



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO PARA  
LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO”**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTADO POR:**

**DIANA MARIBEL GONZÁLEZ CHAVARREA**

**YAZMÍN MIKOL YÁNEZ ANDRADE**

**RIOBAMBA-ECUADOR**

**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios, por haber guiado día a día nuestros pasos y por habernos regalado sus bendiciones, permitiéndonos culminar nuestra carrera universitaria con éxito y alcanzar una etapa más de nuestras vidas. A nuestros Padres por la confianza y apoyo incondicional depositados en nosotras a lo largo de nuestro camino.

Es un gran placer mostrar una inmensa gratitud a nuestra querida ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, por habernos abierto sus puertas y por habernos recibido en sus aulas del saber.

Agradecemos de manera especial a nuestro Director de Escuela el Ing. Mario Villacrés y al Ing. Marco Chuiza, nuestros amigos y colaboradores en el desarrollo de este proyecto, quienes nos han sabido entender, orientar y compartir sus sabios conocimientos y han confiado en nosotras para hacer realidad este sueño anhelado.

Muchas Gracias

## **DEDICATORIA**

A Dios, quien me dio la vida y desde ese instante guió mi camino acompañándome cada día, dándome sus bendiciones y permitiéndome ser una persona de bien.

A mis padres, Carlos y Julia quienes siempre me han acompañado, aconsejado y ayudado a levantarme las veces que he tropezado y he caído. Quienes me enseñaron a ser fuerte y a luchar con valor para conseguir mis sueños, educándome con valores y guiándome con sus consejos.

A mis hermanos, Mauri y Jess quienes alegran mi vida, con quienes he jugado, he reído y quienes a pesar de ser menores me han enseñado a ser valiente, a tener carácter, a disfrutar la vida, a ser tierna y sobre todo me han demostrado que siempre contaré con ellos.

A mi enamorado, Carlos quien a pesar de haber llegado a formar parte de mi vida hace poco tiempo se ha convertido en mi apoyo y me ha ayudado incondicionalmente.

Diana Maribel

## **DEDICATORIA**

A mi Dios

Por darme absolutamente todo lo que tengo, por ser mi bendición, mi inspiración cada día, mi sustento y el de mi familia, por perdonarme y enseñarme de nuevo a levantarme y no dejarme vencer por las adversidades y pruebas difíciles.

A mi mamá que con amor y sacrificio, permanece fiel a mi lado y que ha sabido inculcarme valores esenciales para mi desarrollo como ser humano, por su ayuda para culminar este trabajo de Investigación.

A mi hermana Jessy por su inmenso cariño y apoyo incondicional.

A mis sobrinitos Víctor David y Kianita, que son el amor de mi vida y quienes me roban con su ternura todos los días una sonrisa y mi corazón.

Y como no dedicarles a las personas que estuvieron conmigo compartiendo tantos momentos de nuestra carrera estudiantil, Martha y Janeth.

YAZMÍN MIKOL

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dra. Yolanda Díaz

DECANA DE LA FAC. CIENCIAS

.....

.....

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR DE LA ESC. ING. QUIM

.....

.....

Ing. Mario Villacrés

DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Ing. Marco Chuiza

ASESOR DE TESIS

.....

.....

Sr. Carlos Rodríguez

DIRECTOR CENTRO DE DOC.

.....

.....

NOTA DE LA TESIS ESCRITA

.....

Yo, Diana Maribel González Chavarrea, soy responsable de las ideas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

DIANA MARIBEL GONZÁLEZ CHAVARREA

Yo, Yazmín Mikol Yánez Andrade, soy responsable de las ideas y resultados expuestos en esta Tesis de Grado; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

YAZMÍN MIKOL YÁNEZ ANDRADE

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
1.1	ACEITES VEGETALES.....	1
1.1.1	COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES .....	1
1.1.2	FUENTES DE ACEITES .....	1
1.1.2.1	ZAPALLO (Cucurbita maxima).....	2
1.1.2.1.1	CARACTERÍSTICAS DEL ZAPALLO .....	2
1.1.2.1.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DEL ZAPALLO .....	4
1.1.2.1.3	APLICACIONES Y PROPIEDADES DEL ACEITE DE ZAPALLO .....	4
1.1.2.2	SAMBO (Cucurbita Ficifolia).....	6
1.1.2.2.1	CARACTERÍSTICAS.....	6
1.1.2.2.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SAMBO .....	7
1.1.2.2.3	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DEL SAMBO .....	8
1.2	OBTENCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS OLEAGINOSAS .....	8
1.2.1	EXTRACCIÓN MECÁNICA (EXTRACCIÓN POR PRESIÓN) .....	9
1.2.2	EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO (CON DISOLVENTES).....	10
1.2.2.1	DISOLVENTES USADOS EN LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO DE SEMILLAS OLEAGINOSAS .....	13
1.3	PROTOTIPOS DE EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES.....	14
1.3.1	EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO TIPO 1 .....	14
1.3.2	EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO TIPO 2.....	16
1.4	TEORÍA DE LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO.....	18
1.4.1	CÁLCULOS PARA LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO .....	20
1.4.2	DIAGRAMA TRIANGULAR .....	21
1.4.3	SOLUCIÓN GRÁFICA .....	24
1.4.4	LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS COMPOSICIONES DE LOS FLUJOS INFERIORES .....	29
<b>2</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>32</b>
2.1	ANÁLISIS DE CAMPO .....	32
2.1.1	MUESTREO.....	32
2.1.2	TÉCNICAS UTILIZADAS.....	33

2.1.2.1	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE HUMEDAD.....	33
2.1.2.2	DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE ACEITE.....	34
2.1.3	DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS.....	36
2.1.3.1	DATOS DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO.....	36
2.1.3.2	DATOS DEL PORCENTAJE DE ACEITE PRESENTE EN LA SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO.....	37
2.1.3.2.1	CANTIDAD DE ACEITE OBTENIDO.....	38
2.1.3.2.2	RENDIMIENTO DEL ACEITE OBTENIDO.....	39
2.1.4	MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO.....	40
2.1.4.1	VARIABLES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE SAMBO.....	40
2.1.4.2	VARIABLES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE ZAPALLO.....	40
<b>3</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
3.1	CÁLCULOS. DISEÑO DE INGENIERÍA.....	42
3.1.1	CÁLCULOS TÉCNICOS DEL EQUIPO.....	42
3.1.1.1	DISEÑO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN (EVAPORADOR).....	42
3.1.1.1.1	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN.....	42
3.1.1.1.2	DISEÑO TÉRMICO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN.....	43
3.1.1.2	DISEÑO DEL EXTRACTOR (CAMISA).....	45
3.1.1.2.1	DIMENSIONAMIENTO DEL EXTRACTOR.....	45
3.1.1.3	DISEÑO DE LA CANASTILLA (CANASTA TAMIZ).....	46
3.1.1.3.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA CANASTA TAMIZ.....	46
3.1.1.4	DISEÑO DEL CONDENSADOR.....	47
3.1.1.4.1	BALANCE TÉRMICO DEL CONDENSADOR.....	48
3.1.1.5	DISEÑO DE LA CISTERNA (RESERVORIO DEL REFRIGERANTE).....	52
3.1.2	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD O RENDIMIENTO.....	52
3.1.3	CÁLCULOS DE VALIDACIÓN DEL EQUIPO.....	55
3.1.3.1	CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE HEXANO A UTILIZAR.....	55
3.1.3.2	CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE DE SAMBO Y ZAPALLO.....	56
3.1.3.3	CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO.....	57

