muscular y disminución del hambre y el dolor. Asimismo, menciona que, la activación de los receptores CB, se están investigando otras formas de manipulación del sistema cannabinoide con fines terapéuticos, como el bloqueo de los receptores CB (o antagonismo) y la regulación de los niveles de los receptores CB. Finalmente indica que, actualmente se utilizan varios preparados de los receptores de cannabinoides (dronabinol, nabilona y cannabis) y compuestos bloqueadores de los receptores CB1 (rimonabant).

Dussy (2005) Ha publicado un procedimiento simple basado en cromatografía en una columna de gel de sílice para el aislamiento de Delta9-tetrahidrocannabinólico A (Delta9-THCA-A) a partir de cannabinoides en una escala de unos pocos miligramos. Además, se investigó la descarboxilación de Delta9-THCA-A al tóxico activo Delta9-tetrahidrocannabinol (Delta9-THC) en diferentes condiciones analíticas y bajo consumo de tabaco. La conversión máxima en el analizador mejorado produce aproximadamente un 70 % de Delta9-THC. Al simular el proceso de fumar, solo se pudo recuperar alrededor del 30% del material enriquecido como Delta9-THC.

1.2. Antecedentes nacionales. -

Machaca (2021) ha desarrollado el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de laboratorio, la secuencia del proceso desarrollado consiste en: Recepción, pesado, lavado, y secado al medio ambiente, descarboxilado, trozado, molido, tamizado y pesado las flores o cogollo de la marihuana, extracción del aceite en el extractor por cohobación y Soxhlet con separación de solvente, y almacenaje del aceite de cannabis.

Las condiciones óptimas para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de laboratorio por el método de cohobación o sumersión completa que se han determinado son: Tamaño promedio de la partícula: 2mm, relación liquido/solido: 12,5; Temperatura: 60°C, tiempo de extracción: 10 horas y como solvente extractor el etanol, rendimiento de la extracción: 16,0 %. Y por el método Soxhlet que se han determinado son: Tamaño promedio de la partícula: 2mm, relación liquido/solido: 20; Temperatura: 50°C, tiempo de extracción: 127 min, 6 etapas y como solvente extractor el etanol, rendimiento de la extracción: 16,5 %.

León (2017) en su artículo publicado, indica que el cannabis, también conocido como marihuana, entre muchos otros nombres, es una hierba (*Cannabis sativa*) originaria del Asia, durante más de 5000 años ha sido utilizada por distintas culturas del mundo con fines religiosos, alimenticios y medicinales. Asimismo, menciona que, en el siglo XVI era parte habitual de cualquier botiquín médico, principalmente, por sus efectos analgésicos y antiinflamatorios. Las cualidades psicoactivas de la planta solo fueron conocidas por los europeos en el siglo XIX. También, menciona que, el aceite de cáñamo es obtenido por extrusión o presión en frío de las semillas de cáñamo y también es diferente al aceite de cannabis. Aunque ambos aceites se obtienen de la misma planta, tienen diferente composición química y usos. El término cáñamo se usa para referirse a plantas de *Cannabis sativa* que contengan cantidades muy pequeñas de THC (tetrahidrocannabinol). Su aceite tiene poco valor medicinal y es posible encontrarlo aún en países donde la marihuana es ilegal. El cáñamo es una planta de crecimiento elevado que generalmente se cultiva para uso industrial, en productos como aceites y ungüentos, así como también fibra para ropa, construcciones y papel, entre otros.

Igualmente, en su publicación indica que, en la elaboración del aceite de cannabis con fines medicinales debe tomarse en cuenta tanto la variedad y la parte de la planta como el método de extracción que garanticen la calidad y el contenido de principios activos del producto, de tal manera que se pueda conocer con precisión la dosis y el tipo de cannabinoide que está recibiendo el

paciente según la dolencia a tratar. En la elaboración artesanal del aceite debe entrenarse previamente al personal para que se usen buenas prácticas de manufactura (BPM) y se evite: a) la contaminación del producto; b) la pérdida de los principios activos por un calentamiento excesivo y c) los posibles accidentes que pueden ocurrir especialmente cuando se utilizan solventes muy inflamables (butano, hexano) o tóxicos (alcohol Isopropílico).

Machaca, (2016). Con la finalidad de aprovechar los residuos sólidos agroalimentarios, que las plantas industriales productoras de néctar de durazno generan gran cantidad estos residuos sólidos al extraer las pepas de la pulpa de durazno, los cuales son enviados a los botaderos generando el incremento de la contaminación ambiental. Ha desarrollado el proceso de extracción de aceite vegetal de las almendras (semillas) que se encuentra dentro de la pepa de durazno (*Prunus persica*) a nivel de laboratorio. La secuencia del proceso desarrollado consiste en: recepción, pesado, lavado, y secado de la pepa de durazno, escarización o deshuesado de la pepa, pesado y evaluación del tamaño de la almendra o semilla, trozado y trituración de la almendra o semilla, pesado y selección de tamaño de partícula, extracción del aceite en el extractor Soxhlet con separación de solvente, separación del solvente, y almacenaje del aceite.

2.2. Bases teóricas. -

2.2.1. Tipos de aceite de cannabis. -

1. El aceite de hachís llamado cannabis líquido. – El aceite de hachís, es un extracto líquido concentrado obtenido de la hierba de cannabis o resina de cannabis. Este cannabis líquido se extrae para concentrar los componentes psicoactivos, así, por ejemplo, el tetrahidrocannabinol (THC). De esta manera, es más fácil para el comerciante eludir la ley, ya que puede ocultar más sustancias psicotrópicas en menos productos. Otra ventaja es que los contrabandistas pueden colocar cannabis líquido en nichos y utilizar recipientes

que no son aptos para almacenar hierbas o resinas de cannabis, evitando así ser detectados por el olor o la forma (Potter, 2008).

En general, el aceite de hachís o el cannabis líquido, si se ha obtenido de la hierba, así como de la resina de cannabis, es de color marrón oscuro o verde oscuro, y posee la consistencia de un aceite espeso o una pasta (Ross y Elsohly, 1997).

En general, el aceite de hachís o el cannabis líquido, si se ha obtenido de la hierba, así como de la resina de cannabis, es de color marrón oscuro o verde oscuro, y tiene una consistencia aceitosa espeso o una pasta (Rosenberg, 2015).

2. Aceite de semilla de cannabis. -

El aceite de semilla de cannabis es un líquido amarillo pálido. Las semillas contienen alrededor de 29 a 34% de aceite en peso. En otras palabras, cien gramos de aceite de semilla de cáñamo contienen alrededor de 19 gramos de ácido alfa-linolénico. La proporción aproximada de 3:1 de ácidos grasos omega-6 (Ω -6) a ácidos grasos omega-3 (Ω -3) hace que el aceite de semilla de cáñamo sea un nutriente de alta calidad. Sin embargo, debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, este aceite tiende a estropearse rápidamente si no se almacena en un lugar fresco y oscuro (Industrial Hemp, 2009).

Las semillas de cannabis, si bien son menos conocidas, constituyen una potente fuente de ácidos grasos Ω -3. Cabe resaltar, aunque la semilla está dentro de la bractéola, que es la parte de la planta con mayor densidad de tricomas glandulares, y por lo tanto, con mayor concentración de THC, las semillas en sí no contienen THC. Sin embargo, pueden estar contaminadas con materia de cannabis (como sumidades floridas, cáscaras o resina), lo que produce cantidades de THC detectables. Del mismo modo, si se detecta el THC en el aceite de semilla de cannabis, lo más probable es que sea debido a una separación defectuosa de las semillas de la bráctea (King, 2003).

3. Aceite esencial de cannabis. -

El aceite esencial de cannabis es otro de los productos del cannabis, es un líquido claro y de color ligeramente amarillo. Se obtiene por arrastre de vapor de las plantas de cannabis recién cortadas. No existe gran demanda de este aceite esencial y al parecer es más bien un subproducto de la fabricación de aceite de semillas o aceite de hachís. El aceite esencial no contiene THC, pero produce el olor característico de los productos de cannabis y es la causa de que estos sean detectados por los perros antidroga (Industrial Hemp, 2009).

2.2.2. Tipos de procesos difusionales de extracción sólido-líquido. –

Según Machaca (2018) y Hamblin (1991), los tipos de procesos difusionales para la extracción sólido-líquido son:

1. Extracción sólido-líquido. -

Consiste en el contacto íntimo de la materia prima vegetal con un disolvente orgánico volátil, permitiendo la disolución de la esencia en el disolvente. A esta mezcla, se le llama *extracto*. La operación puede realizarse en frío (maceración) o en caliente, con rotación del extractor o en modo estático (Machaca, 2018; Cefla, 2015 y Hamblin, 1991).

El extracto es evaporado al vacío para recuperar el disolvente y obtener el *concreto*. Él cual es una mezcla de compuestos volátiles y no volátiles (ceras o resinas solubles) en el disolvente usado. Para obtener el aceite esencial, se realiza una serie de extracciones sucesivas del concreto con etanol u otros disolventes de diferente polaridad. Luego, la disolución se decanta en frío, buscando la precipitación de las ceras y de los pigmentos presentes. Se realizan filtraciones sucesivas y el líquido separado es evaporado al vacío para obtener el *absoluto*, o sea el aceite esencial enriquecido en terpenoides oxigenados, solubles en el etanol o en los otros disolventes (Machaca, 2018; Cefla, 2015 y Hamblin, 1991).

El *absoluto* tiene una calidad y mayor valor económico que el aceite esencial obtenido mediante vapor de agua. Sin embargo, su rendimiento suele ser menor, por las extracciones sucesivas y su uso está limitado por su mayor precio y por el contenido residual de los disolventes orgánicos empleados.

A nivel laboratorio, el equipo más conocido y usado actualmente es el Soxhlet con el cual se obtienen extractos. Es un equipo que trabaja con un disolvente orgánico en ciclos continuos de evaporación y condensación, de manera que el disolvente líquido caliente y puro está en contacto con la materia prima, mientras que otra parte del disolvente acumula los compuestos extraídos. Las ventajas residen en su fácil manejo, su funcionamiento automático y la capacidad de obtener la mayor cantidad de compuestos químicos presentes en una planta aromática. Entre las limitaciones, se anota el extenso tiempo de operación y de residencia del disolvente en el lecho de la materia prima. Lo cual conduce a limitar su uso a obtener aceites esenciales de un alto valor. Y, en la seguridad requerida para su operación y control, debido al uso de disolventes orgánicos volátiles, los cuales son inflamables y algunos tóxicos o irritantes (Machaca, 2018; Cefla, 2015 y Hamblin, 1991).

2) Extracción mediante fluidos supercríticos (EFS). -

Consiste en el uso de un fluido en condiciones supercríticas, como disolvente, para la extracción de la esencia de una planta aromática. La materia prima es molida y acumulada en un extractor, formando un lecho fijo. Luego, se hace circular una corriente de un fluido supercrítico, el cual extraerá los compuestos solubles en él. Este extracto es conducido a una serie de separadores, para que, a través de una sucesión de descompresiones, se obtengan varias fracciones de la esencia. El aceite esencial es la fracción más volátil. El fluido descomprimido es reciclado y llevado a su condición supercrítica para continuar la separación.

Existen numerosos trabajos de investigación con esta tecnología, aplicada a la obtención de conocidos aceites esenciales (Brunner, 1994; Del Valle et al., 2005; Jarvis and Morgan, 1997; King and Bott, 1993; Lack and

Simandi, 2001; Meireles, 2003; Mukhopadhyay, 2000). Asimismo, varias plantas industriales a nivel mundial aplican esta tecnología diariamente (Cocero, 2006).

Las ventajas técnicas de la EFS son:

- Obtención de aceites esenciales con una mayor frescura y aroma natural.
- Uso de temperaturas moderadas, para evitar la degradación térmica del producto.
- No hay presencia del disolvente en el aceite.
- Mayor rendimiento por operación.
- Proceso libre de contaminantes biológicos (microbios, hongos, etc.).
- Flexibilidad en la preparación del disolvente.
- Mínimo impacto ambiental.
- Flexibilidad en las variables de control para el proceso.
- Automatización de los equipos.

Las desventajas de la EFS son:

- Al igual que los procesos de extracción convencional, es necesario disponer de datos de equilibrio para conocer cómo se distribuye el componente de interés en las distintas fases y determinar la composición del producto extraído para cualquier composición de la mezcla inicial. Este es el mayor problema de la EFS, ya que apenas se disponen de datos experimentales para realizar los cálculos imprescindibles. Los modelados fenomenológicos son abundantes y diversos, pero esto en vez de apoyar el desarrollo, constituye una limitación, básicamente porque no existen acuerdos de cuál modelo puede usarse en determinado caso. Los modelados fenomenológicos no son únicamente modelos matemáticos, sino físicos y lógicos, por ello, muchos modelados actuales resultan semi-empíricos o fácilmente cuestionables.
- Los altos costos de los equipos y su relación inversa con el volumen de extracto obtenido por corrida.

- Desconocimiento del know-how necesario para la investigación y desarrollo de esta tecnología en diversos países.
- Los extractos obtenidos pueden poseer características diferentes a las conseguidas a través de otros procesos de extracción. Esto influye en la predilección del mercado por un determinado producto, en vez del obtenido por la nueva tecnología. El caso más crítico es el de los aceites esenciales, donde la EFS aun no puede sustituir a la hidrodestilación en la mayoría de los casos.
- Los equipos son móviles, pero necesitan una infraestructura segura, limpia y apropiada para las condiciones de operación. Los ambientes húmedos, muy fríos o congestionados no son recomendables. Por ello, instalaciones pre-diseñadas que cumplan normas internacionales de seguridad e higiene son necesarias e imprescindibles (Lack and Simandi, 2001; Meireles, 2003; Mukhopadhyay, 2000).

3). Extracción sólida-líquida asistida por microondas (EMO). -

Las microondas son radiaciones electromagnéticas con una frecuencia en el rango 0,3 a 300 GHz. Para evitar interferencias con las radiocomunicaciones, los microondas domésticos e industriales operan generalmente a 2,45 GHz. Debido a su naturaleza, las microondas poseen campos eléctricos y magnéticos, los cuales son perpendiculares entre ellos. El campo eléctrico causa el calentamiento, vía dos mecanismos simultáneos: rotación bipolar y conducción iónica. La rotación bipolar es debida al alineamiento en el campo eléctrico de las moléculas con un mismo momento bipolar en la muestra sólida y el disolvente. Esta oscilación produce colisiones con las moléculas circundantes y así, la liberación de la energía térmica al medio. Con una frecuencia de 2,45 GHz, este fenómeno ocurre $4,9 \times 10^9$ veces por segundo y el calor generado es muy rápido. Mientras mayor sea la constante dieléctrica del disolvente, el calentamiento aumentará. Por lo tanto, a diferencia de los métodos conocidos de suministro de calor por conducción, las microondas dan el calentamiento a toda la muestra homogéneamente. El efecto de las microondas es fuertemente dependiente de la naturaleza de las matrices del disolvente y del sólido. Los disolventes usados comúnmente cubren un amplio

rango de polaridades. La mayoría de las veces, el disolvente escogido posee un alta constante dieléctrica y absorbe fuertemente la energía de las microondas. Sin embargo, la selectividad de la extracción y la capacidad del medio para interactuar con las microondas puede ser modulado por el uso de mezclas de disolventes (Kaufmann and Christen, 2002; Luque de Castro et al., 1999).

En algunos casos, la matriz misma interactúa con las microondas mientras el disolvente circundante posee una baja constante dieléctrica y así, permanece frío. Esta última situación presenta algunas ventajas obvias en el caso de compuestos termosensibles y ha sido usado exitosamente para la extracción de aceites esenciales. Además, las microondas interactúan selectivamente con las moléculas polares presentes en los tricomas glandulares. El calor produce la expansión y ruptura de las paredes celulares y la liberación del aceite esencial al disolvente circundante. El contenido de humedad es esencial en EMO debido a que el agua calienta más y promueve la liberación de los analitos al medio circundante (Kaufmann and Christen, 2002; Luque de Castro et al., 1999).

El equipo usado es un extractor cerrado, donde se sumerge el disolvente y la materia prima molida, dentro de un horno por microondas, conectado a un condensador superior y exterior. Se aplica la energía por un corto tiempo de operación y luego se realiza la separación del disolvente y la materia tratada. Este extracto es evaporado para recuperar el disolvente y obtener el aceite esencial. Los rendimientos conseguidos son similares a la hidrodestilación, pero el tiempo de operación es mínimo y el análisis cromatográfico revela una composición totalmente diferente a la de los aceites esenciales convencionales (Kaufmann and Christen, 2002; Luque de Castro et al., 1999).