3.1.4	TIPO DE MATERIAL DEL EQUIPO Y SU CONTROL (VARIABLES DEL PROCESO).....	58
3.1.4.1	TIPO DE MATERIAL DEL EQUIPO .....	58
3.1.4.2	CONTROL DE VARIABLES.....	58
3.1.5	PRESUPUESTO REAL .....	60
3.1.5.1	COSTO DE MATERIALES.....	60
3.1.5.2	COSTO DE CONSTRUCCIÓN.....	61
3.1.5.3	COSTOS ADICIONALES .....	61
3.1.5.4	COSTO TOTAL .....	62
3.2	RESULTADOS .....	62
3.2.1	DATOS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO .....	62
3.2.2	VALIDACIÓN DEL EQUIPO.....	64
3.2.2.1	DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN.....	64
3.2.2.2	RENDIMIENTO DEL ACEITE DE SAMBO Y ZAPALLO OBTENIDO EN LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO.....	67
3.2.2.3	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES DE SAMBO Y ZAPALLO .....	68
<b>4</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
4.1	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO.....	70
4.1.1	PRUEBAS DE EXTRACCIÓN .....	71
4.1.2	RENDIMIENTO DEL ACEITE DE SAMBO Y ZAPALLO .....	71
4.1.2.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES DE SAMBO Y ZAPALLO OBTENIDOS EN EL EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO .....	72
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>73</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	73
5.2	RECOMENDACIONES .....	75

## SIMBOLOGÍA

A =	Soluto
B =	Sólido inerte
S =	Disolvente
ABS =	Sistema de tres fases
$x$ =	Fracción en peso de un componente en el flujo inferior o corriente de refinado
$y$ =	Fracción en peso de un componente en el flujo superior o corriente extracto
$V_1$ =	Corriente del flujo superior o extracto, kg/h
$V_2$ =	Velocidad de alimentación del disolvente, kg/h
$L_0$ =	Velocidad de alimentación de la etapa, kg/h
$L_1$ =	Corriente del flujo inferior o refinado que sale de la etapa, kg/h
P =	Corriente de flujo superior, sus composiciones se representan con $y$
Q =	Corriente de flujo inferior, sus composiciones se representan con $x$
N =	Mezcla de las corrientes P y Q
C, D =	Constantes
$Sb_{1T}$ =	Primera muestra, sambo tierno
$Zp_{1T}$ =	Primera muestra, zapallo tierno
$Sb_{2S}$ =	Segunda muestra, sambo seco
$Zp_{2S}$ =	Segunda muestra, zapallo seco
$Sb_{3M}$ =	Tercera muestra, sambo maduro

$Z_{p_{3M}}$	=	Tercera muestra, zapallo maduro
$P_1$	=	Peso de la muestra húmeda
$P_2$	=	Peso de la muestra seca
% H	=	Porcentaje de humedad
% R	=	Rendimiento del aceite obtenido
V	=	Volumen
$\emptyset$	=	Diámetro
$\emptyset_{i\ cam}$	=	Diámetro interno de la camisa
$\emptyset_{0\ can}$	=	Diámetro externo de la canastilla
$\emptyset_{i\ can}$	=	Diámetro interno de la canastilla
$d_{cam-can}$	=	Distancia entre la pared de la camisa y la canastilla
a	=	Ancho
b	=	Largo
l	=	Altura
$\delta$	=	Densidad
$h_{He}$	=	Entalpía del hexano
$h_{H_2O}$	=	Entalpía del agua
m	=	Masa
Q	=	Calor
t	=	Tiempo

$\dot{m}$ =	Flujo másico
$P_B$ =	Peso del sólido por lixiviar
$V_S$ =	Volumen del solvente
$P_{B1}$ =	Peso del sólido lixiviado
$V_{S1}$ =	Volumen del solvente recuperado
$V_{AS}$ =	Volumen de la solución de lixiviación
$V_A$ =	Volumen de aceite obtenido
$T$ =	Tiempo de extracción
$P_A$ =	Peso de aceite obtenido
$\dot{V}$ =	Flujo volumétrico
$q$ =	Flujo de calor
$U$ =	Coefficiente de transferencia de calor
$A$ =	Área
$\theta$ =	Temperatura del fluido en un punto alejado de las paredes
$\sum R_T$ =	Sumatoria de resistencias
$L$ =	Longitud
$\phi_o$ =	Diámetro externo
$\phi_i$ =	Diámetro interno
$\phi_s$ =	Diámetro de la espiral
$\phi_T$ =	Diámetro de la tubería

$N =$  Número de espirales

$T_s =$  Temperatura de salida

$T_e =$  Temperatura de entrada

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.1.2.1.1-1	Composición química del zapallo.....	3
1.1.2.1.2-1	Composición química de la semilla del zapallo.....	4
1.1.2.2.2-1	Composición química del sambo.....	7
1.1.2.2.2-2	Contenido de vitaminas y minerales en el sambo.....	8
1.1.2.2.3-1	Composición química de la semilla del sambo.....	8
1.2.2.1-1	Disolventes de extracción comúnmente utilizados.....	13
2.1.1-1	Recolección de muestras.....	32
2.1.3.1-1	Determinación del porcentaje de humedad de las semillas de sambo.....	36
2.1.3.1-2	Determinación del porcentaje de humedad de las semillas de zapallo.....	37
2.1.3.2-1	Datos Iniciales.....	37
2.1.3.2.1-1	Determinación de la cantidad de aceite presente en las semillas de sambo.....	38
2.1.3.2.1-2	Determinación de la cantidad de aceite presente en las semillas de zapallo.....	38
2.1.3.2.2-1	Determinación del rendimiento del aceite de las semillas de sambo.....	39
2.1.3.2.2-2	Determinación del rendimiento del aceite de las semillas de zapallo.....	39
2.1.4.1-1	Variables del proceso de extracción de aceite de semillas de sambo.....	40

2.1.4.2-1	VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE ZAPALLO.....	40
3.1.3.1-1	MATERIALES USADOS EN EL EQUIPO.....	58
3.1.4.1-1	COSTOS DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	60
3.1.4.2-1	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	61
3.1.4.3-1	COSTOS ADICIONALES.....	61
3.2.2.1-1	DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SAMBO.....	64
3.2.2.1-2	DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE ZAPALLO.....	65
3.2.2.2-1	RESULTADOS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SAMBO.....	67
3.2.2.2-2	RESULTADOS DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE ZAPALLO.....	68
3.2.2.3-1	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS		PÁGINA
1.1.2.1-1	Planta de zapallo.....	2
1.1.2.2-1	Planta de sambo.....	6
1.3.1-1	Equipo de extracción sólido-líquido.....	14
1.3.2-1	Extractor sólido-líquido.....	17
1.4.2-1	Diagrama triangular para la extracción sólido-líquido.....	21
1.4.3-1	Balance de materia en un sistema de extracción de una sola etapa.....	24
1.4.3-2	Construcción del diagrama triangular para la mezcla de dos corrientes.....	26
1.4.3-3	Sección del diagrama triangular a escala ampliada.....	27
3.2.2.1-1	Aceite de sambo obtenido en el extractor sólido-líquido.....	64
3.2.2.1-2	Tiempo requerido para la extracción de aceite de las semillas de sambo.....	65
3.2.2.1-3	Aceite de zapallo obtenido en el extractor sólido-líquido.....	66
3.2.2.1-4	Tiempo requerido para la extracción de aceite de las semillas de zapallo.....	66
3.2.2.2-1	Rendimiento de aceite de las semillas de sambo.....	67
3.2.2.2-2	Rendimiento de aceite de las semillas de zapallo.....	68
3.2.2.3-1	Composición química del aceite de sambo y zapallo.....	69

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO I</b>	Manual de operación
<b>ANEXO II</b>	Manual de mantenimiento
<b>ANEXO III</b>	Ficha técnica del acero inoxidable AISI 304
<b>ANEXO IV</b>	Hoja de seguridad y propiedades del hexano
<b>ANEXO V</b>	Propiedades de varios líquidos
<b>ANEXO VI</b>	Propiedades del agua saturada
<b>ANEXO VII</b>	Planos del extractor sólido-líquido
<b>ANEXO VIII</b>	Fotos del equipo

## RESUMEN

Se ha diseñado y construido un equipo de Extracción Sólido-Líquido para la obtención de aceites vegetales de las semillas de sambo (*Cucurbita ficifolia*) y zapallo (*Cucurbita máxima*), éste equipo formará parte del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Mediante el empleo del método experimental se efectuó la simulación del proceso de extracción sólido-líquido en el Laboratorio de Fitofarmacología, utilizando el equipo soxhlet gracias al cual se obtuvo datos experimentales e identificaron variables que intervienen en este tipo de extracción, con estos datos se procedió a realizar cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del equipo de extracción sólido-líquido.

Tomando estos datos como referencia seleccionamos los principales elementos del equipo como son: un tanque de ebullición que contiene al solvente y en el cual se encuentra ubicada una resistencia de 6000 W y una termocupla que indica la temperatura a la que se encuentra el solvente, un extractor o camisa en el que se introduce una canastilla que contiene la muestra seca sujeta al proceso de extracción, un condensador con un espiral de tubería de cobre para lograr el enfriamiento óptimo del vapor de solvente, un tanque cisterna en el que se agrega el agua que será succionada por una bomba de 0,5 HP que permitirá la circulación de agua a través del condensador, un visor de vidrio para realizar el

seguimiento al proceso de extracción y un panel de control donde se define el punto de control (set point) de la temperatura de ebullición del solvente.

El equipo fue sometido a pruebas de funcionamiento evidenciándose su eficiencia al extraer aceites vegetales de sambo y zapallo con un rendimiento del 33,98 y 46,60% respectivamente que son las fracciones totales de aceite contenido en las semillas.

Se concluye gracias al buen funcionamiento del extractor sólido-líquido evidenciado en las pruebas de validación, que dicho equipo servirá como apoyo didáctico para la enseñanza del proceso de extracción sólido-líquido regido por el fenómeno de transferencia de masa y ayuda para el estudiante que podrá comprender mejor el fundamento teórico de dicho proceso al combinarlo con el desarrollo práctico del mismo.

## SUMMARY

An equipment for Solid – Liquid Extraction for obtaining vegetable oils from the seeds of sambo (*Curcubita ficifolia*) and pumpkin (*Cucurbita maxima*) was designed and built; this equipment will be part of the Unit Operations Laboratory of the Chemical Engineering School of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

An experimental method was conducted for simulating the solid-liquid extraction process in the Phytopharmacology Laboratory. Through the use of the “soxhlet” equipment experimental data were obtained; also variables that are involved in this type of extraction were identified. With these data some engineering calculus were performed for solid-liquid extraction equipment sizing.

Having these data as reference the principal elements of the equipment were chosen as follows: boil pump which has solvent inside; it is also located a resistance of 6 000 volts and a thermocouple that shows the temperature in which the solvent is, an extractor in which a layette is introduced containing the dry sample to be processed; a condenser with copper piping spiral for getting a cool environment of the solvent steam; a cistern in which water is added that will be sucked by a pump of 0,5 HP (horse power) that will allow water circulation through the condenser; a glass visor to monitor the extraction process and a control panel in which is defined the set point of the solvent boiling temperature.

The equipment was tested in operation, proving its efficiency by extracting sambo and pumpkin vegetable oils with a yield of 33.98% and 46.60% corresponding to the total fractions of oil immersed in the seeds.

As conclusion the equipment will be an instructional support in teaching the process of the solid-liquid extraction, governed by the phenomenon of mass transfer; besides it will help the student for his theoretical understanding process combining it with its practical development.

Its recommended that the solid-liquid extractor have constant and appropriate maintenance and follow all the instructions given in the operation manual to achieve the right performance and extent its useful life.

## INTRODUCCIÓN

La extracción sólido-líquido o lixiviación es una operación unitaria que permite separar los constituyentes solubles de un sólido inerte con un solvente. Esta operación también se convierte en parte de un proceso completo de extracción en el cual es posible la recuperación por separado del solvente y del soluto.