Una variante de este proceso y con un futuro prometedor, es aplicar la *extracción por microondas sin uso de disolventes* (Microwave Assisted Steam Distillation o MWA-SD), exceptuando el agua contenida en el propio material vegetal (Chemat et al., 2006; Ferhat et al., 2006; Lo Presti et al., 2005;

Lucchesi et al., 2004a, b; Iriti et al., 2006; Wang et al., 2006; Silva et al., 2004; Flamini et al. (2007). Menciona que, se aprovecha el agua contenida en la planta para “arrastrar” al aceite esencial. Los rendimientos son similares a la hidrodestilación y el tiempo de operación es muy inferior al usado comúnmente. Las propiedades físicas del aceite obtenido por este proceso son similares a los aceites comerciales. Los análisis cromatográficos son ligeramente diferentes, sin ser tan disímiles como con los aceites obtenidos por EMO.

2.2.3. Características del proceso de extracción. -

Según Ferhat (2006) y Lo Presti (2005) Los procesos difusionales de extracción se caracterizan porque realizan la extracción en forma semicontinuo. La carga de la materia prima se hace por lotes. El flujo del vapor de agua, seco o saturado es continuo. La decantación también es continua.

Asimismo, indican que existen dos periodos durante el proceso de extracción y estos son:

1) Periodo de llenado (t_{fill}). - Desde que se inicia la inyección del vapor al hidrodestilador hasta que se obtiene la primera gota de aceite esencial en el florentino. A escala laboratorio y banco, es preferible medir cuando se obtiene la primera gota de agua floral que rebosa del florentino, puesto que el flujo de vapor es mínimo e irregular en esos momentos. Depende de la porosidad del lecho y del caudal de vapor usado. No suele estimarse, sólo medirse y correlacionarse con otros parámetros.

2) Periodo de obtención (t_{sd}). - Desde que termina el llenado hasta que el volumen del aceite esencial recogido en el florentino no varía con el tiempo. Se divide en dos periodos:

a) Periodo No estacionario (t_{ns}). - Desde que termina el llenado hasta que se alcanza el equilibrio térmico e hidrodinámico. Depende de la hidrodinámica del vapor en el lecho, del transporte de calor, de las condiciones térmicas del vapor y de fenómenos físicos competitivos (exudación y difusión). No suele estimarse, sólo medirse, pero es determinante en el proceso, porque

equivale al 50-70% del tiempo de obtención y durante el cual, se logra obtiene entre el 60–75% del aceite total.

b) Periodo estacionario (t_s).- Desde que se alcanza el equilibrio térmico e hidrodinámico hasta que el volumen del aceite esencial recogido no varía. Depende de los fenómenos difusionales que retrasan la obtención del resto de aceite esencial “libre” y dispersado en el lecho, o del aun contenido en la materia prima.

El escalamiento de procesos es una combinación de arte y ciencia, donde la experiencia en un proceso se combina con diversas técnicas matemáticas, (modelados) para establecer metodologías efectivas y seguras de escalado. Sin embargo, un riesgo considerable está presente en estas metodologías; puesto que, estrictamente hablando, el escalado consiste en una extrapolación de un proceso a una escala mayor, donde no existe información experimental previa para validar los cálculos realizados. Por lo tanto, el escalado posee una incertidumbre intrínseca que debe ser minimizada efectivamente, para proponer una instalación capaz de reproducir, lo más fielmente posiblemente, el comportamiento de la instalación operada previamente (Lack, 2001; Cocero, 2006 y Lucchesi, 2004b).

Caldas (2012) y Cefla (2015) menciona que, las siguientes hipótesis son inválidas para el escalado y también afectan al modelamiento en equipos industriales:

1. Considerar la corriente de vapor como mezclada perfectamente, en flujo continuo, sin acumulación de aceite. Porque, durante un periodo de obtención (30% al 50% del tiempo total), el régimen del flujo de vapor es no estacionario, como se ha detectado para todos los casos estudiados. En el caso del lavandín abrial, los autores concluyen que, este régimen no estacionario afecta negativamente al modelado, cuando se resuelve en función del tiempo de operación; lo cual es ilógico y sólo se justifica porque el caudal del vapor afluente varía considerablemente con el suministrado. Además, durante el periodo de llenado ($0 < t < t_{fill}$), el aceite se condensa y evapora cíclicamente en

el equipo, en una proporción desconocida; hasta que el flujo de vapor alcanza el tope del equipo. Este periodo suele ser apreciable y determinante, cuando el tiempo de obtención es bajo. (Caldas, 2012 y Cefla, 2015).

2. Considerar que las fases líquidas están en reposo. Porque existe un reflujo, a contracorriente, de vapor condensado. El cual, está relacionado con el balance de energía en el equipo y con la hidrodinámica del lecho. Aunque, la proporción del flujo de vapor afluyente que se divide en reflujo es calculable el contenido de aceite esencial disuelto o “arrastrado” es desconocido. (Caldas, 2012 y Cefla, 2015).

3. Definir el aceite esencial como una mezcla ideal y que es inmisible en el agua. Porque el aceite es una mezcla de compuestos químicos de diferente naturaleza química, sus interacciones influyen en un comportamiento aún desconocido. Se conoce que una fracción de los aceites esenciales, la de terpenos oxigenados, es más soluble que la de mono terpenos, en una mayor proporción (Li et al., 1998). Por lo tanto, la miscibilidad del aceite es parcial y dependiendo de que fracción del aceite se haya considerado. Este comportamiento se observa más claramente cuando el aceite es rico en un terpeno oxigenado (opacidad del agua floral).

4. Idealidad de las fases vapor y líquida-líquida. Porque, al existir una miscibilidad parcial, el modelado termodinámico debe considerar esta característica. Se ha observado en los capítulos anteriores, que existe una fuerte desviación en los resultados generados por el modelado restringido, con respecto a la destilación diferencial. Esto conduce a una sobreestimación de la composición del aceite durante el proceso y a una estimación muy imprecisa a escala mayor. (Caldas, 2012 y Cefla, 2015).

5. Desprecio de la dispersión axial y radial del transporte de aceite en el vapor. Porque en recipientes con una relación geométrica mínima ($\alpha \rightarrow 1$) y con un flujo capilar ($Re_p \ll 100$), la presencia de la dispersión axial en la transferencia de masa en lechos fijos está demostrada (Li et al., 1998). Esto ocasiona que el balance de masa aplicado a la fase vapor sea parcialmente

representativo de todos los fenómenos participantes. (Caldas, 2012 y Cefla, 2015).

6. Considerar un sistema isotérmico durante todo el proceso. Porque las pérdidas de calor son importantes; puesto que el hidroddestilador no está aislado. El equilibrio de fases depende de la temperatura del equipo; sin embargo, el modelado indica que la temperatura es una variable dependiente de la Ley de Dalton (punto de burbuja). Esto conlleva a una desviación adicional en los cálculos, durante el periodo no estacionario del proceso. Además, durante el periodo de no estacionario, el transporte de energía influye en el grado de condensación y en la distribución de los flujos del vapor en el lecho. (Caldas, 2012 y Cefla, 2015).

2.2.4. Transferencia de masa y calor en procesos de extracción sólido-liquido. -

Desde hace muchas décadas, se asume que el proceso está regido por *la vaporización del aceite esencial "libre" o disponible* en la superficie de las hojas o flores, cuando una corriente de vapor saturado atraviesa un lecho conformado por este material vegetal. Un abundante conocimiento empírico sustenta esta posición (Günther, 1948). Al ser la vaporización, el fenómeno que controla el proceso, se asume un equilibrio termodinámico, entre el aceite esencial y el agua, controlante del rendimiento. Por ello, la denominación de "hidroddestilación" ha sido acuñada para reflejar este hecho (Jarvis, 1997).

Sin embargo, el rendimiento del proceso no sigue un comportamiento como el calculado en la destilación, porque la velocidad de obtención del aceite disminuye, más rápidamente, conforme el tiempo transcurre. La hipótesis de la existencia de un segundo fenómeno controlante, de tipo difusional ("hidrod-difusión"), limitante del rendimiento, fue sugerido inicialmente por Von Rechenberg (Günther, 1948). Basado en el concepto de ósmosis, estaría aplicado al aceite esencial "retenido" en los tricomas glandulares superficiales, presentes en hojas y flores. Lamentablemente, el enunciado matemático del

mismo no fue llevado a cabo, debido a la llegada tardía de la teoría de fenómenos de transporte, capaz de plasmar matemáticamente este segundo fenómeno. Además, los estudios botánicos de micro-histología en este fenómeno han sido aplicados recién en los últimos años (King, 1993 y Lack, 2001); lo cual, ha generado un vacío en la explicación física y una carencia de modelados fenomenológicos capaces de simular, controlar y escalar el proceso, para diferentes niveles de producción. Por ello, la hidrodestilación es una operación de separación empírica, particular para cada materia vegetal, y dependiente de diversos parámetros físicos no integrados entre sí.

Tomando en cuenta el conocimiento empírico acumulado de la operación, el trabajo pionero de von Rechenberg y los estudios botánicos, se deduce que existen, por lo menos, tres fenómenos controlantes del proceso: El primero, una vaporización instantánea del aceite esencial, en la interfase de la película formada en la superficie del material vegetal y el vapor circundante. El segundo, la difusión del aceite vaporizado al seno de la corriente del vapor circundante, debido a la convección que ejerce el vapor en el lecho, y su inmediato transporte al exterior del equipo. Y el tercero, una exudación (o excreción) del aceite esencial desde el interior de los tricomas glandulares, a través de su cutícula, a la película superficial del material vegetal (Lack, 2001).

En los últimos años, varios trabajos de investigación han sido publicados, proponiendo nuevos enunciados matemáticos basados en el balance microscópico del transporte del aceite en el vapor, que explicarían los fenómenos mencionados anteriormente.

Benyoussef et al., (2019) aplicaron su modelado al caso de los frutos del cilantro (*Coriandum sativum L.*). Se consideró que: la exudación es una desorción irreversible del aceite esencial en el agua penetrante en la matriz herbácea, a velocidad de primer orden con respecto al aceite retenido. La vaporización del aceite liberado se asumió como instantánea, debido al equilibrio de fases formado, pero la relación era explícita y en función de un término constante y empírico. La difusión intrapartícula del aceite en el agua

penetrante fue asumida como la controlante, despreciándose la difusión externa por convección. Este modelado posee algunas limitaciones en su enunciado: sólo es aplicable a frutos (geometría esferoide), donde el aceite esencial está en el interior de la matriz herbácea; la difusión intrapartícula del aceite en el vapor penetrante se aplica sólo cuando la materia prima está molida, como fue el caso, pero a nivel industrial, los frutos no suelen ser molidos y no hay evidencias de que el agua penetre en la matriz herbácea; el término empírico para relacionar el equilibrio entre el aceite en la superficie de la matriz y el del vapor es definido como un coeficiente de reparto, independiente de las volatilidades y de la solubilidad del aceite en el vapor, y sin ninguna relación termodinámica que lo respalde; lo cual es inconsistente, porque el aceite esencial se vaporiza en determinada proporción, de acuerdo a principios termodinámicos conocidos.

Romdhane and Tizaoui (2005) aplicaron su modelado al caso de los frutos del anís verde (*Pimpinella animum*). Se consideró que: no existe exudación; el aceite es transportado desde el interior de los frutos por un gradiente de concentraciones y la velocidad de transferencia depende de ese gradiente y de un coeficiente global. La vaporización del aceite liberado se asumió como instantánea, debido al equilibrio de fases formado, pero la relación era explícita y en función de un término constante y empírico, junto con la presión de vapor del compuesto químico mayoritario en el aceite. Este modelado posee algunas limitaciones en su enunciado: sólo es aplicable a frutos (geometría esferoide), donde el aceite esencial está en el interior de la matriz herbácea; el término empírico para relacionar el equilibrio entre el aceite en la superficie de la matriz y el del vapor es definido como un parámetro de proporcionalidad, independiente de las volatilidades y de la solubilidad del aceite en el vapor, asumiéndose una similitud con la constante de Henry. Sin embargo, este parámetro es calculado por la minimización de la función objetivo y sin el uso de las propiedades físicas de los compuestos químicos involucrados, ni de relaciones termodinámicas conocidas. La disminución de aceite esencial en la matriz herbácea se calcula mediante un balance global de materia y en función de la velocidad de transferencia debido a la difusión por convección.

Sovová and Aleksovski (2006) aplicaron su modelado al caso de las hojas del tomillo rojo (*thymus serpyllum* L.). Se consideró que: no existe exudación; el aceite está disponible en la superficie de la matriz y se evapora instantáneamente conforme la temperatura aumenta. Existe una resistencia a esta vaporización, debido a la difusión por convección del aceite desde la superficie al seno del agua circundante. El equilibrio entre el aceite superficial y el vaporizado se estableció mediante una constante de partición, independiente de la composición de las fases, de la temperatura y de la difusión externa. Este modelado posee algunas limitaciones en su enunciado: es aplicable sólo cuando la matriz herbácea está molida, es decir, cuando deliberadamente, se permite que todo el aceite esencial se encuentre libre en la superficie y disponible; la materia prima está sumergida en agua, que se va calentando hasta alcanzar su punto de ebullición, lo cual es válido para un determinado tipo de hidrodestilación, pero no para la usada común e industrialmente; la constante de partición carece de una relación matemática vinculada con la termodinámica, es obtenida por la minimización de los errores para correlacionar el modelado a los datos experimentales, obviándose su relación con respecto a las propiedades físicas (presión de vapor) del aceite esencial o a la composición en la interfase formada.

Asimismo, menciona que, la hidrodestilación de aceites esenciales fue estudiado utilizando un modelo con células rotas e intactas, en el que el soluto ubicado en las células con paredes rotas se extrae rápidamente y el soluto de las células intactas se difunde lentamente a la superficie del material botánico. El aceite esencial se considera un pseudocomponente. Las ecuaciones del modelo describen dos tipos de partículas: las hojas, donde una parte del soluto se deposita en la superficie en frágiles tricomas glandulares, y las partículas molidas, con una distribución de soluto inicialmente homogénea. La solución analítica de las ecuaciones del modelo contiene dos constantes de tiempo, la mayor relacionada con la difusión del aceite esencial desde el núcleo de la partícula. Usando datos de la literatura, el modelo se aplicó a la hidrodestilación de hojas de tomillo rastrero y semillas de cilantro intactas. La difusividad efectiva del aceite en la semilla de cilantro se evaluó

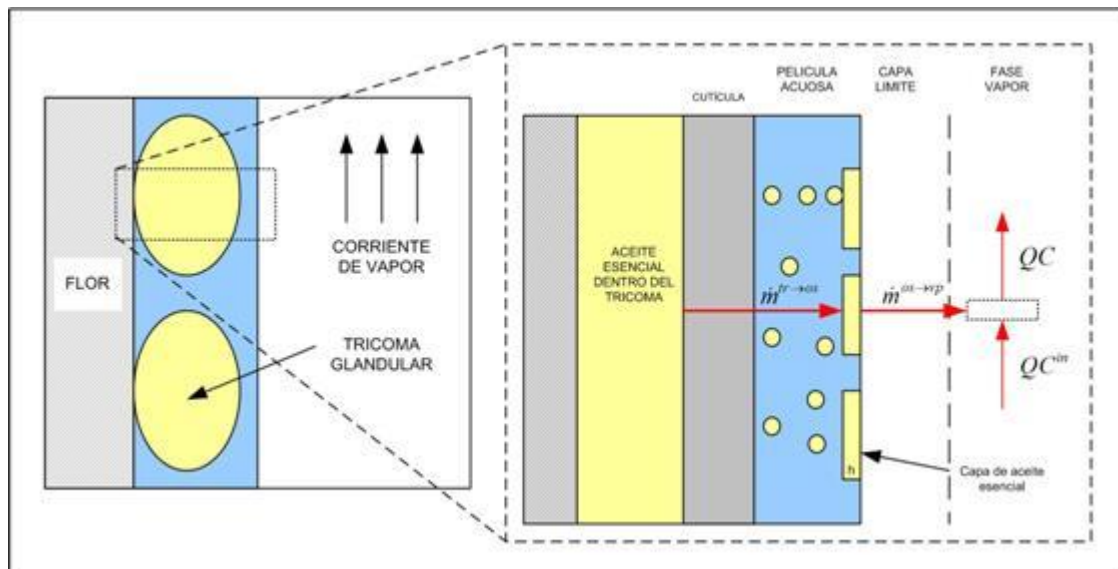
como $1.7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Un desarrollo posterior del modelo debe respetar las diferentes volatilidades de los componentes del aceite esencial, lo que lleva a cambios en la composición del aceite destilado en el transcurso del proceso.

De la anterior compilación de modelados publicados, se deduce que: la difusión intrapartícula, llámese de aquella que ocurre dentro de la matriz herbácea, controla el proceso, con la excepción del trabajo de Sovová and Aleksovski (2006). El equilibrio entre el aceite esencial superficial de la matriz y el vaporizado en la corriente es expresado como un coeficiente de partición, independiente de la termodinámica de fases y obtenido por la minimización de la función objetivo del modelado con respecto a los datos experimentales. La exudación es un fenómeno intrapartícula y puede ser expresada como una desorción irreversible de primer orden.