Gracias a esta operación de lixiviación es posible la obtención de los aceites, dentro de ellos el de sambo y zapallo que en la actualidad están siendo fuente de investigación en otros países como los Estados Unidos, ya que poseen propiedades que favorecen y mejoran la salud del consumidor y que según varios estudios realizados se ha determinado que son más saludables que los aceites consumidos actualmente.

Una manera óptima y eficiente de obtener los aceites vegetales es a través del extractor sólido-líquido con disolventes, ya que este método permite que el solvente se ponga en contacto con la semilla y por difusión, arrastre los componentes líquidos y solubles que se buscan obtener, procurando en lo posible extraer todo el aceite contenido en la semilla. Este proceso se basa en el sistema soxhlet de laboratorio el mismo que es llevado a escala industrial mediante la determinación de variables y en las cuales está basado el diseño del equipo de extracción sólido-líquido a ser construido.

La gran ventaja de este método es que aprovechando los diferentes puntos de ebullición se puede recuperar fácilmente tanto el aceite obtenido como el solvente utilizado y además abre paso a la investigación y obtención mediante extracción de una nueva variedad de aceites ricos en proteínas y minerales como el calcio y fósforo.

## ANTECEDENTES

El aparecimiento de los aceites vegetales data de hace muchos años atrás y fueron obtenidos alrededor del mundo con la finalidad de aprovechar los beneficios nutricionales que presentaban las semillas oleaginosas, el hombre descubrió que los componentes presentes en dichas semillas podían ser separados de su fuente en forma mecánica, es decir, mediante prensado.

Sin embargo el prensado no era un método eficiente, por lo que se buscaba una manera más rápida y efectiva para extraer los aceites, es así que se revela el método químico, según el cual es necesario la utilización de un disolvente químico, convirtiéndose en un método más rápido y barato además de dar mejor rendimiento. El solvente más usado desde ese entonces fue el hexano.

Hoy en día a nivel mundial se pretende explotar todo tipo de semillas, entre ellas, las de sambo y zapallo, ya que poseen propiedades curativas. En el Ecuador existen pocos estudios realizados sobre la extracción de aceite de estas semillas, pese a que contamos con ambos frutos. Estos estudios se basan en la extracción de dichos aceites mediante un equipo de extracción sólido-líquido fundamentado en el método químico, es decir, con el uso de solventes orgánicos.

## JUSTIFICACIÓN

La obtención de aceites con un buen contenido de nutrientes se ha convertido en uno de los estudios con gran trascendencia, pues se pretende lograr la elaboración de aceites aptos para mantener una buena salud. Las semillas de sambo (*Cucurbita ficifolia*) y zapallo (*Cucurbita maxima*) poseen también propiedades curativas ya que son antiinflamatorios, desparasitantes, ayudan a mejorar la supervivencia de enfermos con cáncer, enfermos del corazón y diabéticos.

Para separar estos componentes de la fase sólida, se ha desarrollado varias técnicas con el objeto de acortar el tiempo de extracción, disminuir el consumo de solvente, aumentar el rendimiento y mejorar la calidad del extracto. El equipo de extracción sólido-líquido constituye una respuesta simple y eficiente a dicho objetivo, pues permite mantener los estándares de calidad en todo el proceso y asegurarse del mismo.

Por este motivo se ha visto la necesidad del diseño y construcción del mencionado equipo de extracción para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química, con el fin de satisfacer los requerimientos dentro del laboratorio e impartir nuevos conocimientos acerca del manejo y utilización de equipos piloto, así mismo capacitar a los estudiantes para que puedan defenderse en cualquier campo laboral considerando que el descubrimiento de aceites que sean buenos para la salud se ha vuelto un tema apetecido por el mercado actual.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ✓ Diseñar y Construir un Extractor Sólido Líquido para la Obtención de Aceite de sambo (*Cucurbita ficifolia*) y zapallo (*Cucurbita maxima*).

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Simular en el laboratorio la obtención de aceite de sambo (*Cucurbita ficifolia*) y zapallo (*Cucurbita maxima*) por extracción sólido líquido.
- ✓ Identificar las variables del proceso de obtención de aceite.
- ✓ Establecer el dimensionamiento, tipo de materiales, control y presupuesto requerido.
- ✓ Construir el extractor sólido-líquido en base al diseño de ingeniería.
- ✓ Tomar datos en tiempo real para validación del diseño de ingeniería.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

# **1 MARCO TEÓRICO**

## **1.1 ACEITES VEGETALES**

Los aceites de origen vegetal o animal son triglicéridos ya que la glicerina se esterifica en sus 3 posiciones con ácidos grasos. La glicerina es un alcohol glicerol cuyos carbonos están sustituidos por 3 oxidrilos OH (propanodiol). Los ácidos grasos son cadenas hidrocarbonadas con grupos carboxilo (COOH) en el extremo de la cadena lineal, pueden ser saturados o insaturados.

Los aceites vegetales son aceites derivados de plantas. Suelen ser extraídos de las semillas o frutos. Muchos son consumidos directamente o usados como ingredientes en las comidas, pero no todos son comestibles.

### **1.1.1 COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES**

Cuando hacemos la extracción del aceite, aparecen otros constituyentes. Ácidos grasos libres, gomas y mucilagos, fosfolípidos, pigmentos liposolubles, vitamina liposoluble (A- D- E- K) y los componentes odoríferos que dan olor y sabor.

### **1.1.2 FUENTES DE ACEITES**

Las fuentes más comunes para la obtención de aceites vegetales son el girasol, maíz, soja, algodón, lino, oliva maní, uva, coco, colza, tubérculo semejante a la papa usado en España

y actualmente se pretende obtener aceite de las semillas de sambo y zapallo, también conocidos como calabaza.

### 1.1.2.1 ZAPALLO (*Cucurbita maxima*)

#### 1.1.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL ZAPALLO



Fig. 1.1.2.1-1 Planta de zapallo

**Reino:** Vegetal

**Subclase:** Metaclamidias

**Sub-reino:** Fanerógamas

**Orden:** Cucurbitales

**División:** Angiospermas

**Familia:** Cucurbitácea

**Clase:** Dicotiledónea

**Género:** Cucurbita

**Especie:** *Cucurbita maxima*

**Lugar de Origen:** Se afirma que el zapallo sería originario de México por haberse encontrado algunas especies del género *cucurbita*, estudios arqueológicos revelan que, junto con el maíz y el poroto, el zapallo, fue la base de la alimentación de los incas, aztecas y mayas antes de la colonización española.