También, consideran que, las etapas para el transporte de masa son (fig.1):

Figura 1

Mecanismo de extracción de aceites esenciales



Fuente: Sovová and Aleksovski (2006)

1. Tricomas glandulares, donde se localiza el aceite esencial. La cutícula del tricoma se comporta como una membrana permeable sólo al aceite. Por la

cual, el aceite se transporta a la película acuosa debido a una exudación térmica. La difusión del aceite esencial en la cutícula es despreciable. La composición del aceite esencial en el interior del tricoma es constante con respecto al tiempo.

2. Película acuosa en la superficie de la flor, recubre completamente a los tricomas glandulares y es atravesada por las gotas del aceite que fluyen de la cutícula. Se considera totalmente inmiscible con el aceite.

3. El aceite libre, exudado por el tricoma, se acumula formando una capa, inmiscible con el agua y para la que se ha considerado un espesor constante (h).

4. Vapor, es una mezcla multicomponente ideal.

2.2.5. Proceso de obtención del aceite de cannabis. -

Según la investigación bibliográfica se ha encontrado que, el aceite de cáñamo es obtenido por presión en frío de las semillas de cáñamo y también es diferente al aceite de cannabis. Aunque ambos aceites se obtienen de la misma planta, tienen diferente composición química y usos. El término cáñamo se usa para referirse a plantas de *Cannabis sativa* que contengan cantidades muy pequeñas de THC. Su aceite tiene poco valor medicinal y es posible encontrarlo aún en países donde la marihuana es ilegal. El cáñamo es una planta de crecimiento elevado que generalmente se cultiva para uso industrial, en productos como aceites y ungüentos, así como también fibra para ropa, construcciones y papel, entre otros (ElSohly, 2014 y Hill, 1983).

En la elaboración del aceite de cannabis con fines medicinales debe tomarse en cuenta tanto la variedad y la parte de la planta como el método de extracción que garanticen la calidad y el contenido de principios activos del producto, de tal manera que se pueda conocer con precisión la dosis y el tipo de cannabinoide que está recibiendo el paciente según la dolencia a tratar. En la elaboración artesanal del aceite debe entrenarse previamente al personal

para que se usen buenas prácticas de manufactura (BPM) y se evite: a) la contaminación del producto; b) la pérdida de los principios activos por un calentamiento excesivo y c) los posibles accidentes que pueden ocurrir especialmente cuando se utilizan solventes muy inflamables (butano, hexano) o tóxicos (alcohol isopropílico) (EISOhly, 2014 y Hill, 1983).

El aceite de cáñamo es obtenido por presión en frío de las semillas de cáñamo y también es diferente al aceite de cannabis. Aunque ambos aceites se obtienen de la misma planta, tienen diferente composición química y usos. El término cáñamo se usa para referirse a plantas de Cannabis sativa que contengan cantidades muy pequeñas de THC. Su aceite tiene poco valor medicinal y es posible encontrarlo aún en países donde la marihuana es ilegal. El cáñamo es una planta de crecimiento elevado que generalmente se cultiva para uso industrial, en productos como aceites y ungüentos, así como también fibra para ropa, construcciones y papel, entre otros (EISOhly, 2014 y Hill, 1983).

En la elaboración del aceite de cannabis con fines medicinales debe tomarse en cuenta tanto la variedad y la parte de la planta como el método de extracción que garanticen la calidad y el contenido de principios activos del producto, de tal manera que se pueda conocer con precisión la dosis y el tipo de cannabinoide que está recibiendo el paciente según la dolencia a tratar. En la elaboración artesanal del aceite debe entrenarse previamente al personal para que se usen buenas prácticas de manufactura (BPM) y se evite: a) la contaminación del producto; b) la pérdida de los principios activos por un calentamiento excesivo y c) los posibles accidentes que pueden ocurrir especialmente cuando se utilizan solventes muy inflamables (butano, hexano) o tóxicos (alcohol isopropílico) (May, 2018; EISOhly, 2014 y Hill, 1983).

Según la revisión bibliográfica nos indica, que el contenido de THC de los diferentes productos del cannabis (hierba, resina y aceite) fue calculado en función de la proporción de las distintas partes de la planta empleadas en su producción. Así, un estudio llevado a cabo en Suiza en 2006 indicó que en dos tercios de las incautaciones de hierba de cannabis el contenido de THC estaba

comprendido entre el 2 y el 12%. En dos tercios de las incautaciones de resina osciló entre el 4 y el 21%, en función del tipo de cultivo y el método de producción, mientras que de la extracción de resina y/o sumidades floridas se puede obtener aceite de cannabis con contenido de THC de hasta el 60% (Oficina Federal Suiza de Sanidad Pública, enero 2009).

El cannabis industrial (hachís industrial) comprende diversas variedades de *Cannabis sativa* L. obtenidas para usos agrícolas e industriales. Se cultivan por sus semillas y fibras. El cannabis industrial se caracteriza por su bajo contenido de THC y alta concentración de cannabidiol (CDB). En la mayoría de los países europeos, la concentración máxima actual permitida legalmente para el cultivo es del 0,2 por ciento de THC (0,3 por ciento en el Canadá). La relación entre las concentraciones de CDB y THC es superior a 1 (May, 2018; Oficina Federal Suiza de Sanidad Pública, enero 2009).

Muchos países cuentan con “listas de variedades aprobadas”. Aquellas cuyo contenido de THC sea claramente superior a los valores aceptables legalmente se suprimen de dichas listas.

La recolección de las fibras se produce al terminar la floración de las plantas femeninas y antes de que se formen las semillas (Oficina Federal Suiza de Sanidad Pública, enero 2009).



2.3. Conceptual. -

En el presente trabajo se investigará y analizará las condiciones óptimas del proceso de extracción, y en base a ello diseñar el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L.) a nivel banco.

En un equipo llamado extractor, la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L.) a nivel banco, consiste en extraer el aceite (soluto) por la acción del solvente (etanol orgánico) que pasa sobre las flores femeninas trituradas. Esto implica la elección de un proceso de extracción que satisfaga las normas de productos establecidos y la instalación de un equipo que asegure el buen rendimiento en el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) nivel banco, primero se analizara

el proceso de extracción a nivel banco, y se hacen una comparación entre los resultados obtenidos para finalmente predecir las variables de diseño a escala Industrial. Por consiguiente, el diseño final del equipo no es un proceso a priori, sino que está dado a través de una realimentación.

También se evaluarán las diversas alternativas de diseño de extractores y sus unidades, en función de las alternativas seleccionadas para dar mayor estabilidad y/o mejores propiedades al producto.

Luego de analizar el proceso de extracción de aceite de cannabis sativa, a nivel banco incluyendo el balance de materia, el número de etapas reales, se inicia con el planteamiento de las variables de diseño del equipo, calculando la capacidad o volumen, que nos conduce a la obtención de datos reales para el dimensionamiento detallado del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco, es decir la determinación de la geometría del extractor, de lo cual se obtienen los datos de construcción, luego se determinaran las especificaciones de los materiales a usar para la construcción del extractor, y este sería el procedimiento para el diseño del equipo de extracción. Asimismo, para la extracción de aceite de cannabis sativa L a nivel banco, seguiremos los pasos anteriormente planteados incluyendo todo el cálculo en el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel de laboratorio (Machaca, 2021).

Finalmente se evaluará experimentalmente el impacto de todas las variables que afectan al diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis a nivel banco, incluyendo materias primas y/o tipo de solventes para dar con las condiciones óptimas de operación, y de esta manera aportar una tecnología selectiva técnica y económicamente rentable.

2.4. Definiciones de términos básicos. -

Diseñar. - Consiste en delinear una figura cualquiera, dar forma a un objeto cualquiera, describir las cualidades de un objeto, dimensionar a un objeto, determinar el volumen o la capacidad del objeto. Desarrollar un proceso siguiendo una secuencia

Extractor. - Recipiente o sistema donde ocurre la extracción sólido-líquido a las condiciones de operación favorables.

Aceite. - Son sustancias líquidas que consta de una mezcla de compuestos orgánicos que se obtiene ya sea por prensado, y por extracción con solvente.

Extracción- La extracción es un proceso difusional que consiste en separar el constituyente del soluto deseado o eliminar un soluto indeseable de la fase sólida, este debe ponerse en contacto con una fase líquida. Es un proceso difusional más antigua que se emplea en la industria.

La técnica para llevar a cabo son dos etapas: La colada o extracción en frío, y la otra la decocción o extracción a temperatura adecuada.

Extracción del aceite de cannabis de la marihuana. - La extracción del aceite de la marihuana a en nivel de laboratorio consiste en extraer el soluto (aceite) por la acción del paso del solvente sobre las flores pistiladas de la marihuana en un sistema llamado extractor. Esto implica la elección de un proceso que satisfaga las normas de productos establecidos y la instalación de un equipo que asegure el buen rendimiento en el proceso de extracción del aceite sin peligro de explosión (Machaca, 2016).

Tecnología- Es el conjunto de reglas técnicas que se apoyan en un fundamento científico, necesarias para la fabricación de uno o más productos, y para establecer una empresa con ese fin (El saber hacer)

Condensación. - se conoce como condensación el proceso físico consistente en el paso de una sustancia de estado vapor a estado líquido.

Ebullición. - temperatura a la cual una sustancia pasa de estado líquido a gas.

• **CBD:** Cannabidiol; el CBD no se une a los receptores de cannabinoides y no produce una sensación de "estar colocado"^{18,19}

• **CBDA:** Ácido cannabidiólico; así es como se presenta el CBD en la planta. El calor convierte el CBDA en CBD.^{3,18}

• **CBDV:** Cannabidivarin, producido a partir del ácido cannabidivarico (CBVA)²⁰

• **THC:** Δ^9 Tetrahidrocannabinol; el THC está relacionado con la sensación de "estar colocado" debido a su actividad sobre los receptores de cannabinoides.¹⁹

s¹⁹

- **THCA:** Δ^1 -ácido tetrahidrocannabinólico A; así es como se produce el THC en la planta de cannabis. El calor convierte el THCA en THC.^{3, 21}
- **THCV:** Tetrahidrocannabivarina; producida a partir del ácido tetrahidrocannabidítrico

Diseño detallado de ingeniería. -

Es el conjunto de cálculos matemáticos, diagramas detallados y hojas de especificaciones que se deben llevar a cabo para producir planos y documentos complementarios que sirvan posteriormente para la adquisición, instalación, fabricación de equipos, así como extractores, tanques a presión, intercambiadores, hornos, tuberías.



III. HIPOTESIS Y VARIABLES. -

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General. -

Con los fundamentos lógicos y los procedimientos de la ingeniería de diseño de extractores solido-liquido planteadas adecuadamente, se diseñará el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.

3.1.2. Hipótesis Específica. -

1. Los fundamentos de la ingeniería de los procesos difusionales nos permitirá analizar la velocidad del proceso de extracción sólido-líquido para la extracción del aceite cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.
2. Los fundamentos de diseño de extractores sólido-liquido nos proporcionará el modelo de diseño y la funcionabilidad del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.
3. Los fundamentos y procedimientos de diseño de ingeniería de detalles nos permitirán diseñar detalladamente el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.

3.2. Definición conceptual de las variables. -

Las variables son las siguientes:

$$X = f (Y_1, Y_2)$$

Variable dependiente:

X = Diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.

Variables independientes:

Y₁ = Velocidad del proceso de extracción solido-líquido para la obtención del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco.

Y₂ = Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de extractores sólido-líquido para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco.

Variables intervinientes:

- Eficiencia de extracción.
- Eficiencia del equipo

3.2.1. Operacionalización de la variable (dimensiones, indicadores, índices, métodos y técnica). -

La definición operacional de la variable para el proyecto de investigación se muestra en la tabla 1.



Tabla 1

Operacionalización de variable

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
X = Diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de marihuana (<i>cannabis sativa L</i>) a nivel banco.	m ³ m m	- Volumen del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana - Altura del equipo - Diámetro del equipo	Lógico-hipotético-deductivo Analítico. Observacional - experimental. Modelación
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
Y ₁ = Velocidad del proceso de extracción solido-líquido para la obtención del aceite de cannabis de marihuana (<i>cannabis sativa L</i>) a nivel banco.	Kg/lote	Flujo másico de extracción por lote.	Lógico- hipotético deductivo. Observacional-experimental. Analítico. Modelación.
Y ₂ = Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de extractores solido-líquido para la extracción del aceite de cannabis de marihuana (<i>cannabis sativa L</i>) a nivel banco.	Kg/s m ³ /s atm, °C h	a) Flujo de alimentación del solido (flores pistiladas trituradas) b) Flujo de alimentación del solvente (etanol orgánico) c) Condición de operación (presión, temperatura). d) Tiempo de extracción	Lógico- hipotético deductivo. Observacional-experimental. Analítico. Modelación.

IV.- DISEÑO METODOLOGICO.

4.1. Tipo y diseño de la investigación.

4.1.1. Tipo de la Investigación. -

El presente trabajo es una investigación predictiva y aplicada, y se encuentra ubicado dentro del área de Ingeniería y tecnología química con la codificación de acuerdo con la UNESCO 3303.09 otros (Diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) a nivel banco), porque responde a los fundamentos de la Ingeniería de diseño y a los aspectos tecnológicos del proceso de producción.

4.1.2. Diseño de la investigación. -

a) Investigación bibliográfica:

Revisión de la bibliografía sobre diseño de equipos de extracción.

Búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica, selección e información bibliográfica sobre procesos de obtención del aceite de cannabis y, análisis y diseño de extractores sólido-líquido para aceites esenciales medicinales.

b) Análisis del proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) a nivel banco.

c) Análisis y diseño de extractores para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) a nivel banco.

d) Determinación de las variables de diseño del equipo de obtención.

e) Diseño detallado del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) a nivel banco.

4.2. Método de investigación

Método lógico-hipotético-deductivo.

Método observacional-experimental.

Método analítico.

Método de la modelación

4.3. Población y muestra. -

El criterio de población y muestra no es aplicable al presente trabajo por ser una investigación sustantiva tecnológica comunicativa.

4.4. Lugar de estudio. -

El presente trabajo de investigación tiene como lugar de estudio el Laboratorio de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao en el periodo de 12 meses (01/03/2021 al 28/02/2022).

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información. -

Las técnicas del procedimiento lógico que se ha utilizado para la recolección de la información son:

- Técnica deductivo, observacional y cuantitativo de evaluación del proceso de obtención del aceite de cannabis de la marihuana y determinación del tamaño de partícula de la flor pistilada.
- Técnica experimental, y observacional para la determinación de los parámetros de diseño del equipo de extracción.
- Técnica cuantitativa de ingeniería de diseño para el diseño detallado del equipo para la obtención del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco.

4.6. Análisis y procesamiento de datos.

En el trabajo de investigación planteado, el procesamiento de datos se ha llevado a cabo mediante las siguientes unidades de análisis:

- a) Fundamento de diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco.
- b) Procedimiento de diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco.
 1. Bases de diseño.
 2. Calculo de capacidad
 3. Diseño de detalles o dimensionamiento

4. Datos de construcción
5. Especificaciones técnicas.
6. Elaboración del plano.

4.6.1. Fundamento de diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L.) a nivel banco. –

1. Ingeniería de procesos.

Según Machaca (2019) menciona que, la ingeniería de procesos Químicos industriales se encarga del diseño, evaluación, optimización, planificación, y desarrollo del proceso para transformar o procesar materias primas, productos naturales en nuevos productos de consumo mediante los equipos diseñados y construidos a escala industrial.

1.1. Diseño del producto. –

El aceite de CBD tiene principalmente cannabidiol, que no es psicoactivo y es muy útil en los casos de epilepsia. El aceite THC tiene mayor concentración de THC, que es psicoactivo, pero es útil para aumentar el apetito, aliviar dolores y los malestares de la quimioterapia (náuseas, vómitos, etc.).

El aceite de marihuana o cannabis es el producto más utilizado con fines medicinales por lo que, en los últimos años, se ha hecho muy popular en ciertos países debido al movimiento para legalizar la marihuana. Este aceite es el producto resinoso y pegajoso que se obtiene al eliminar el solvente de los extractos que contienen los cannabinoides de las flores (cogollos) de la planta y que se preparan con diferentes solventes (butano, alcohol Isopropílico, etanol o hexano). Su contenido de THC y CBD puede variar según la variedad del vegetal y las condiciones de elaboración. La extracción con etanol es probablemente la técnica más antigua o tradicional. Hasta la década de los 50 estaba disponible en las farmacias con el nombre de tintura de cannabis (León, 2017).

Sus propiedades se centran en la inhibición de la transmisión de la señal nerviosa y modula la acción de varios neurotransmisores. Estas propiedades explican uno de sus usos más populares: aliviar el estrés y la depresión. Podemos mencionar algunas características básicas del aceite de cannabis.

Machaca (2021) menciona que los componentes químicos importantes del aceite de cannabis de la marihuana son:

Ácido tetrahidrocannabinólico (ATHC, Δ^9 -ATHC, 2-COOH-THC), es un precursor biosintético del tetrahidrocannabinol (THC), es el componente activo de cannabis. Cuando se purifica, se forma un polvo que es inestable en presencia de ácidos, calor, oxígeno y/o luz.

El trans-ácido tetrahidrocannabinólico (ATHC) se encuentra en cannabis que esté fresco y no en seco, pero el proceso de secado produce algo de descarboxilación, que se convierte el trans-ácido tetrahidrocannabinólico ACTH en tetrahidrocannabinol (THC). La descarboxilación es mucho más intensa cuando se fuma cannabis o se cocina en comidas de cannabis, donde también se convierte en el más psicoactivo 11-Hydroxy-THC.

El cannabis, en su estado fresco contiene ácido tetrahidrocannabinólico cual luego se convierte en THC. El compuesto químico psicoactivo predominante en el cannabis es el tetrahidrocannabinol (THC). El cannabis contiene más de 500 compuestos químicos diferentes, entre ellos al menos 113 cannabinoides aparte del THC, tales como el cannabidiol (CBD), el cannabinal (CBN) o la tetrahidrocannabivarina (THCV), que tienen efectos distintos a los del THC, y también actúan en el sistema nervioso. El 11-Hydroxy-THC se produce cuando el cannabis está cocinado, pero no cuando se fuma. El cannabis se utiliza a menudo por sus efectos físicos y psíquicos, entre los que destacan un cambio general en la percepción, euforia y un mejor estado de ánimo, el aumento del apetito y una sensación de estar bajo los efectos de la droga, (colocado) o (volado) en el lenguaje popular. Los efectos secundarios inmediatos incluyen la pérdida de la memoria a corto plazo, sequedad bucal, reducción de la capacidad motora,

ojos rojos y sentimientos de paranoia o ansiedad. (Moore, 2007; Zoller, 2000, y Baker, 1981).

1.2. Diseño de la materia prima. -

En lo referente a las características morfológicas de las flores masculinas y femeninas, Flora of North América, (2009). Menciona que cada flor estaminada (masculina) consta de cinco sépalos verdiblanquecinos, recubiertos de delgados filamentos de, aproximadamente, 2,5 a 4 mm de largo y cinco estambres colgantes, con filamentos finos y estambre. Potter (2008) y Fritschi (2006). Han Publicado que el contenido de tetrahidrocannabinol (THC), varía en función de la parte de la planta de que se trate, el cual se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Contenido de tetrahidrocannabinol (THC) en la parte de la planta vegetal (marihuana)

Contenido de THC	Parte de la planta (marihuana)
10 % al 12 %	En las flores pistiladas
1 % a 2%	En las hojas
0,1% a 0,3%	En los tallos
< 0,03%	En las raíces

Fuente: Oficina Federal Suiza de Sanidad Pública (enero 2009).

Según la revisión bibliográfica nos indica, que el contenido de THC de los diferentes productos del cannabis (hierba, resina y aceite) fue calculado en función de la proporción de las distintas partes de la planta empleadas en su producción. Así, un estudio llevado a cabo en Suiza en 2006 indicó que en dos tercios de las incautaciones de hierba de cannabis el contenido de THC estaba comprendido entre el 2 y el 12%. En dos tercios de las incautaciones de resina osciló entre el 4 y el 21%, en función del tipo de cultivo y el método de producción, mientras que de la extracción de resina y/o sumidades floridas se puede obtener aceite de cannabis con contenido

de THC de hasta el 60% (Oficina Federal Suiza de Sanidad Pública, enero 2009).

El cannabis industrial (hachís industrial) comprende diversas variedades de *Cannabis sativa* L. obtenidas para usos agrícolas e industriales. Se cultivan por sus semillas y fibras. El cannabis industrial se caracteriza por su bajo contenido de THC y alta concentración de cannabidiol (CDB). En la mayoría de los países europeos, la concentración máxima actual permitida legalmente para el cultivo es del 0,2 por ciento de THC (0,3 por ciento en el Canadá). La relación entre las concentraciones de CDB y THC es superior a 1.

Muchos países cuentan con “listas de variedades aprobadas”. Aquellas cuyo contenido de THC sea claramente superior a los valores aceptables legalmente se suprimen de dichas listas.

La recolección de las fibras se produce al terminar la floración de las plantas femeninas y antes de que se formen las semillas.

1.3. Proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana. –

según Machaca (2021), La extracción se lleva a cabo en flores pistiladas preparadas o, como ocurre generalmente en el caso de semillas con alto contenido de aceite, la torta obtenida de prensado. El proceso de extracción de aceite de cannabis con solvente consiste en una secuencia de cinco operaciones:

1. Preparación del cogollo (flores pistiladas) de la marihuana con el triturador

Cortador (grinder) de un tamaño partículas de 0,5 cm de flores pistiladas que contiene un alto contenido de aceite de cannabis.

La preparación del sólido (almendra) dependerá, del grado del constituyente soluble en el solvente, y de su distribución del principio activo en todo el material sólido original.

Las flores pistiladas trituradas son lavadas, secadas, y descarboxiladas 110 °C por hora.

2. Extracción del aceite de cannabis del material preparado con la ayuda de un solvente de grado técnico (QP) contactando el Disolvente/cogollo de la marihuana.
3. Destilación, para eliminar el disolvente del aceite de cannabis extraído.
4. Recuperación de solvente, que se reutiliza una y otra vez a nivel banco del extractor.

Asimismo, Machaca (2021) menciona que ha realizado 4 corridas experimentales de acuerdo al diseño experimental planteado para el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de laboratorio, empleando como solvente etanol absoluto puro de grado reactivo con el equipo Soxhlet del Laboratorio de Investigación, Desarrollo, e Innovación (L.I.D.I) de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao.

Luego de obtener el tamaño de partícula de la flor de marihuana de 2mm (malla mesh 10), ha procedido a realizar la extracción del aceite de cannabis utilizando un equipo Soxhlet con recuperación de solvente de acuerdo al modelo del diseño experimental (4 corridas).

El procedimiento ha consistido en la siguiente forma:

Ha pesado 5 y 7 gramos de la partícula de la de marihuana de 2 mm (malla mesh 10) de tamaño en el interior de un tubo cartucho de celulosa y ha colocado dentro del tubo extractor para cada corrida.

También, ha medido la cantidad de 120 y 140 ml de etanol puro de grado reactivo como solvente extractor y ha colocado en el balón de 250 ml.

Una vez colocado el volumen seleccionado del disolvente, ha instalado el equipo completo de extracción conectando el Soxhlet que consta de una columna transportadora de vapor, tubo extractor y el condensador.

La estufa eléctrica ha sido encendido para el calentamiento y evaporación del solvente a la temperatura de 75 °C y posteriormente es condensado por refrigeración con agua en el condensador, descendiendo en forma líquida a la temperatura de 50 °C sobre el lecho de la flor de marihuana, llenando el tubo extractor hasta alcanzar el nivel del sifón del Soxhlet, descendiendo al balón el extracto (aceite + etanol absoluto)

efectuándose una etapa en un tiempo promedio de 19 minutos, repitiéndose 6 veces la misma operación para que se haga efectiva la extracción durante un tiempo total de 127 minutos por corrida. Este proceso ha efectuado en las 4 corridas experimentales diseñadas.

Una vez culminado la etapa de extracción ha retirado el cartucho conteniendo las partículas residuales de la flor de marihuana del tubo extractor del equipo Soxhlet. Luego, ha separado el etanol absoluto del aceite de cannabis que se encuentra en el balón por evaporación. El tiempo de recuperación del solvente fue de 30 minutos, y finalmente el aceite fue pesado para determinar la cantidad total y el rendimiento del aceite extraída y luego fue almacenado en frascos de vidrio ámbar con rosca a la temperatura ambiente para su posterior análisis de identificación y caracterización de sus propiedades fisicoquímicas.

2. Análisis y Diseño de extractores de aceites medicinales y esenciales. –

2.1. Análisis de los equipos de extracción. –

Según Machaca (2013) menciona que, los extractores por arrastre de vapor constan de las siguientes partes: una fuente de calor que genera vapor, un recipiente para alojar la hierba, un colector del aceite esencial separado y un refrigerante para los vapores.

También menciona que las extracciones a nivel de laboratorio se utilizan balones o recipientes de vidrio de 1 y 5 litros de capacidad, mientras que los equipos industriales pueden llegar a tener una capacidad de hasta 8000 ó 10000 litros en el recipiente para colocar la hierba.

Con respecto a la funcionabilidad de estos extractores menciona que, el vapor de agua atraviesa la hierba colocada en el recipiente, extrae y arrastra el aceite esencial que tiene bajo punto de volatilización y lo lleva hasta el refrigerante, donde al enfriarse se condensa y se separa el agua del aceite por densidad.

Si el aceite es menos denso queda en la superficie y si es más denso que el agua, va al fondo. De esta manera es fácil separarlo.

Si bien la composición química de los aceites es muy variada, todos ellos poseen varias propiedades físicas en común, por ejemplo: tienen alto índice de refracción, son ópticamente activos, etc.

Asimismo, indica que, el extractor por arrastre con vapor de aceites esenciales puede llegar a tener una capacidad de procesamiento hasta de 50 kilos de hojas de material vegetal que permiten extraer medio litro de aceite esencial cada tres horas como para el caso de la extracción del aceite esencial de eucalipto.

Ventajas:

- La extracción por arrastre de vapor es un proceso de extracción muy limpio que asegura un producto de buena calidad.
- Se requiere de instalaciones básicas de herrería para la construcción y mantenimiento del equipo.

Desventajas:

Alta inversión inicial en equipamiento, difícil de asumir por pocas personas.

Las condiciones de uso del extractor son:

- La producción de aceites esenciales es una actividad del tipo industrial por tal motivo debe conducirse en un ambiente de formalidad, reconocimiento oficial y control sanitario de calidad que garantice su empleo médico o alimentario.
- La organización microempresarial es clave para enfrentar el reto de la inversión inicial y la comercialización.

2.2. Análisis y diseño de Extractores solido-liquido a nivel banco. -

Según Machaca (2013) y Günther (1957), menciona que, Existen numerosos y variados modelos de este tipo. La mayoría de ellos poseen capacidades entre 5 a 50 litros. Son construidos en vidrio Pyrex (Fig. 2), en cobre (Fig.3), en acero inoxidable (Fig.4). Están conformados de un hidrodestilador-generador, es decir el vapor de agua se genera en el mismo recipiente donde se almacena la materia vegetal, separados por medio de una rejilla o cesta. Se carga el hidrodestilador con el material vegetal, cuando el agua alcanza una temperatura cercana a la de ebullición. El vapor generado calienta la planta aromática y arrastra el aceite vaporizado. La tapa suele ser del tipo "cuello de cisne" o plana. Aunque se prefiere el primero, para favorecer el tiro del vapor. Los condensadores son de doble tubo o de serpentín sumergido en un tanque o con alimentación constante, a contracorriente, de agua fría. El aceite esencial es obtenido en un florentino, a la salida del condensador. El agua floral puede ser reciclada, si el florentino es adaptable para que su brazo lateral se conecte con la sección de generación del vapor del hidrodestilador.

Las ventajas son su movilidad; maniobrabilidad; la posibilidad de ser aislados fácilmente; su capacidad de ser instrumentado, para seguir el proceso internamente; la implementación de un control automático; y la confiabilidad y reproducibilidad de los datos experimentales generados, para ajustarlos a modelados fenomenológicos.

Las desventajas residen en requerir de material vegetal seleccionado, debido a que el rendimiento y la velocidad de obtención son sensibles de las características físicas de material (molido, entero, trozado, etc.); de una limpieza periódica y exhaustiva, para evitar la contaminación de los productos y de la imposibilidad de trabajar con vapor saturado con mayor presión, lo cual, es una limitante importante con respecto a los equipos piloto o industriales.

Las ventajas son su movilidad; maniobrabilidad; la posibilidad de ser aislados fácilmente; su capacidad de ser instrumentado, para seguir el

proceso internamente; la implementación de un control automático; y la confiabilidad y reproducibilidad de los datos experimentales generados, para ajustarlos a modelados fenomenológicos. Las desventajas residen en requerir de material vegetal seleccionado, debido a que el rendimiento y la velocidad de obtención son sensibles de las características físicas de material (molido, entero, trozado, etc.); de una limpieza periódica y exhaustiva, para evitar la contaminación de los productos y de la imposibilidad de trabajar con vapor saturado con mayor presión, lo cual, es una limitante importante con respecto a los equipos piloto o industriales.

Figura 2

Equipo de extracción en vidrio de 6 L



Fuente: Isman (2000)

Figura 3

Equipo de extracción en cobre de 10L



Fuente: Isman (2000)

Figura 4

Equipo de extracción en acero inoxidable SS-316L de 25L



Fuente: Isman (2000)

4.6.2. Procedimiento de diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L.) a nivel banco. –

Según Machaca (2013), la ingeniería de diseño detallado es el conjunto de cálculos matemáticos, diagramas detallados y hojas de especificaciones que se deben llevar a cabo para producir planos y documentos complementarios que sirvan posteriormente para la construcción, adquisición, instalación, fabricación de equipos principales y de uso genérico, así como reactores químicos, extractores, tanques a presión, intercambiadores, secadores, hornos, tuberías, etc.

Con la tecnología del proceso seleccionado se ha determinado las variables del proceso (condiciones de operación) y las variables de diseño del extractor.

Debido a que el proceso seleccionado requiere de una etapa de extracción con agitación suave. Sobre la base de estas consideraciones es que hemos descartado el uso de equipos donde se pone en movimiento al material vegetal, puesto que como el tiempo de extracción es de 127 minutos, requiere de un equipo de una capacidad entre 15 a 20 litros, puesto que se requiere gran volumen de carga para alcanzar el rendimiento adecuado al proceso, esto se consigue con extractores de lecho fijo.

En la siguiente figura 5, se representa el tipo de extractor seleccionado, el cual consisten en un recipiente cilíndrico vertical, con distribuidor del solvente, una cesta para la carga del material vegetal (flor pistilada de la marihuana triturada), para facilitar la separación del extracto y retirar el cogollo agotado por la parte superior del recipiente.

En la literatura existente (artículos publicados), no dan a conocer el procedimiento de diseño del extractor para este proceso, debido a la accesibilidad de la cantidad del solvente a 50 °C en la superficie externa e interna total del material sólido, siendo estos lo que diferencian de los otros trabajos ya existentes.

Para la selección del extractor, se analizó y se discutió los siguientes puntos:

1. En la simplicidad de los equipos a la necesidad del contacto sólido-líquido (flor pistilada de la marihuana triturada y el solvente caliente).
2. En la simplicidad del equipo no requiere muchos accesorios para el contacto.
3. En la facilidad de obtener el aceite de cannabis de la marihuana, debido a que usa etanol como solvente la cual por ser regulada en el equipo.
4. El funcionamiento experimental se refiere a los experimentos realizados para verificar sus bondades.

1. Diseño del recipiente Extractor. -

1.1. Bases de diseño. -

- Flujo de producción: 110 mL/lote de aceite de cannabis
- Tipo de extractor: discontinuo o lotes (Soxhlet).
- Tipo de contacto sólido-líquido: inmersión.

- Geometría del extractor: tanque cilíndrico con fondos abocinados.
- Material a extraer: aceite medicinal (aceite de cannabis)
- Solvente: Etanol
- Flujo de alimentación de la flor pistilada de la marihuana (cogollo) triturado de 2mm: 667 g/ lote.
- Cantidad de solvente:

Datos de laboratorio, (Machaca, 2021): relación líquido - sólido:

$$\frac{L}{S} = 20 \text{ mL/g}$$

$L = 20 \text{ mL/g de cogollo} \times 667 \text{ g de cogollo} = 13340 \text{ mL de etanol / lote}$

La extracción se efectúa con flujo cruzado.