**Descripción:** Los frutos son esferoidales, aplanados, nunca claviformes, curvos o estrangulados y carecen de excrecencias cerosas; la superficie del fruto puede ser lisa o rugosa, de color externo generalmente verde o verde grisáceo y la pulpa es anaranjada. Fruto de tamaño variable, desde calabacitas a más de 20 kg ("calabaza gigante"). Los frutos y semillas de la calabaza tienen variados usos, desde el consumo humano, pasando por el forraje para los animales domésticos, como medicinal (semillas con propiedades antiparasitarias), hasta su utilización como planta ornamental.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ZAPALLO

Tabla 1.1.2.1.1-1  
Composición química del zapallo

Agua	92 %
Hidratos de Carbono	2,2 %
Fibra	0,5%
Proteínas	0,6%
Lípidos	4,2%
Sodio	3mg/100g
Potasio	300mg/100g
Calcio	24mg/100g
Fósforo	28mg/100g
Hierro	0,60mg/100g
Zinc	400mg/100g
Vitamina A	90mg/100g
Vitamina C	22mg/100g
Vitamina B1	0,03mg/100g
Vitamina B2	0,04mg/100g
Ac. Fólico (Vita. B3)	13microorganismos/100g
Energía	21,00 cal

Fuente: Camasca (1944)

### 1.1.2.1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DEL ZAPALLO

Tabla 1.1.2.1.2-1  
Composición química de la semilla del zapallo

Calorías	547,0
Agua (%)	4,9
Proteínas (g)	30,3
Fibra	2,2
Grasas (g)	45,8
Calcio (mg)	38,0
Fósforo (mg)	1,064
Hierro (mg)	9,2
Vitamina A NC 65,0 (UI)	15,0
Vitamina B1(Tiamina)(mg)	0,23
Vitamina B1(Riboflavina) (mg)	0,16
Niacina (mg)	2,9
Vitamina C (mg)	0

Fuente: Hammerly (1984)

### 1.1.2.1.3 APLICACIONES Y PROPIEDADES DEL ACEITE DE ZAPALLO

- ✓ Trastornos de las vías urinarias, cálculos renales.
- ✓ Agrandamiento prostático (reduce el dolor producido por la inflamación), cáncer de próstata. La mayoría de problemas de próstata (adenomas benignos, inflamación, atrofia, crecimiento anormal, etc.) se benefician del efecto antiinflamatorio del aceite de zapallo gracias a su riqueza en cucurbitacina.
- ✓ Cáncer de seno y metástasis (mejora la supervivencia de los enfermos de cáncer)
- ✓ Enfermedades del corazón, endurecimiento de las arterias, colesterol, presión arterial. El aceite de zapallo es ideal en problemas cardiovasculares debido a su alto contenido en ácidos grasos poli-insaturados que ayudan a mantener equilibrados los niveles de colesterol y triglicéridos.

- ✓ Trastornos inflamatorios (reducir la inflamación de las articulaciones en caso de artritis, espondilitis y edemas). Por su alto contenido en zinc es muy recomendado para prevenir la osteoporosis.
- ✓ Problemas hepáticos (hepatitis, cirrosis, hígado graso).
- ✓ Protección de la vista, sobre todo de la córnea. La vista se beneficia de este aporte de Zinc ya que el ojo humano es muy rico en este mineral y necesita un buen aporte de este nutriente
- ✓ Vesícula y ductos biliares, inflamaciones intestinales, estomacales y úlceras del duodeno.
- ✓ Prevención de la diabetes.
- ✓ Desequilibrio metabólico, obesidad.
- ✓ Psoriasis, herpes.
- ✓ Depresión, ansiedad.
- ✓ Insomnio.
- ✓ Antioxidante, por su alto contenido en vitaminas A y E.
- ✓ Poderoso antiparasitario. Las semillas y el aceite de zapallo son muy eficaces a la hora de expulsar parásitos intestinales como la solitaria, (tomar una cucharada sopera de semillas crudas o una cucharadita de las de postre de aceite, en ayunas)
- ✓ El aceite de Zapallo está especialmente aconsejado en procesos de desmineralización como las caries dentales y los problemas de caída de cabello y uñas demasiado frágiles.
- ✓ El estreñimiento y la colitis suelen mejorar.
- ✓ Su efecto antiinflamatorio también beneficia a las personas con tendencia a irritación o inflamación de la vejiga.

## 1.1.2.2 SAMBO (*Cucurbita Ficifolia*)

### 1.1.2.2.1 CARACTERÍSTICAS



Fig. 1.1.2.2-1 Planta de sambo

**Reino:** Vegetal

**Orden:** Cucurbitales

**Familia:** Cucurbitácea

**Género:** Cucurbita

**Lugar de origen:** El centro de origen y domesticación de esta especie se desconoce aún. Se sitúa en Centroamérica o en América del Sur. Los vestigios más antiguos se han descubierto en Perú.

**Descripción:** Como la mayoría de las especies de *Cucurbita*, de hábito rastrero; herbácea, anual en zonas templadas, y perenne en zonas tropicales; el tallo vellosa alcanza una extensión de 5 m (no es raro que alcance 15 m). En su madurez cobra características

semileñosas; es excepcional entre las cucúrbitas por ser perenne en su estado silvestre, aunque los cultivos se efectúen por lo general anualmente.

Hojas pecioladas, de gran tamaño, color verde oscuro y dorso pubescente. Las flores son solitarias, pentámeras y axiliares; grandes y de pétalos carnosos. El fruto es globoso de 2 dm de diámetro, y no supera los 5 o 6 kg de peso. La piel, verde o blanquecina, protege una pulpa conformada básicamente por mesocarpio, seca, fibrosa, de color claro y dulce.

**Usos:** Los frutos tiernos son consumidos hervidos, mientras que los frutos maduros son utilizados para preparar dulces o bebidas ligeramente alcoholizadas. Se utilizan con miel para preparar un postre conocido como “palanquetas”, además se consumen las flores y los tallos tiernos. Los frutos también son destinados a la alimentación del ganado.

Las semillas constituyen una fuente muy apreciable de aceite y proteínas.

#### 1.1.2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SAMBO

Tabla 1.1.2.2.2-1  
Composición química del sambo

<b>COSTITUYENTE</b>	<b>TIERNO</b>	<b>MADURO</b>
Humedad (%)	94.5	91.4
Proteína (%)	0.3	0.2
Grasa (%)	0.1	0.5
Carbohidratos totales (%)	4.4	6.9
Fibra cruda (%)	0.5	0.6
Ceniza (%)	0.2	0.4

Fuente: FAO \*En base fresca

Tabla 1.1.2.2.2-2  
Contenido de vitaminas y minerales en el sambo

<b>COSTITUENTE</b>	<b>TIERNO</b>	<b>MADURO</b>
Calcio (mg)	24	21
Fósforo (mg)	13	6
Hierro (mg)	0.3	0.5
Caroteno (mg)	0.04	-
Tiamina (mg)	0.02	0.01
Riboflavina (mg)	0.01	0.02
Niacina (mg)	0.26	0.22
Ácido ascórbico (mg)	18	4

Fuente: FAO \*En base seca

### 1.1.2.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DEL SAMBO

Tabla 1.1.2.2.3-1  
Composición química de la semilla del sambo

Calorías	321,0
Agua (%)	5,9
Proteínas (g)	21,6
Fibra	1,7
Grasas (g)	32,6
Calcio (mg)	31,2
Fósforo (mg)	0,077
Hierro (mg)	6,8
Vitamina B1(Tiamina)(mg)	0,19
Vitamina B1(Riboflavina) (mg)	0,17

Fuente: Hammerly (1987)

## 1.2 OBTENCIÓN DE ACEITE DE LAS SEMILLAS OLEAGINOSAS

En principio se distinguen dos sistemas de extracción del aceite de semillas oleaginosas:

- ✓ Extracción mecánica
- ✓ Extracción sólido-líquido (con disolventes)

### 1.2.1 EXTRACCIÓN MECÁNICA (EXTRACCIÓN POR PRESIÓN)

En el caso de las semillas oleaginosas se recurre a la extracción por presión cuando el contenido en aceite es mayor del 20%. Para extraer el aceite del material que lo contiene mediante presión, es necesario que las paredes de las células que lo contienen se rompan. Esto se puede conseguir molturando la semilla o fruto, haciéndolos copos (“flaking”), pasándolos por rodillos o sometiéndolos a grandes presiones. El proceso general se podría subdividir en las siguientes operaciones:

**Operaciones Previas.** Recolección, transporte y limpieza de las semillas o frutos a través de separadores magnéticos para eliminar cualquier fragmento de metal que pudieran contener, o por flotación por aire, etc.

**Secado de las semillas.** Generalmente en cilindros giratorios perforados atravesados por aire caliente.

**Descascarillado.** Cuando sea necesario, y separación de las cáscaras (se realiza por flotación en varias etapas). Se recomienda para producir aceite de alta calidad y aumenta la tasa de extracción a menores presiones. Algunas semillas son sólo descascarilladas parcialmente eliminándose las partículas de mayor tamaño. De esta forma se ayuda a la rotura de las paredes celulares a presiones no mucho más altas que para las semillas descascarilladas. Las semillas se convierten en una pasta o harina al ser molidas pasándolas, generalmente, a través de rodillos estriados o con tipos especiales de molinos

de martillo. Así se consigue una rotura de la pared celular, lo que expone el aceite localizado en el interior de la célula.

El resultado de la molienda se somete a extracción por presión en una prensa hidráulica o en prensas de tornillo. En general la prensa de tornillo, sencilla o doble, más moderna, ha reemplazado a muchas prensas hidráulicas porque permite un proceso continuo, tiene mayor capacidad, requiere menor mano de obra y generalmente extrae mayor cantidad de aceite. Posteriormente se eliminan las impurezas "gruesas" en un tamiz vibratorio y el abrillantamiento final se obtiene por filtración.

Puede haber calentamiento previo a la extracción o no, dependiendo del tipo de semilla o fruto a extraer y de la calidad del aceite que queremos obtener. Los aceites obtenidos sin calentamiento, en frío, contienen menor cantidad de impurezas y su calidad es tal que suelen ser comestibles sin posterior refinado o procesado. Al presionar la torta mientras es calentada se extraen más aceite, pero también mayor cantidad de impurezas de naturaleza no glicérica (fosfolípidos, pigmentos, materia insaponificable).

### **1.2.2 EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO (CON DISOLVENTES)**

Los aceites vegetales se recuperan a partir de sus semillas mediante extracción sólido-líquida o lixiviación con disolventes orgánico. Además, es posible separar el soluto del solvente mediante el calentamiento de la sustancia. Al tener distinto punto de ebullición, una de los dos se evaporará primero con lo cual ya tendremos el producto deseado.

En operaciones a gran escala, la extracción con disolventes es un medio más económico de obtención de aceite que la extracción por presión, y su aplicación va aumentando rápidamente.

El aceite de la semilla difunde y es extraído a través del disolvente, mientras que la proteína permanece en la torta residual con fibra e hidratos de carbono. También se agotan con disolvente las tortas obtenidas tras la operación de prensado, que suelen contener entre un 3 y un 15% de aceite residual. Se suele realizar cuando el valor del aceite en sí mismo es considerablemente mayor que como parte de la torta.

Como disolventes en los métodos comerciales de extracción se recurre a compuestos hidrocarbonados volátiles purificados, especialmente las distintas clases de bencinas de petróleo, conocidas comúnmente como éter de petróleo, hexano o heptano. El hexano es el más utilizado tradicionalmente.

En el caso de que la materia a extraer contenga gran cantidad de aceite, más del 20%, es común someterla a un prensado previo a su extracción, en prensa de tornillo. De esta forma se elimina una parte importante de aceite, porque si no se formarían emulsiones con el disolvente, y hay ruptura de estructuras celulares, facilitando la posterior extracción con disolventes. El proceso general se podría subdividir en las siguientes operaciones:

**Operaciones previas.** Recolección, transporte y limpieza rigurosa para eliminar metales, suciedad, piedras y semillas extrañas.

**Secado de las semillas.** Generalmente usando aire caliente

**Descascarillado.** Se realiza cuando sea necesario.

**Trituración o molienda gruesa de las semillas o de la torta de prensado.** La molienda es gruesa para evitar la aparición de demasiadas materias finas en el aceite.

**Atemperado de las semillas.** Se realiza con vapor, para obtener la temperatura y humedad óptimas para realizar las siguientes operaciones. Se inactivan enzimas y aumenta la fluidez del aceite, mejorando la extracción.

**Molienda.** Paso a través de rodillos de superficie lisa para convertir los pequeños fragmentos en copos o láminas (“flaking”), este proceso de laminado consigue la rotura de la pared celular, lo que expone el aceite localizado en el interior de la célula-

**Extracción con el disolvente.** Generalmente es un proceso de flujo continuo, por ser más eficiente, donde el disolvente extrae el aceite de los copos en contracorriente. Se puede realizar en sistemas de inmersión o de percolación. En la actualidad se suelen utilizar percoladores de cinta sin fin en los que las semillas trituradas son rociadas con el disolvente (en contracorriente).