- Rendimiento de extracción: 16,5%
- Temperatura de extracción: 50 °C
- Tiempo de extracción: 127 minutos
- Numero de etapas reales de extracción: 6

1.2. Cálculo de capacidad del extractor:

Densidad del lecho = $0,827 \frac{\text{g}}{\text{mL}}$ (dato experimental, Machaca, 2021)

Volumen del lecho = $667 \text{ g de flor pistilada / lote} \times 1 \text{ mL} / 0,827 \text{ g flor pistilada}$

Volumen del lecho = 806,53 mL

$$V_{\text{total}} = V_{\text{solvente}} + V_{\text{lecho}} \quad (1)$$

$$V_{\text{total}} = 13340 \text{ mL} + 806,53 \text{ mL} = 14 146,5 \text{ mL}$$

$$V_T = 14 146,5 \text{ mL} \times 1,2 = 16975,8 \text{ mL} \approx 17 000 \text{ mL}$$

$V_T = 17 000 \text{ mL}$ (5 L a 20 L de capacidad se considera escala banco, Machaca, 2013)

1.3. Diseño de detalles o Dimensionamiento:

Cálculo del diámetro y altura del Extractor

Relación entre $\frac{H}{D} = 1,5$ (dato, Machaca, 2013)

Volumen de tanque extractor = 17 000 mL



$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_R}{1,5 \times \pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 17000 \text{ cm}^3}{1,5 \times \pi}} = 24,34 \text{ cm} \cong 10 \text{ pulgadas} .$$

Fondo tipo plato standard (Machaca, 2013)

$$\frac{h_f}{D} = 0,196$$

$$h_f = 0,196 \times 24,34 = 4,8 \text{ cm} .$$

$$V_f = 391 \text{ mL}$$

Cálculo del volumen de la parte cilíndrica:

$$V_{\text{cilindro}} = V_{\text{extractor}} - 2 \times V_{\text{fondo}} \quad (2)$$

$$V_{\text{cilindro}} = 17\,000 \text{ mL} - 2 \times 391 \text{ mL} = 16218 \text{ mL} = 16,22 \text{ L} .$$

Cálculo de la altura de la parte cilíndrica:

$$H_{\text{cilin}} = \frac{4 \times V_{\text{cilin}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 16218 \text{ cm}^3}{\pi \times (24,34 \text{ cm})^2} = 34,86 \text{ cm} .$$

Cálculo de la altura real del extractor:

$$H_{\text{Real}} = H_{\text{cilindro}} + 2 \times h_{\text{fondo}} \quad (3)$$

$$H_{\text{Real}} = 34,86 \text{ cm} + 2 \times 4,8 \text{ cm} = 44,46 \text{ cm} \approx 44,5 \text{ cm} .$$

Cálculo de la altura de la mezcla en el extractor:

$$Z_{\text{liquido}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 14146}{\pi \times (24,34 \text{ m})^2} + 4,8 \text{ cm} = 35,20 \text{ cm} .$$

Cálculo del volumen de la mezcla en parte cilíndrica:

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = V_{\text{mezcla total}} - V_{\text{fondo}} \quad (4)$$

$$V_{\text{mezcla en cilindro}} = 14146 \text{ ml} - 391 \text{ ml} = 13755 \text{ mL.}$$

Cálculo de la altura de la mezcla en la parte del cilindro:

$$Z_{\text{mezcla en cilindro}} = \frac{4 \times V_{\text{mezcla cilindro}}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 13755 \text{ cm}^3}{\pi \times (24,34 \text{ m})^2} = 29,56 \text{ cm.}$$

Cálculo del número de impulsores de la siguiente relación

$$\frac{Z_L}{D} = \frac{29,56 \text{ cm}}{24,34 \text{ cm}} = 1,215.$$

Por lo que, el equipo solo utiliza un impulsor tipo ancla simple.

Diseño del sistema de agitación (Klaus, 1979)

Cálculo del diámetro del agitador

$$d_{\text{ag}} = 0,96 D \text{ (Klaus, 1979)}$$

$$d_{\text{ag}} = 0,96 \times 24,34 \text{ cm} = 23,4 \text{ cm} = 9,2 \text{ (pulgadas)}$$

Cálculo de la potencia de instalación del sistema de agitación, se ha usado la ecuación (Machaca, 2013):

$$d_{\text{ag}} = 394 \times \left[\frac{\text{Hp}}{n \times N^3 \times (Sg)_{\text{sl}}} \right]^{0.2} \quad (5)$$

$$9,2 \text{ in} = 394 \times \left[\frac{\text{Hp}}{1 \times 45 \times 1,15} \right]^{0.2} = 3,6 \times 10^{-7} \text{ Hp} \cong \frac{1}{128} \text{ Hp.}$$

Potencia del motor de la transmisión del agitador = 1/128Hp

Cálculo de la longitud del eje del impulsor:

$$L_{eje} = (H_R - h_2) \times 1,2 \quad (6)$$

$$L_{eje} = (44,5 - 4,8) \times 1,2 = 47,64 \text{ cm.}$$

Momento de torsión:

$$T = \frac{9545 W}{N} = \frac{9545 \times 2,95}{45} = 62,5$$

El diámetro del eje del impulsor es:

$$d_{eje} = 8.36 \times \left(\frac{TL}{G\alpha} \right)^{1/3} \quad (7)$$

$$d_{eje} = 8,36 \times \left(\frac{62,5 * 20}{(9 \times 10^{10}) \times 1} \right)^{1/3} = 0,02m = 2 \text{ cm} = 0,79 \text{ pulgadas}$$

Diseño del recipiente (espesor del recipiente):

Como la presión de operación es menor a 250 psi se usa la siguiente ecuación de diseño (Machaca, 2013)

Cálculo del espesor del recipiente (Machaca,2013):

$$P_{op.} = 14,696 \text{ psi} = 14,696 \text{ lbf/pulg}^2$$

$$P_D = P_{op.} + 15,25 \text{ psi} \quad (8)$$

$$P_D = 29,696 \text{ lbf/pulg}^2$$

$$T_D = T_{operación} + 10 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$T_D = 110 \text{ } ^\circ\text{C} + 10 \text{ } ^\circ\text{C} = 120 \text{ } ^\circ\text{C} = 194 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$P_{operación} = P_{atmosférica} + P_{hidráulica} \quad (10)$$

$$P_{hidraulica.} = \gamma_{liq} * H_{liq} \quad (11)$$

$$\text{Peso específico del fluido } \gamma_{liq} = 1,14 = 1140 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_{\text{hidraulica.}} = 1140 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3 \text{ liq}} * 0,35,2 \text{ m} = 401 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} = 0,0401 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 14,22 = 0,5706 \text{ lbf / pulg}^2$$

$$P_{\text{operación.}} = 14,696 \text{ psi} + 0,5706 \text{ psi} = 15,27 \frac{\text{lbf}}{\text{pulg}^2} < 250 \text{ psi} .$$

$$P_d = 29,963 \text{ lbf / pulg}^2 .$$

Para recipientes cilíndricos de paredes con acero quirúrgico (parte cilíndrica):

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} + C \quad (12)$$

P= Presión de diseño interna o externa, lb/pulg $29,963 \text{ lbf / pulg}^2$

Eficiencia de la junta $E = 0,65$

D= Diámetro del recipiente = 9,58 pulg

R=Radio interior del recipiente= 4,791 pulg

S=Valor máximo de esfuerzo permitido del material, libras/pulgadas²

S= 13053,44 lbf/in²

C = Tolerancia a la tracción = 0.0625pulg.

t=Espesor de la lámina de fondo, pulgadas

$$t = \frac{P \times R}{S \times E - 0,6 \times P} = \frac{\frac{29,963 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 4,791 \text{ pulg}}{\frac{13053 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,6 \times \frac{29,963 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625 .$$

$$t = 0,0795 \text{ pulg} \approx 3 \text{ mm}$$

Para recipientes cilíndricos de paredes de acero quirúrgico (fondo tipo plato):

La presión en el fondo del recipiente, sumando la presión de la flor pistilada

triturada de tamaño 0,2 cm, presión atmosférica y la reserva se tiene =

32,177 lbf/ in², $K = 0,0625$ para presiones menores a 250 psia.

$$t = \frac{P \times D_T \times K}{2 S E - 0,2 P} + C \quad (13)$$

$$t = \frac{\frac{32,177 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 8,03 \text{ pulg} \times 1,83}{2 \times \frac{13053,44 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2} \times 0,65 - 0,2 \times \frac{32,177 \text{ lbf}}{\text{pulg}^2}} + 0,0625 = 0,09577 \text{ pulg} .$$

$$t = 0,09577 \text{ pulg} \approx 4 \text{ mm}$$

Diseño del sifón:

Tiempo de descarga: 5 minutos

Caudal, $Q = 15005 \text{ mL} / 5 \text{ min} = 3,01 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$, para sifones pequeños la

velocidad del líquido en el sifón es: $2 \text{ m/s} = 120/\text{min}$ (manual: criterio de diseño de sifón hidráulico, Autoridad nacional del agua, Lima 2010)

$$A_{\text{stsifon}} = \frac{Q}{v} \quad A_{\text{stsifon}} = \frac{\pi}{4} d^2 ; \quad d_{\text{sifon}} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} = 0,5651 \text{ cm} \approx 0,23''$$

1.4. Datos de construcción. -

Volumen de extractor = 17 L

Diámetro : 24,34 cm.

Altura de extractor : 44,5 cm.

Altura del lecho + solvente : 35,20 m.

Fondo principal tipo plato:

Altura del fondo : 4,8 cm (fondo abocinado tipo, plato)

Espesor del acero quirúrgico de construcción parte cilíndrica: 3 mm

Espesor del fondo de construcción del fondo tipo plato: 4 mm

Plato de soporte y distribuidor del líquido sobre la flor pistilada de la marihuana triturada de tamaño 0,2 cm: $D = 23 \text{ cm}$

Sifón:

Diámetro : 0,5651 cm (0,23 pulgadas).

Altura del sifón : 30,40 cm.

1.5. Especificaciones. -

Datos operativos:

- Debe tener un recipiente de vidrio pyrex (borosilicato), según normas americanas resistentes a la acción de compuestos orgánicos y temperatura del solvente extractor.
- Fondo tipo plato.
- Debe tener termocuplas para el control de temperatura de extracción con un conmutador, ajustado en un tablero de control.
- Debe tener toma muestra y un aerómetro para marcar las concentraciones en Be.



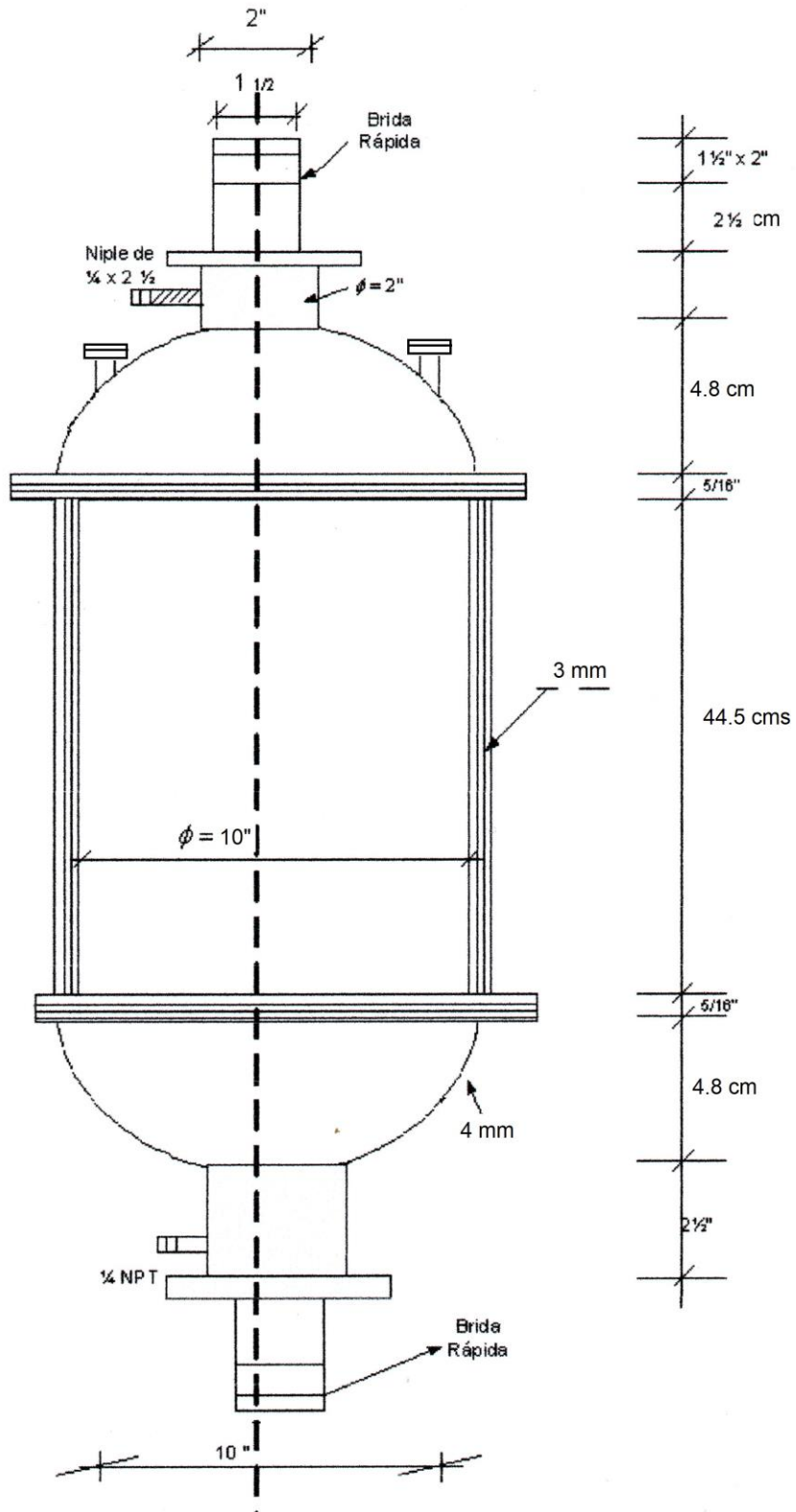
1.6. Elaboración del plano. – ver figura 5

2. Diseño del tanque de calentamiento del solvente.

2.1. Bases de diseño. -

- Tipo de fluido de calentamiento: etanol al 95%.
- Cantidad de solvente para calentamiento: 20010 mL
- Tiempo de calentamiento: 30 minutos (dato práctico)
- Características del fluido o propiedades del fluido:
 - Peso molecular del etanol, $PM = 46,07 \text{ Kg/Kmol}$
 - Densidad del etanol, $\rho = 789 \text{ Kg/ m}^3$
 - Viscosidad del etanol, $\mu = 1,074 \text{ mPa.s a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Capacidad calorífica etanol, $C_p = 0,68 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$
 - Calor específico del etanol, $C_e = 0,852 \text{ kcal/ kg } ^\circ\text{C}$
 - Calor latente de vaporización del etanol: $\lambda_v = 294,26 \text{ cal/g a } 78,3^\circ\text{C}$
 - Entalpia o calor de formación, $\Delta H_f = - 52,23 \text{ kcal/mol a } 25 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Energía libre de formación, $\Delta F = - 40,23 \text{ kcal/ mol}$

Figura 5
Recipiente extractor



- Condiciones de calentamiento:

Temperatura inicial: 20 °C

Temperatura final: 80 °C

2.2. Cálculo del volumen del Tanque de calentamiento:

a) Carga Térmica (QT):

Para procesos difusionales la carga térmica proviene del balance térmico.

Volumen de solvente, etanol es de 20010 mL

$$Q_T = \dot{m} C_e \Delta T \quad (14)$$

$$Q_T = Q_c + Q_s \quad (15)$$

b) Calor de calentamiento o enfriamiento

$$Q_c = \dot{m} \lambda_v \quad (16)$$

$$Q_s = \dot{m} C_e \Delta T$$

$$Q_c = 5,5940 \text{ kg} \times 846 \text{ kJ/kg} = 24732,5 \text{ kJ}$$

$$Q_s = 5,5940 \text{ kg} \times 2,433 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \quad (353,2 - 293,2)^\circ\text{C} = 408,31 \text{ kJ}$$

$$Q_T = \dot{m} C_e \Delta T \quad (17)$$

$$Q_T = Q_c + Q_s \quad (18)$$

$$Q_T = 5140,81 \text{ kJ/h}$$

c) Calculo de la potencia del baño calentador:

Potencia del calefactor = Carga térmica total x 2

$$P_{\text{Calefactor}} = 5140,81 \text{ kJ/h} \cong 1,428 \text{ kW} \times 2 = 2,856 \text{ kW} \cong 3,0 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Calefactor}} = 3,0 \text{ kW}$$

d) Área de transferencia de calor.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \frac{X}{K} + ff_j + \frac{1}{h_j} \quad (19)$$

$$\text{Nu} = \frac{h_i D}{K} \quad (20)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \text{ff}_i + \left(\frac{X}{K}\right)\left(\frac{d_{Co}}{d_{cm}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ci}}\right)\left(\frac{d_{Co}}{d_{ci}}\right) + \text{ff}_{ci} \quad (21)$$

2.3. Dimensionamiento:

Volumen del tanque = 1,2 volumen total = $1,2 \times 20010 \text{ cm}^3 = 24012 \text{ cm}^3$

Volumen del tanque de calentamiento = 24012 cm^3

Relación entre $\frac{H}{D} = 1,1$

Diámetro del tanque de calentamiento $24012 \text{ cm}^3 = \frac{\pi}{4} D^2 \times 1,1 D =$

$D = 30,29 \text{ cm}$

Calculando la altura del fondo: de tabla (Machaca, 2013)

- $h_f = 4 \text{ cm}$

Fondo principal tipo plato (tablas):

- $V_f = 230 \text{ mL}$
- Cálculo de la altura de la parte cilíndrica

$$V_E = V_C + V_F \quad (22)$$

$$V_C = V_E - V_F = 24012 - 230 = 23782 \text{ cm}^3 .$$

$$23782 \text{ cm}^3 = h_{cil} * \frac{\pi}{4} (30,29)^2 .$$

$$h_{cil} = 33,003 \text{ cm}$$

- Cálculo de la altura del tanque de calentamiento

$$H_T = h_{cil} + hf = 33,0 \text{ cm} + 4 \text{ cm} \times 2 = 41,0 \text{ cm} .$$

$$H_T = 41,0 \text{ cm} .$$

- Espesor del tanque de calentamiento



El acero quirúrgico es una variación del acero que comúnmente se compone de una aleación de cromo (12–20%), molibdeno (0,2–3%) y, en ocasiones, níquel (8–12%). El cromo le da a este metal su resistencia al desgaste y corrosión. El níquel le da un acabado suave y pulido. El molibdeno le da mayor dureza y ayuda a mantener la agudeza del filo, tiene una resistencia química muy buena; resistencia química al agua, ácidos (menos al ácido fluorhídrico y fosfórico caliente), soluciones de sal, disolventes orgánicos.