**Eliminación del disolvente.** Se elimina el disolvente tanto de la miscela (aceite más disolvente) como de la torta, que se destinará a alimentación animal. El disolvente se elimina en tres etapas, habitualmente empleando la destilación:

- ✓ Pre-concentración. Se elimina parte del disolvente aportando calor procedente de los vapores de disolvente eliminados en la siguiente etapa de destilación.
- ✓ Destilación. Se realiza a temperatura moderada y en corto tiempo para evitar la alteración del aceite.
- ✓ Obtención de la harina. Eliminación del disolvente en columna de platos calentados por vapor "Stripping". Secado. Enfriado. Trituración. Tamizado. Clasificación. La torta que queda como residuo suele contener menos de un 2% de aceite residual.

### 1.2.2.1 DISOLVENTES USADOS EN LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO DE SEMILLAS OLEAGINOSAS

Tabla 1.2.2.1-1

Disolventes de extracción comúnmente utilizados

NOMBRE	FÓRMULA	$\delta$ (g/ml)	P <sub>eb</sub> (°C)	PELIGROSIDAD
<b>DISOLVENTES DE EXTRACCIÓN MENOS DENSOS QUE EL AGUA</b>				
Éter dietílico	(CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> °	0,7	35	Muy inflamable, tóxico
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	≈ 0,7	68.85 – 70	Inflamable
Benceno	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,9	80	Inflamable, tóxico, carcinógeno
Tolueno	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	0,9	111	Inflamable
Acetato de etilo	CH <sub>3</sub> COOCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	0,9	78	Inflamable, irritante
<b>DISOLVENTES DE EXTRACCIÓN MAS DENSOS QUE EL AGUA</b>				
Diclorometano	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1,3	41	Tóxico
Cloroformo	CHCl <sub>3</sub>	1,5	61	Tóxico
Tetracloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	1,6	77	Tóxico

Fuente: Recopilación de internet

## 1.3 PROTOTIPOS DE EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES

### 1.3.1 EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO TIPO 1

“El equipo está diseñado para realizar operaciones de separación de sustancias líquidas contenidas en un sólido mediante la utilización de un disolvente que permite que se realice la separación. Está compuesto por un percolador, un evaporador-concentrador, un condensador, instrumentos de medida, tuberías, accesorios y válvulas”.<sup>1</sup>



Fig. 1.3.1-1 Equipo de extracción sólido-líquido

**Percolador.** Fabricado en acero inoxidable tipo 304, de forma truncada, y provisto de una canastilla en donde se ubica el sólido al cual se le va a realizar la operación de extracción de su componente líquido.

---

<sup>1</sup> **Prototipos de extractor sólido-líquido**  
<http://www.tecnoedu.com/Armfield/UOP4MkII.php>

Está provisto de una tapa también en acero inoxidable con un empaque de caucho y doce tornillos que permiten asegurar la tapa del percolador para evitar las fugas de los vapores que se generan en el proceso. También posee una chaqueta que permite la entrada de vapor vivo para la transferencia de calor hacia el interior del percolador, esto es para un calentamiento indirecto; también posee una línea de entrada de vapor vivo al percolador para cuando el proceso indique que se debe realizar una operación con estas circunstancias de entrada de vapor vivo al percolador.

**Condensador.** Construido en acero inoxidable, permite el intercambio de calor con agua de proceso que proviene de las respectivas tuberías de la planta. Este equipo condensa el vapor que sale del evaporador y posee además una línea de reflujo hacia el percolador, esta línea está provista de una mirilla de vidrio para verificar la presencia de condensado en la línea de entrada y para que no se presenten problemas de calentamiento del condensador por la falta de agua para el intercambio que permita la aparición de condensado en la línea de reflujo.

**Evaporador – Concentrador.** Fabricado en acero inoxidable, permite la evaporación de uno de los componentes que después es llevado al condensador, y si se estima conveniente, se puede regresar mediante reflujo al percolador; el otro componente es entonces concentrado a medida que aumenta el tiempo del proceso. Cuenta con dos calandrias (superior e inferior) y un cuerpo de ebullición. Cada calandria posee una camisa para calefacción con vapor vivo y enfriamiento con agua; las dos calandrias tienen un medidor de nivel de vidrio. La calandria inferior posee entrada de alimento por debajo de ella y la superior tiene la entrada de alimento por encima de ella. El cuerpo de ebullición es de

forma cónica en el fondo y cilíndrica en su parte superior. También está provisto de una válvula de bola que permite retirar el extracto.

**Tuberías y válvulas.** Los conductos de vapor vivo, su condensado y de agua de enfriamiento son de hierro galvanizado, los demás conductos son de acero inoxidable. La tubería de hierro galvanizado posee los siguientes accesorios: codos de 90 grados, tes, uniones y universales del mismo material. Las tuberías de acero inoxidable poseen los siguientes accesorios del mismo material: codos de 90 grados, tes, crucetas, universales y uniones.

Para suministro de vapor vivo el sistema posee una válvula de globo de bronce. La línea de vapor y agua de enfriamiento posee válvulas de compuerta de bronce. Las demás válvulas son del tipo bola, todas ellas de acero inoxidable.

### **Instrumentos de medida**

- ✓ Manómetro de carátula para leer la presión de vapor vivo suministrado.
- ✓ Dos termómetros bimetálicos, localizado en la tapa del percolador y otro en la tubería de condensado del vapor vivo.

### **1.3.2 EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO TIPO 2**

“Para la obtención de un líquido a partir de un sólido se utiliza un equipo extractor sólido-líquido, en donde en contracorriente el solvente fluye en sentido contrario a la dirección

con que fluye el sólido a extraer y por etapas sucesivas donde se recircula el extracto y se agota por completo el sólido se obtiene el producto concentrado de interés”.<sup>2</sup>



Fig. 1.3.2-1 Extractor sólido-líquido

Todo el equipamiento está construido en acero inoxidable de manera de lograr la mayor asepsia, evitando la contaminación del producto final.

El equipo está constituido por las siguientes partes:

- ✓ Un tornillo sin fin que transporta los sólidos dentro de un cuerpo cilíndrico inclinado provisto de una camisa calefactora por donde circula agua caliente mejorando la extracción, el sólido previamente molido es transportado hacia arriba mientras que el solvente desciende en contracorriente por gravedad.

---

<sup>2</sup> **Prototipos de extractor sólido-líquido**  
<http://www.tecnoedu.com/Armfield/FT11110LA.php>

- ✓ Un recipiente con una canasta perforada que recibe los sólidos y el extracto que además consta de un agitador mecánico y un sistema de recirculación para lograr que el sólido se agote por completo.
  