Los aceros quirúrgicos más comunes son el inoxidable SAE 316 y los aceros inoxidables martensíticos SAE 440, SAE 420, y SAE. Estas ventajas, en unión de la de tener una dilatación térmica baja.

Por lo tanto, el espesor con el cual se construirá el tanque es de 3 mm la parte cilíndrica y el fondo tipo plato de 4 mm de espesor.

2.4. Datos de construcción. -

Volumen del tanque de calentamiento:	24012 L
Diámetro	: 30,29 cm.
Altura de tanque de calcetamento	: 41,0 cm.
Altura del solvente	: 27,5 cm.
Altura de la parte cilíndrica	: 33,0 cm
Fondo principal tipo plato:	
Altura del fondo	: 4 cm
Espesor del vidrio de construcción parte cilíndrica:	3 mm
Espesor del fondo de construcción del fondo tipo plato:	4 mm
Nipple de carga (2)	: 3 cm de diámetro
Nipple de descarga	: 3 cm de diámetro

3. Diseño del tubo transportador de vapor:

Datos de diseño:

Volumen de etanol = 13340 ml

Masa de flor pistilada de marihuana triturada = 667 g/ lote

Densidad de etanol = 0,789 g/mL = 789 Kg/m³

Variables de diseño:

Considerando 5% de pérdida de etanol (dato experimental):

Volumen de etanol a vaporizar: 13340 mL x 1,05 = 14007 mL

Flujo másico de etanol condensado:

14007 mL x 0,789 g/mL = 11051,5 g /10 min = 1105,2 g/min = 66,31 kg/h

Flujo másico de vapor de etanol:

Para su evaluación se ha usado el factor 3 (Machaca, 2013):

66,31 kg/h x 3 = 198,93 ≈ 199 kg/h de vapor de etanol.

De tablas de Eksarho, V. (1971), para el diseño del tubo (caño) que transporta vapor a una velocidad de 40 m/s y a una presión de 10 kg/cm².

Tabla 3.

Diámetros de línea de vapor

Diámetros del tubo, pulgadas	Flujo de vapor, kg/h
1/2	90
3/4	200

Fuente: Eksarho, V. (1971)

El flujo másico de vapor calculado fue 199 kg/h el cual se aproxima a al flujo másico de 200 kg/h, siendo seleccionado el diámetro del tubo de 3/4 de pulgada.

Cálculo de longitud del tubo:

$L_{\text{tubo}} = \text{altura tanque extractor} + \text{altura entre condensador y tanque} \quad (23)$

$L_{\text{tubo}} = 44,5 \text{ cm} + 10,0 \text{ cm} = 54,5 \times 1,2 \approx 65 \text{ cm}$

Especificaciones:

El Tubo transportador debe ser de acero quirúrgico para soportar fluidos calientes (vapor).

4. Diseño del condensador. -

4.1. Bases de diseño:

- a) Tipo de proceso: Condensación
- b) Tipo de condensador: Serpentín o en espiral vertical.
- c) Alimentación: 199 Kg/h de vapor de etanol.
- d) Tipo de fluido de condensación: vapor de etanol al 95%.
- e) Propiedades del alcohol:
 - Peso molecular del etanol, $PM = 46,07 \text{ Kg/Kmol}$
 - Densidad del etanol, $\rho = 789 \text{ Kg/ m}^3$
 - Viscosidad del etanol, $\mu = 0,7 \text{ cp. a } 30 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Capacidad calorífica etanol, $C_p = 0,68 \text{ cal/g }^\circ\text{C}$
 - Calor específico del etanol, $C_e = 0,852 \text{ kcal/ Kg }^\circ\text{C}$
 - Calor latente de fusión del etanol: $\lambda_f = 104 \text{ KJ/Kg}$
- g) Condiciones de condensación:
 - Temperatura inicial: $90 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Temperatura final: $50 \text{ }^\circ\text{C}$
- h) $\lambda_{\text{agua de enfriamiento}} = 538 \text{ cal/g}$

4.2. Cálculo de capacidad térmica:

Calor a retirar = Q_r

$Q_r = Q$ de enfriamiento del etanol

Q enfriamiento = $m C_p \Delta T = 106 \text{ kg/h} \times 2,433 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \times (90 - 50) \text{ }^\circ\text{C}$

$Q_r = 10316 \text{ kJ/h} = 2866 \text{ W}$

4.3. Diseño de detalles o Dimensionamiento.

Cálculo del área y longitud del condensador:

Líquido frío: Es agua, fluye por la carcasa.

Líquido caliente: vapor de etanol fluye por tubo el serpentín



Diseño del serpentín.

Según Machaca (2013), el área de intercambio de calor está definida por:

$$A_h = \frac{Q_T}{U \Delta T} \quad (24)$$

El coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín de enfriamiento se puede calcular con:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + ff_i + \left(\frac{X}{K}\right) \left(\frac{d_{Co}}{d_{cm}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ci}}\right) \left(\frac{d_{Co}}{d_{ci}}\right) + ff_{ci}, y \quad (25)$$

$$Nu = \frac{h_i D}{K} \quad (26)$$

$$Nu = 0.17 \left(\frac{dag^2 N\rho}{\mu}\right)^{0.67} \left(\frac{C_p \mu}{K}\right)^{0.37} \left(\frac{dag}{D}\right)^{0.1} \left(\frac{d}{D}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^m \quad (27)$$

Dónde:

U = coeficiente global de transferencia de calor para el serpentín, kcal/h m² °C

h_i = Coeficiente de transferencia de calor sobre el área lateral del serpentín y el fluido del proceso, cal/s. cm² °C

h_{ci} = Coeficiente de transferencia de calor dentro del serpentín, cal/s.cm² °C

ff_i = Factor de ensuciamiento en el diámetro externa del serpentín.

ff_{ci} = Factor de ensuciamiento en el diámetro interno del serpentín.

d_{co} = diámetro externo del serpentín, cm

d_{cm} = diámetro medio del serpentín, cm

d_{ci} = diámetro interno del serpentín, cm

X = espesor de la pared del serpentín, cm

K = Conductividad térmica del material, cal/s m °C

En la bibliografía existen valores del coeficiente global de transferencia de calor típico en condensadores con serpentín, el cual mostramos en la tabla

3.

Tabla 4.

Coefficiente global de transferencia de calor típico de condensadores con serpentín.

Sustancia dentro del serpentín	Sustancia al exterior del serpentín	Coefficiente global de transferencia de calor, U w/ m ² °C
Agua etanol	Agua	2522

Fuente: Perry (1981).

Usando el valor de la tabla 2 y la ecuación (24) tenemos:

$$A_h = \frac{2866 \text{ W}}{2522 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K} \times 40 \text{ } ^\circ\text{K}} = 0,02842 \text{ m}^2 = 284,2 \text{ cm}^2$$

Sabemos que el área de transferencia de calor externo está definida como:

$$A_{\text{hext}} = \pi \times D_{\text{serp}} \times L_{\text{serp}} \quad (28)$$

Calculamos la longitud del serpentín con:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{A_h}{\pi d_{\text{co}}} \quad (29)$$

Con $d_{\text{co}} = 0,9 \text{ cm}$ (dato práctico) reemplazando en la ecuación (29) se tiene:

$$L_{\text{serpentin}} = \frac{284,2 \text{ cm}^2}{\pi \times 0,9 \text{ cm}} = 100,52 \text{ cm} \times 1,2 = 120,64 \text{ cm}$$

Diámetro del serpentín dentro del tubo o carcasa es:

$$D_{\text{serp}} = D_i - 2 B_1 = 2 \text{ cm (dato practico)}$$

Ahora:

$$L_c = \pi D_{\text{serp}} = \pi \times 2 \text{ cm} = 7,732 \text{ cm}$$

Calculamos el número de vueltas del serpentín en el casco o tubo:

La distancia entre vueltas:

$$\text{Numero de vueltas} = \frac{L_{\text{tubo}}}{L_c \text{ de una vuelta}} = \frac{100,52}{7,7323 \text{ cm}} = 13 \text{ vueltas}$$

Para calcular el diámetro del tubo o carcasa, usamos la tabla que proporciona en función de la cantidad de agua de enfriamiento a usar que ingresa al serpentín, entonces:

$$Q_T = \dot{m}_{H_2O} C_{eH_2O} \Delta T \quad (30)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{Q_T}{C_{eH_2O} (T_b - T_a)} \quad (31)$$

Temperatura entrada del agua = 18 °C

Temperatura salida del agua = 35 °C

Reemplazando los valores en la ecuación (31), tenemos:

$$\dot{m}_{\text{agua enfriamiento}} = 145 \text{ Kg/h}$$

Caudal de agua de enfriamiento = 2,42 L/min = 0,64045 GPM

Una llave del laboratorio de tubería de 1/2" abierta totalmente, tiene un flujo de 3 GPM (experimental). Los tubos de entrada y salida al condensador están en 1/2" y el tubo o casco por donde debe pasar agua debe usar un diámetro de 3,8 cm (1½") (Walas, S (1990).

Cálculo de la altura del condensador:

$H_{\text{cond.}} = H_{\text{altura serp.}}$

$$H_{\text{serpentin}} = \sqrt{L_{\text{serp}}^2 - (nD\pi)^2} \quad (\text{Machaca GLF, 2013}) \quad (32)$$

$$H_{\text{serpentin}} = \sqrt{(103,54 \text{ cm})^2 - (16 \times 2 \text{ cm} \times \pi)^2} = 24,78 \text{ cm} \times 1,23 = 30,48 \text{ cm}$$

$H_{\text{condensador.}} = 30,48 \text{ cm}$

4.4. Datos de construcción. -

Volumen del condensador: 282 cm³

Diámetro del casco o tubo condensador: 3,8 cm.

Longitud del condensador : 30,48 cm (12").



Serpentín de enfriamiento de vapor de etanol

Área de transferencia de calor	:	284,2 cm ² .
Longitud del serpentín	:	100,52 cm.
Diámetro del caño para el serpentín	:	0,9 cm
Diámetro del serpentín en el casco	:	2 cm

4.5. Especificaciones. -

Datos operativos:

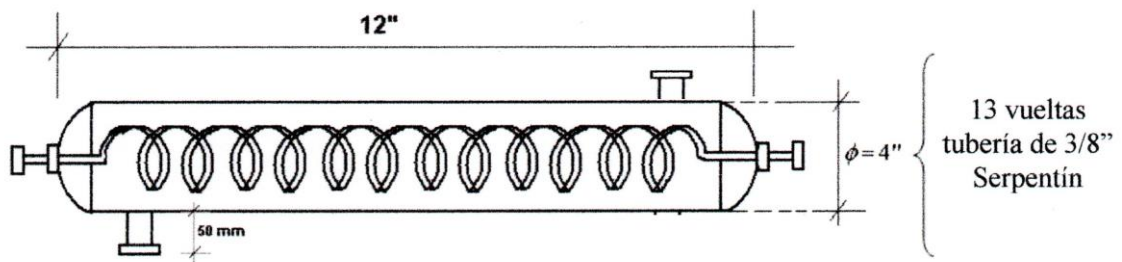
Debe tener un tubo de acero quirúrgico de 0,9 cm de diámetro enrollado en espiral con 13 vueltas de 2 cm de diámetro dentro de una carcasa de 3,80 cm de diámetro y 30,48 cm (12") de largo, con dos niples de entrada y salida del condensado y dos niples de entrada y salida del fluido de enfriamiento (agua).

4.6. Elaboración de plano.

Ver figura 6

Figura 6

Condensador



V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos. -

No es del caso su aplicación al presente trabajo de investigación, puesto que los resultados descriptivos son aquellos resultados recopilados en unos valores numéricos al aplicar:

- a) Medidas de centralización: moda, media, mediana, deciles, cuartiles, y percentiles.
- b) Medidas de dispersión: desviación típica, varianza, rango, rango intercuartilico.
- c) Medidas de forma: coeficiente de variación de Pearson.
- d) Relación entre variables: coeficiente de correlación lineal, recta de regresión.



5.2. Resultados inferenciales. -

No es del caso, debido que el criterio de población y muestra no fue aplicado a este trabajo de investigación, puesto que, estos resultados inferenciales son provenientes de la muestra de una población del diseño metodológico. Se apoya fuertemente en el cálculo de probabilidades.

5.3. Otro tipo de resultados de acuerdo a la naturaleza del problema y la hipótesis.

Los resultados del presente trabajo de investigación se han obtenido aplicando el procedimiento de la ingeniería de diseño detallado, los cuales se muestran en las tablas de resultados 5, 6, 7 y 8, y Figura 7.

Tabla 5.

Datos de construcción del tanque extractor

COMPONENTES DEL TANQUE EXTRACTOR	DIMENSIONES Y UNIDADES
Caudal másico de alimentación del sólido	667 g/lote
Volumen del tanque extractor	17 L
Diámetro del tanque extractor	24,34 cm
Altura del tanque extractor	44,5 cm
Altura del lecho + solvente	35,20 cm
Fondo tipo plato:	
Volumen del fondo	391 mL.
Altura del fondo	4,8 cm
Espesor del recipiente de vidrio pyrex de la parte cilíndrica	3 mm.
Espesor del recipiente de vidrio pyrex del fondo tipo plato	4mm
Diámetro del tubo sifón	0,57 cm
Altura del tubo sifón	30,40 cm
Caudal del extracto en el sifón	3,1 L/min
Sistema de agitación:	
• Diámetro de impulsor	23,4 cm
• Velocidad de rotación	45 RPM
• Longitud del eje impulsor	47,64 cm
• Diámetro del eje impulsor	2 cm
• Potencia del motor de transmisión del impulsor	1/128 hp

Tabla 6.

Datos de construcción del vaporizador- concentrador

COMPONENTES DEL VAPORIZADOR- CONCENTRADOR	DIMENSIONES Y UNIDADES
Caudal másico de alimentación del etanol-aceite.	5,5940 kg/h
Volumen del tanque vaporizador-concentrador	24012 L
Diámetro del tanque vaporizador-concentrador	30,29 cm
Altura del tanque vaporizador-concentrador	41,0 cm
Altura del solvente	27,5 cm
Fondo tipo plato:	
Volumen del fondo	230 mL.
Altura del fondo	4,0 cm
Espesor del recipiente de vidrio pyrex de la parte cilíndrica	3 mm.
Espesor del recipiente de vidrio pyrex del fondo tipo plato	4mm
Diámetro de Nipple de carga	3 cm
Diámetro de Nipple de descarga	3 cm
Potencia del calefactor	3 kW

Tabla 7.

Datos de construcción del tubo transportador de vapor

COMPONENTES DEL TUBO TRANSPORTADOR DE VAPOR	DIMENSIONES Y UNIDADES
Caudal másico de alimentación del vapor de etanol	199 kg/h
Velocidad del vapor	40 m/s
Presión del vapor	10 kg/cm ²
Diámetro del tubo transportador	2 cm (3/4")
Longitud del tubo transportador	65 cm
Tubo acero quirúrgico	
Espesor del tubo de acero quirúrgico	2mm

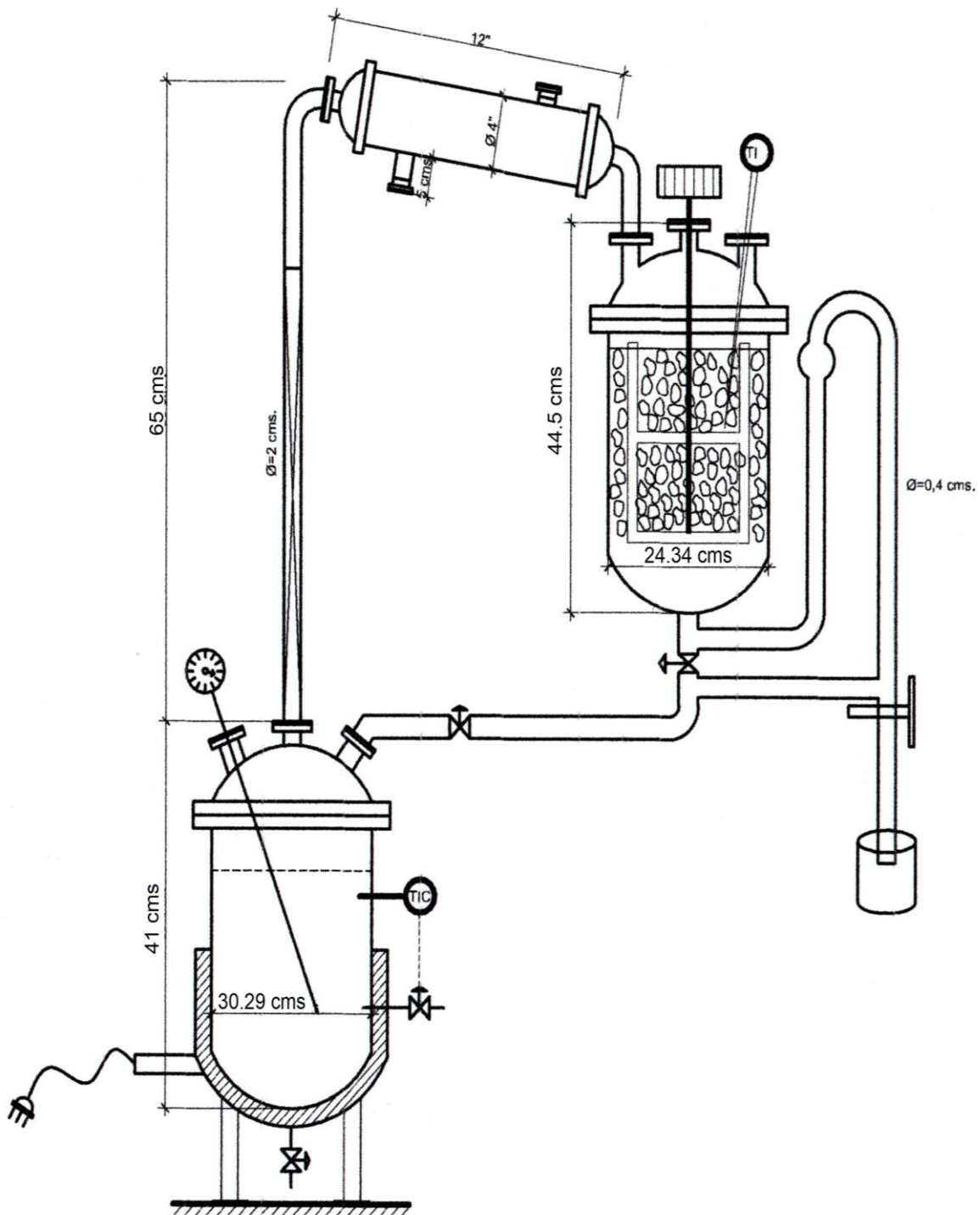
Tabla 8.

Datos de construcción del condensador

COMPONENTES DEL CONDENSADOR	DIMENSIONES Y UNIDADES
Caudal másico de alimentación del vapor	199 kg/h
Volumen del condensador	282 cm ³
Diámetro del casco o envolvente del condensador	3,8 cm
Longitud del condensador	30,48 cm
Serpentín de enfriamiento de vapor de etanol:	
Área de transferencia de calor	284,2 cm ²
• Diámetro interno del caño	0,9 cm
• Longitud del serpentín	100,52 cm
• Diámetro del serpentín	2 cm
• Nipple de entrada	3/8"
• Nipple de salida	3/8"
• Numero de vueltas del serpentín	13

Figura 7.

Equipo de extracción diseñado para la obtención del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa* L) a nivel banco.



VI. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados. -

EL diseño de las unidades del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel banco, se analizó el fundamento y procedimiento de diseño forma separada para cada unidad, cuyo resultado se muestra en la figura 7.

Para la selección y especificación de las partes que componen el equipo completo del extractor de aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco, se tuvo en cuenta su facilidad para la construcción en el mercado nacional. Esto para evitar que, por difícil consecución de una unidad, el equipo entero quede inutilizado y relegado a un rincón del laboratorio de investigación.

Se han evaluado los parámetros que influyen en el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana a nivel de laboratorio, considerando las resistencias al transporte entre las fases y los aspectos termodinámicos a partir de las etapas elementales que componen el proceso difusional.

La ventaja del equipo diseñado radica en la alta eficiencia energética para calentar el solvente y lograr evaporar rápidamente para separar del aceite de cannabis que contiene el extracto, con lo cual, la velocidad de obtención del aceite de cannabis de la marihuana tiene poca resistencia a la transferencia de masa debido a que el equipo posee un sistema de agitación de tal manera que el tiempo de operación es menor, y además puede realizar varias etapas de extracción. El reto tecnológico está en el escalamiento del equipo de extracción a nivel industrial.

El evaporador-concentrador es un recipiente cilíndrico de acero quirúrgico con fondo y tapa abocinadas de tipo plato, que presenta una conexión superior a un tubo de acero quirúrgico transportador de vapor de alcohol, debido a que el producto obtenido es de uso medicinal. La tapa cuenta con tres bocas o nipples uno para la conexión con el tubo transportador de vapor de etanol, el otro para el ingreso de extracto de aceite- etanol y el tercer

niple para la toma de muestras o mediciones internas de temperatura o presión. El recipiente vaporizador- concentrador cuenta con una chaqueta externa con una resistencia eléctrica de 3,0 kW de potencia que permite vaporizarlo al etanol y concentrar al aceite de cannabis de la marihuana. Esta unidad tiene un volumen de 24012 litros.

El tanque extractor es un recipiente cilíndrico de acero quirúrgico con un fondo tipo plato que presenta una conexión exterior a un tubo bridado y al sifón (pequeño tubo lateral) que transporta el extracto aceite-etanol al recipiente vaporizador- concentrador, y una tapa abocinada tipo plato bridada. La tapa posee tres aberturas o bocas, una abertura central que se conecta al sistema de agitación con un sello mecánico, la otra abertura para el ingreso del solvente condensado, y el tercero para la toma de muestras o de mediciones de temperatura, este recipiente tiene un volumen nominal de 17 litros

El condensador de carcasa y serpentín inclinado consiste en una gran espiral interno-dispuesta dentro de un casco cilíndrico de mayor diámetro. El tubo mayor de 3,8 cm de diámetro posee dos extremos esmerilados, mientras el otro ha sido cortado para darle una forma de pico conectada al extractor. Además, cuenta con dos niples externos, por donde circula el agua de enfriamiento.

Por lo tanto, el aumento de los vapores de etanol circulantes se puede condensar sobre el tubo interno, ya que se enfrían con facilidad proporcionando una mayor superficie efectiva para la refrigeración.

Es decir, los vapores de etanol se enfrían no sólo por el refrigerante que fluye a través del tubo interno, sino también a través de la pared cilíndrica externa.

El tubo transportador de vapores de etanol de acero quirúrgico se conecta un extremo al vaporizador-concentrador, que, a su vez, se unirá al tubo interno del condensador esmerilado.

6.2. Contratación de los resultados con otros estudios similares. -

Cefla, (2015), Ha diseñado una planta para la extracción del aceite vegetal comestible de chía (*Salvia hispánica L.*) mediante el método prensado. Asimismo, ha determinado el rendimiento del proceso a escala laboratorio utilizando 1 kg de semillas de chía a diferentes condiciones de temperatura y diámetros de la boquilla de la prensa expeler, obteniéndose el mayor rendimiento del 24,80 % a temperatura de 64 °C un diámetro de boquilla de la prensa de 0,01 mm. Pero no ha presenta el diseño del equipo de extracción con solvente en caliente.

Duran y Ruiz (2015) ha diseñado los equipos de contacto solido-líquido a elevadas presiones en el procesamiento de la biomasa, pero no presenta el diseño detallado del extractor a nivel banco.

Mato Chamorro. y colaboradores (2010), estudiaron la influencia del tiempo, tamaño de partícula, y la proporción solido liquido en la extracción de aceite crudo de la almendra de durazno (*Prunus persica*), pero no diseñaron el equipo de extracción para este proceso.

Machaca (2003), ha estudiado las condiciones óptimas del proceso de extracción, y en base a ello diseña el extractor sólo para la obtención de la clorofila empleando el solventa selectivo y utilizando como materia prima alfalfa y hojas de banano, pero no ha diseñado el equipo de extracción de tipo Soxhlet a nivel banco.

Spaninks (1979) Ha diseñado el proceso de extracción sólidos-líquidos y el efecto de las inestabilidades hidrodinámicas en el rendimiento del extractor, pero no presenta el procedimiento de diseño del equipo de extracción de aceites vegetales

En la bibliografía investigada prácticamente existen pocos indicios de datos o métodos heurísticos definidos para el diseño de los equipos de extracción solido –líquido que operan de manera discontinua. Sin embargo, existe información de los parámetros de diseño más relevantes de la mayoría de los equipos diseñados y patentados a nivel industrial, pero no presentan un equipo diseñado detalladamente.

6.3. Responsabilidad ética. - El presente trabajo de investigación es netamente teórico-experimental, y se ha procedido con mucha responsabilidad ética en su desarrollo especialmente en la obtención y análisis de los datos y de variables de diseño del equipo de extracción para la obtención del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco.



CONCLUSIONES. -

Se logró cumplir eficazmente con los objetivos señalados o trazados en el presente trabajo de investigación, cubriendo en todos los aspectos de evaluación de los parámetros de diseño detalladamente.

Se puede observar en los resultados obtenidos, el cumplimiento del fundamento y el procedimiento de diseño de los componentes del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana /cannabis sativa L) a nivel banco en forma detallada, basados en los datos experimentales obtenidos por Machaca (2021), estas unidades son:

Recipiente de extracción propiamente dicha.

Sifón de descarga del extracto al vaporizador – concentrador

Recipiente vaporizador – concentrador del aceite- solvente.

Baño calentador o calefactor eléctrico

Tubo transportador de vapores de etanol.

Asimismo, se llega a lograr la recopilación y revisión bibliográfica que requiere la investigación relacionada con el diseño del equipo de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (Cannabis sativa L) a nivel banco.



RECOMENDACIONES. -

Al concluir el presente trabajo de investigación, se recomienda:

1. Construir el equipo para la extracción del aceite de cannabis (Cannabis sativa L) a nivel banco con los datos de construcción y las especificaciones técnicas obtenidas como resultados del diseño detallado para tener como un prototipo en el estudio a nivel industrial.
2. Realizar el estudio de escalamiento a nivel industrial con los datos de diseño detallado obtenidos a escala banco.
3. Realizar investigaciones para evaluar las condiciones de operación a nivel piloto, y luego a escala industrial con sus respectivos instrumentos de control.
4. Realizar investigaciones sobre la tecnología de obtención de aceites medicinales a escala comercial.



Referencias bibliográficas.

- Amador, J. (2012). *Revisión de heurísticas y conceptos para el diseño de equipos utilizados en procesos de refinación del petróleo*. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Universidad de San Buenaventura, Cartagena de Indias, Colombia. pp. 1- 80.
- AOAC (15th Ed.) (1990). *Official Methods of Analysis*, Assoc. Agricult. Chemists Washington, D.C.
- Badui, S. (3ª Edición). (1996). *Química de los alimentos*. México D.F: Editorial Alambra Mexicana.
- Baker, PB. Taylor BJ. Gough TA. (1981), The tetrahydrocannabinol and tetrahydrocannabinolic acid content of cannabis products, *Journal of Pharmacy and Pharmacology* **33** (6): 369-72.
- Benyoussef, EH; Abatzglou, N.; Belblidia, NB, y Naila Bali, M. (2019). El modelo de primer orden en la simulación de la cinética de extracción de aceites esenciales. *Journal of Applied* vol.15 Elsevier.
- Bourdon, A. (2017). Diseño y construcción de un equipo para extracción con fluidos supercríticos (EFS) en flujo continuo, a nivel de laboratorio, destinado a la obtención de extractos con actividad antioxidante procedentes de residuos agroindustriales. Tesis Maestría en Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Colombia.
- Brunner, G. (1994). *Gas extraction: An Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the Application to Separation Processes*. Steinkopff Verlag GmbH & Co. KG: Darmstadt, Germany.
- Caldas, A. (2012). *Optimización, escalamiento, y diseño de una planta piloto de extracción sólido- líquido*. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Universidad de Cuenca, Ecuador. pp. 1- 48.
- Cefla, K. (2015). Diseño de una planta para la extracción de aceite vegetal comestible de las semillas de Chía (*Salvia Hispánica L.*) mediante prensado. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. Quito- Ecuador.

- Cruz, E. (1982). *Modelo matemático para la optimización de un proceso de extracción sólido- líquido*. Instituto de la Grasa y sus Derivados del CSIC. Ingeniería Química. Pp 123- 127.
- Cocero, M.J. (2006) Procesos comerciales de extracción con fluidos supercríticos. *Ingeniería Química*. N.º 441, Noviembre, 144-157.
- Chemat, F.; Lucchesi, M.E.; Smadja, J.; Favretto, L.; Colnaghi, G.; Visinoni, F. (2006). *Analytica Chimica Acta*, 555, 157-160.
- Del Valle, J.M.; De la Fuente, J.C.; Cardarelli, D.A. (2005) *J. of Food Eng.*, 67, 35-37.
- Duran, M., Ruiz, R. (2015). Diseño de equipos de contacto sólido-líquido a elevadas presiones en el procesamiento de la biomasa. *Ciencia y Tecnología*, 25-40, ISSN: 1850-0870.
- Duran, M., y Ruiz, R. (2015). Diseño de equipos de contacto sólido-líquido a elevadas presiones en el procesamiento de la biomasa. *Ciencia y Tecnología*, 25-40, ISSN: 1850-0870.
- Dussy, F.E. *et.al.* (2005). *Forensic Sci. Int.* 149, 3-10.
- Europol Drugs. (2001). Information Bulletin N°3, 7.
- Egbuna, S.; Umch, J.; Omatioma, M. (2014). *Design features of a 5 tonne/day multi-stage intermittent drainage, continuous full immersion vegetable oil solvent extraction plant- mechanical design*. International Journal of Research in Engineering and Technology volume 03 number 10, pp. 71-81.
- Eksarho, V. (1971). *Tablas y gráficos para cálculos de Instalaciones Industriales*. Buenos Aires: Editorial Librería Mitre. Pp 20-41.
- EISohly, M., Gul, W. (2014). *Constituents of Cannabis sativa*. In: Pertwee RG, ed. Handbook of Cannabis. Oxford, UK: Oxford University Press; 4:3-22.
- Faubert Maunder, M.J. (1969). Two Simple colour tests for cannabis, *Bulletin on Narcotics*, vol. 4, pp.37 a 42.
- Ferhat, M.A.; Meklati, B.Y.; Smadja, J.; Chemat, F. (2006). *Journal of Chromatography A*, 112, 121-126.

- Flamini, G. Tebano, M. Cioni, P.L. Ceccarini, L. Ricci, A.S. Longo, I. (2007).
J. Chromatogr. A, 1143 36-40.
- Flora of North America. (2009, enero). www.efloras.org.
- Gamse, T. (2001). Extracción. Departamento de Ingeniería Química. Graz University of Technology. pp. 20-32.
- Gamse, T. (2001). *Extracción*. Departamento de Ingeniería Química. Graz University of Technology. pp. 20-32.
- Geankoplis, Ch. (1982). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. (1ra. Ed.) C.V. México: Editorial Continental S.A., pp. 613-624.
- González, D. y Yáñez, Y. (2012). Diseño y construcción de un Extractor Solido-líquido para la obtención de aceite de semilla de sambo y zapallo. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador. pp. 1 – 110.
- Guidelines for the use of non-pharmaceutical grade compounds in laboratory animals (2018). National Institutes of Health website. [Oacu.oir.nih.gov/sites/default/uploads/arac-guidelines/pharmaceul Compound. Pdf](http://Oacu.oir.nih.gov/sites/default/uploads/arac-guidelines/pharmaceulCompound.Pdf).
- Guenther, E.; Kulkak. and Roger, J. (1967) Vol. 39, N 5, p.p.
- Guenther, E.; Kulkak. and Roger, J. (1957). Essential Oils and Related Products, Analytical Chemistry, vol. 29, N 4, p.p. 630 – 637.
- Günther, E. (1948). *The Essential Oils*. Vol. 1: History and origin in Plants Production Analysis. Krieger Publishing: New York, USA.
- Grotenhermen, F. (2006). Cannabinoids and the endocannabinoid system. *Cannabinoids*. 1:10-14.
- Faubert Maunder, M.J. (1969), Two Simple colour tests for cannabis, *Bulletin on Narcotics*, vol. 4, 37 a 42
- Fritschi, G., Klein, B. and Szilluweit, W. (2006), Verteilung der THC-Gehalte in Marihuanapflanzen: Bestimmung der Gehalte in Wurzeln, Stängeln, Blättern und Bliiten, *Toxichem+Krimtech*, 73(2), 54-56.
- Grotenhermen, F. (2006). Cannabinoids and the endocannabinoid system. *Cannabinoids*. 1:10-14.

- Hielscher Ultrasonics, (2019). Extracción de Cannabinoides y terpenos por ultrasonido. *Hielscher- Ultrasound Technology*. Berlin –Alemania.
- Hill, R. J. (1983). Marijuana, *Cannabis sativa* L., *Regulatory Horticulture, Weed Circular No. 5*, 9 (1-2), 57-66.
- Isman, M.B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19, 603-608.
- Iriti, M.; Colnaghi, G.; Chemat, F.; Smadja, J.; Faoro, F.; Visinoni, F.A. (2006). *Flavour Fragr. J*; 21:704-712.
- Hamblin, F.K. (1991). Extracción de aceite de palma y nuevos criterios de procesamiento. *Revista Palmas*, vol. 12 número especial. Colombia.
- Hielscher Ultrasonics, (2019). Extracción de Cannabinoides y terpenos por ultrasonido. *Hielscher- Ultrasound Technology*. Berlin –Alemania.
- Jarvis, A.P. and Morgan, D. (1997). Isolation of Plant Products by Supercritical-Fluid Extraction. *Phytochem. Anal.*, 8, 217-222.
- Kaufmann, B. and Christen, P. (2002). *Phytochem. Anal.*, 13, 105-113.
- King, M.B. and Bott, T.R. (1993). *Extraction of Natural Products using Near-Critical Solvents*. 1st Edition. Chapman & Hall: London, UK.
- King, L. A. (2003), *The Misuse of Drugs Act. A Guide for forensic scientists*, Publicación de la RSC (p. 82).
- Klaus, K. (1979). *Rühren von dünnflüssigen und mittelviskosen Medien*. *Chem. Ing. Tech.* 51 Nr. 5. S. 430 – 436.
- Kemper, T. (2005). *Oil extraction*. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Sixth Edition pp. 79- 82.
- Lack, E. and Simándi, B. Supercritical Fluid Extraction and Fractionation from Solid Materials. Bertucco, A. Vetter, G. (2001). (Eds.) *In High Pressure Process Technology: Fundamentals and Applications*. Elsevier: Amsterdam, Netherlands; pp 537-575.

- León, J. J. (2017). El aceite de cannabis. *Rev. Soc. Quím. Vol. 83(3)*. Lima Perú.
- Li, J.; Perdue, E.M.; Pavlostathis, S.G.; Araujo, R (1998). Physicochemical properties of selected monoterpenes. *Environment International*, 24, 3, 353-358.
- Lo Presti, M.; Ragusa, S.; Trozzi, A.; Dugo, P.; Visinoni, F.; Fazio, A.; Dugo, G.; Mondello, L. (2005). *J. Sep. Sci.* 28, 273-280.
- Lucchesi, M.E.; Chemat, F.; Smadja, J. (2004b). An original solvent free microwave extraction of essential oils from spices. *Flavour Fragr. J.*, 19, 134-138.
- May, M. (2018). Los mejores métodos de extracción de cannabis para concentrados de marihuana. *Analytical Cannabis*, San Francisco E.E.U.U.
- Mead, A. (2017). The legal status of cannabis (marijuana) and cannabidiol (CBD) under U.S. law. *Epilepsy and Behav.* 70:288-291.
- Machaca, L. (2005). Análisis, Diseño, y Construcción del Reactor Catalítico de Lecho Fijo a nivel banco para la obtención de derivados del etanol. Trabajo de Investigación presentado al VRI-UNAC, Callao-Perú.
- Machaca, L. (2009). Análisis y diseño del reactor para la obtención del 2,6 diclorofenol Indofenol a nivel banco. Trabajo de Investigación presentado al VRI_UNAC, Callao-Perú.
- Machaca, L. (2013). *Texto: Diseño de Plantas Químicas (Volumen I)*, Trabajo de Investigación presentado al VRI - UNAC, Callao-Perú.
- Machaca, L. (2016). Proceso de extracción del aceite vegetal de las almendras de durazno (*Prunus persica*) a nivel de laboratorio. *Ciencia y Tecnología* vol. 20(1), 48-61. Callao – Perú.
- Machaca, L. (2018). Proceso de extracción del aceite vegetal de las almendras de durazno (*Prunus Persica*) a nivel de laboratorio. Trabajo de Investigación presentado al VRI-UNAC, Callao-Perú.

- Machaca, L. (2021). Proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L.*) a nivel de laboratorio. Trabajo de Investigación presentado al VRI_UNAC, Callao-Perú.
- Matos, A., y Acuña, J. (2010). Influencia del Tiempo, Tamaño de Partícula y Proporción Sólido Líquido en la Extracción de Aceite Crudo de la Almendra de Durazno (*Prunus pérsica*). *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- May, M. (2018). Los mejores métodos de extracción de cannabis para concentrados de marihuana. *Analytical Cannabis*, San Francisco E.E.U.U.
- Meireles, M.A.A. (2003). *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 7, 321-330.
- Moore C, Rana S, Coulter C. (2007), Simultaneous identification of 2-carboxy-tetrahydrocannabinol, tetrahydrocannabinol, cannabinol and cannabidiol in oral fluid, *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*. 852 (1-2): 459-64.
- Mukhopadhyay, M. (2000). *Natural Extracts using Supercritical Carbon Dioxide*. CRC Press LLC: Boca Ratón, Florida, USA.
- Muñoz, F. (2002). *Plantas medicinales y aromáticas: Estudio, cultivo y procesado*. 4ª Reimpresión. Ediciones Mundi-Prensa: Madrid, España.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, 2009), Informes mundiales anuales sobre la droga.
- Oficina Federal Suiza de Sanidad Pública. (Enero 2009). Estadísticas sobre tetrahydrocannabinol (THC). www.sgrm.ch/content.php?setsprache=d&action=sellang&alternativ e, > Chemie > Forensische Chemie > THC Gehaltstatistik.
- Parry, E. J. (1921). *The Chemistry of Essential Oils and Artificial Perfumes*. 4th Edition. Van Nostrand Co., NY, USA.
- Peter, K.V. (2004). *Handbook of Herbs and Spices*. Woodhead Publishing Limited: London, England.

- Pino, G. (2da. Edición) (2006). *Metodología de la Investigación*. Editorial. San Marcos, Lima, Perú, p. 187.
- Pino, G. (2da. Edición) (2006). *Metodología de la Investigación*. Editorial. San Marcos, Lima, Perú, p. 187.
- Potter, D.J. *et al.* (2008). Potency of Δ^9 -THC and others cannabinoids in Cannabis in England: Implications for Psychoactivity and pharmacology. *J. Forensic. Sci.*, 53(1), 90-94.
- Retamar, J.A. (1971). Aceites esenciales de la Provincia de Tucumán, An. Soc.Cient. Arg.; 19 – 192.
- Riveros, H. y Rosas, L. (1990) *El método científico aplicado a las ciencias experimentales*. Editorial Trillas, México p.62.
- Romdhame, M. and Tizaoui, Ch. (2005). The Kinetic modelling of a steam distillation unit for the extraction of aniseed (*Pimpinella anisum*) essential oil. *Journal of Chemical technology & Biotechnology*. 80(7); 759-766.
- Rosenberg, E.C., Tsien, R.W., Whalley, B.J., Devinsky, O. (2015). Cannabinoids and epilepsy. *Neurotherapeutics*. 12:747-768. 20.
- Silva, M.G.V.; Matos, F.J.A.; Lopes, P.R.O.; Silva, F.O.; Holanda, M.T. (2004). *ARKIVOC* (vi), 66-71.
- Sovová, H. and Aleksovski, S. (2006). Mathematical model for hydrodistillation of essential oils. *Revista de sabores y fragancias*. 21(6); 881-889.
- Spaninks, J. (1979). *Design procedures for solid-liquid extractors and the effect of hydrodynamic instabilities on extractor performance*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Pp 59-66.
- Wang, H.; Zeng, H.; He, H. (2006). *Journal of Chromatography A*, 110211-17.
- Walas, S. (1990). *Chemical process equipment, selection and design*. Departamento de Ingeniería Química y Petróleo de la Universidad de Kansas, U.S.A. Primera Edición, pp. 459-493.

- Williams, C.M, Jones, N.A., Whalley, B.J. (2014). *Cannabis and epilepsy*. In: Pertwee RG, ed. Handbook of Cannabis. Oxford, UK: Oxford University Press; 547-563.
- Wohlfarth, A. Mahler, H., Auwarter, V. (2011). Rapid isolation procedure for Δ^9 - tetrahydrocannabinolic acid A (THCA) from Cannabis sativa using two flash chromatography systems. *J. Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci.*; 879:3059-3064.
- Wolf, D. (2007). Botanic garden, Basel, *comunicacion personal*.
- Zoller O, Rhyh P, Zimmerli B. (2000), High-performance liquid chromatographic determination of Δ^9 -tetrahydrocannabinol and the corresponding acid in hemp containing foods with special regard to the fluorescence properties of Δ^9 -tetrahydrocannabinol, *Journal of Chromatography A* 872: 101-110.



ANEXOS



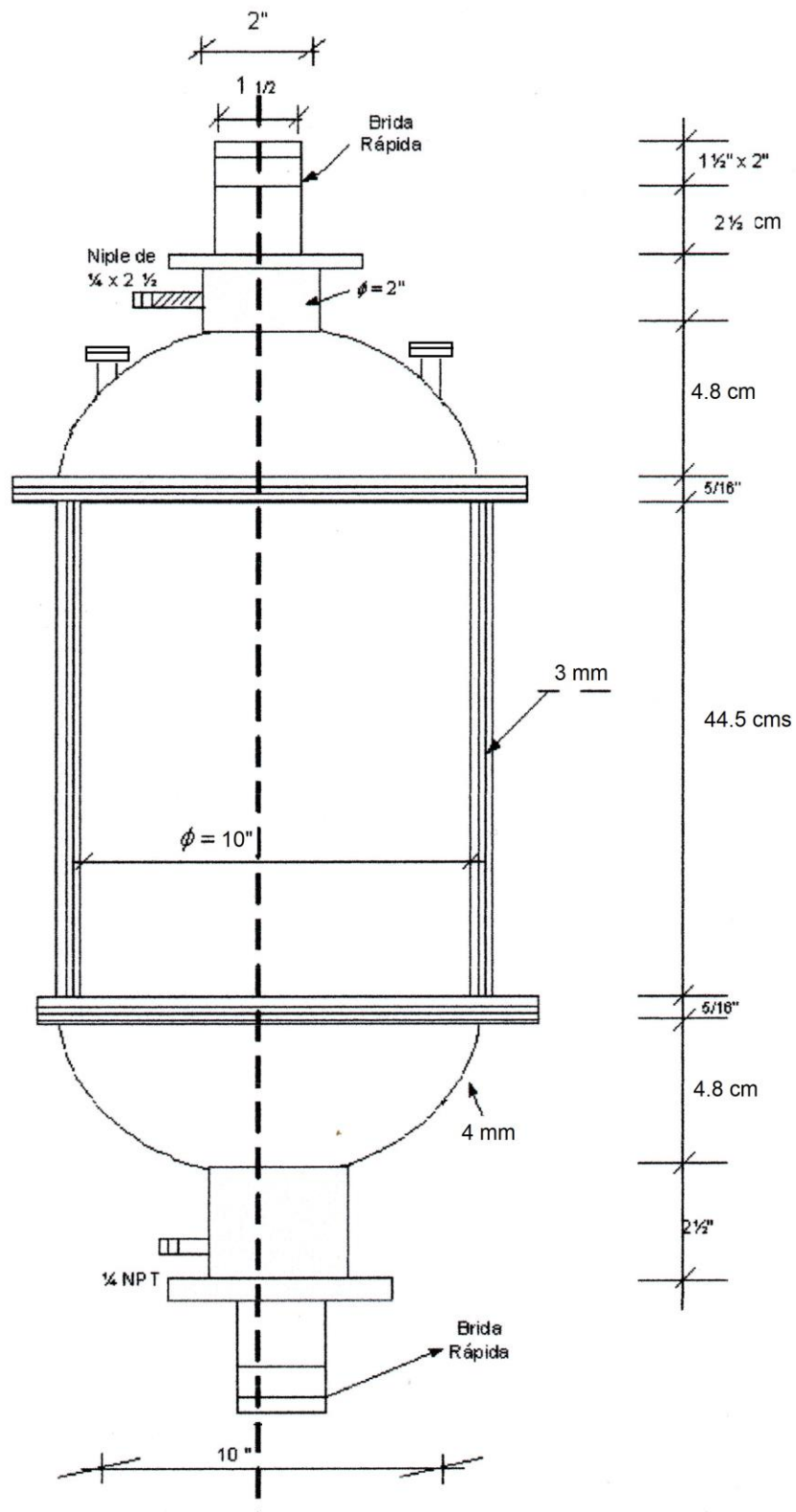
VIII. ANEXOS.

Matriz e consistencia: Diseño del equipo para la extracción de aceite cannabis de la marihuana (*Cannabis sativa L*) a nivel banco

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo se diseñará el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco?</p> <p>Problemas Específicos.</p> <p>1. ¿Cuáles son las informaciones disponibles que se analizará sobre el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco?</p> <p>2. ¿Cómo y con qué fundamento se diseñará el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel de banco?</p> <p>3. ¿Cómo se diseñará detalladamente el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel de banco?</p>	<p>Objetivo General. -</p> <p>Diseñar el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel de banco?</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>1. Analizar el proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel de banco?</p> <p>2. Analizar el fundamento de diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa</i>) a nivel banco.</p> <p>3. Diseñar detalladamente el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel de banco?</p>	<p>Hipótesis General. -</p> <p>Con los fundamentos lógicos y los procedimientos de la ingeniería de diseño de extractores solido-liquido planteadas adecuadamente, se diseñará el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>Hipótesis Especifica. -</p> <p>1. Los fundamentos de la ingeniería de los procesos difusionales nos permitirá analizar la velocidad del proceso de extracción sólido-líquido para la extracción del aceite cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>2. Los fundamentos de diseño de extractores sólido-liquido nos proporcionará el modelo de diseño y la funcionalidad del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>3. Los fundamentos y procedimientos de diseño de ingeniería de detalles nos permitirán diseñar detalladamente el equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p>	<p>Las variables son las siguientes: $X = f (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4)$</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>X = Diseño del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>Variables independientes: Y_1 = Velocidad del proceso de extracción solido-líquido para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco. Y_2 = Fundamento y procedimiento de la ingeniería de diseño de extractores sólido-líquido para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>Variables intervinientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia de extracción. • Eficiencia del equipo 	<p>Se utilizará la siguiente metodología:</p> <p>Tipo de la Investigación. - El presente trabajo es una investigación tecnológica sustantiva y operativa, y se encuentra ubicado dentro del área de Ingeniería y tecnología con la codificación de acuerdo a la UNESCO 3303.09 otros,</p> <p>Diseño de la investigación. -</p> <p>a) Investigación bibliográfica: Revisión de la bibliografía sobre diseño de equipos de extracción. Búsqueda, recopilación, organización, valoración, crítica, selección e información bibliográfica sobre procesos de extracción del aceite de cannabis y, análisis y diseño de extractores solido-líquido para aceites de uso medicinal.</p> <p>b) Análisis del proceso de extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>c) Análisis y diseño de extractores para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p> <p>d) Determinación de las variables de diseño del equipo de extracción.</p> <p>e) Diseño detallado del equipo para la extracción del aceite de cannabis de la marihuana (<i>Cannabis sativa L</i>) a nivel banco.</p>

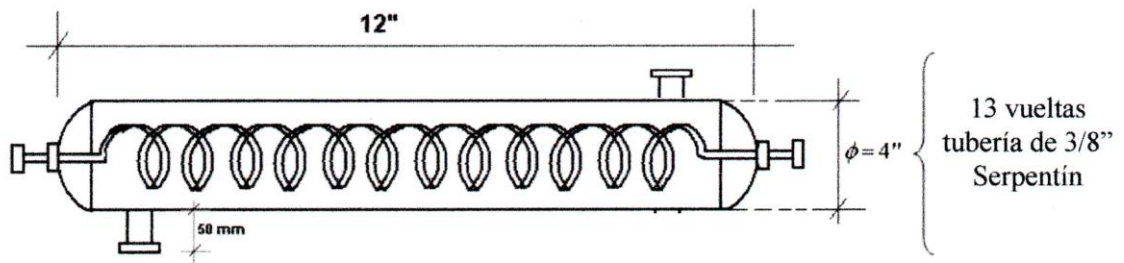
Anexo 2

Recipiente extractor



Anexo 3

Condensador



Anexo 4.

Equipo de extracción diseñado para la obtención del aceite de cannabis de la marihuana (Cannabis sativa L) a nivel banco.