- ✓ Un termostato eléctrico con control de temperatura utilizado para suministrar el agua caliente a la camisa de manera de mantener la temperatura en un valor fijado.
  
- ✓ Un tablero de mando del tornillo sinfín, agitador, bomba de recirculación y el termostato.

Este equipo brinda la posibilidad de realizar estudios y la producción a nivel de planta piloto de una gran variedad de fitomedicamentos y productos alimenticios, constituyendo un importante factor de producción.

## **1.4 TEORÍA DE LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO**

La separación de un constituyente soluble del sólido que lo contiene por extracción con un disolvente, puede considerarse que consiste en dos etapas: 1), contacto del sólido con la fase líquida, y 2), separación de la fase líquida del sólido. Estas dos etapas pueden efectuarse en aparatos distintos o en el mismo. Tanto si se utiliza el mismo o diferente aparato para las dos etapas, es indiferente en cuanto a los cálculos se refiere, con tal de que se disponga de cierta información sobre las características de operación.

En una operación real es completamente imposible separar la fase líquida del sólido. Como consecuencia de ello, las corrientes resultantes que proceden de la segunda etapa serán: una fase líquida (solución), que en una operación normal no debe contener ningún sólido, y un lodo constituido por el sólido y la solución que lleva adherida. Para designar esas dos corrientes se utilizarán en lo que sigue los términos *flujo superior* y *flujo inferior*.

Como el caso del fraccionamiento, se ha encontrado que es conveniente utilizar el concepto de *etapa* en la ejecución de los cálculos. Una etapa consta de los dos pasos indicados antes - contacto del sólido con la fase líquida y separación del flujo superior del inferior. En el caso de la extracción sólido-líquido se define la *etapa ideal* como una etapa en la que la solución que sale con el flujo superior tiene la misma composición que la solución que queda retenida por el sólido en el flujo inferior.

El uso del concepto de etapa ideal elimina la consideración de las velocidades de mezcla y de transferencia de masa durante los cálculos iniciales, pero precisa utilizar la *eficacia de etapa* con objeto de obtener la relación entre las etapas ideales y las etapas reales. Esto es análogo al procedimiento de la destilación.

Por necesidades de cálculo, la mayor parte de los sistemas sólido-líquido sometidos a extracción, pueden considerarse formados por tres componentes 1) el soluto: componente A; 2) el sólido inerte: componente B y 3) el disolvente: componente S. El soluto puede ser tanto un sólido entremezclado con un sólido inerte como un líquido contenido en el sólido inerte, bien en su estructura, bien en su superficie. En muchos casos, el soluto no es una sola sustancia, sino una mezcla de sustancias; en tales casos, los resultados del cálculo son

aproximados y tanto más cuanto más válida sea la hipótesis de que la sustancia soluble se comporta de manera semejante a un componente único. El sólido inerte puede estar formado por un gran número de sustancias, con tal que todas ellas sean insolubles en el solvente utilizado. De una, forma semejante, el disolvente puede ser una mezcla en lugar de una sustancia, pura, aunque tal vez es mucho más corriente emplear una sola sustancia.

### **1.4.1 CÁLCULOS PARA LA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO**

Los cálculos para un sistema sólido-líquido sometido a extracción pueden basarse en la utilización de los balances de materia y energía y en el concepto de etapa ideal. La menor importancia de los cambios de energía en el proceso de extracción industrial, conduce normalmente a la omisión de las ecuaciones del balance de energía. Como resultado de ello los cálculos se basan en el balance de materia y concepto de etapa ideal.

Pueden utilizarse métodos de solución algebraicos y gráficos, puesto que son procedimientos equivalentes para resolver las relaciones de balances de materia y de etapa ideal. La solución gráfica presenta la ventaja de permitir un tratamiento generalizado de los casos más complicados y permitir una mejor visualización de cuánto va ocurriendo en el proceso, aunque puede ser inconveniente su uso si se precisa un gran número de etapas. Puesto que para la mayor parte de los casos de extracción sólido-líquido el número de etapas utilizadas no es muy grande, la solución gráfica es el único método que se considerará.

## 1.4.2 DIAGRAMA TRIANGULAR

“El sistema de tres componentes formado por el soluto, el sólido inerte y el disolvente, a temperatura constante, puede representarse en un diagrama triangular.

Puede utilizarse un triángulo equilátero o un triángulo rectángulo; pero se utilizará el triángulo rectángulo para construir el diagrama, puesto que puede emplearse el papel corriente de coordenadas aritméticas y, por lo tanto, permite la selección mucho más conveniente de las escalas que han de utilizarse”.<sup>3</sup>

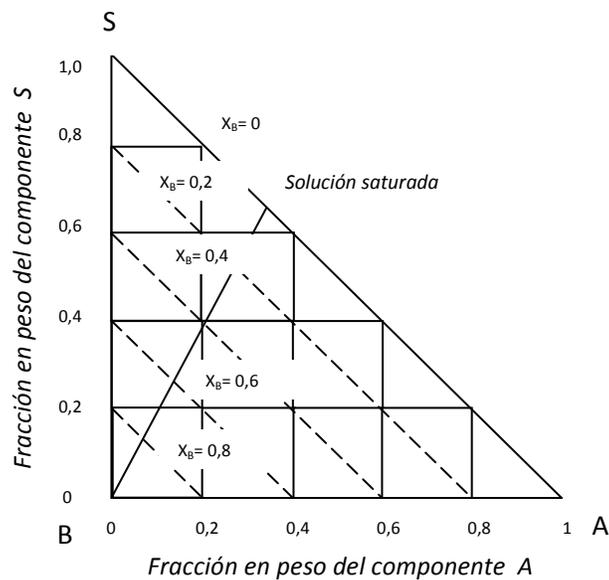


Fig. 1.4.2-1 Diagrama triangular para la extracción sólido-líquido

La figura 1.4.2-1 es un diagrama triangular del sistema *ABS* a temperatura constante.

<sup>3</sup> BAGDER, W y BANCHER, J., Introducción a la Ingeniería Química., 2da. ed., Madrid- España., McGraw Hill., 1964., Pp. 341

El eje horizontal corresponde a la fracción en peso del disolvente (componente S), nula y representa el lugar geométrico de todas las mezclas posibles del soluto (componente A) y el sólido inerte (componente B). Las composiciones del componente A se designan por  $x_A$  y se sitúan sobre este eje. De una forma semejante, el eje vertical representa el lugar de todas las mezclas posibles de disolvente (componente S) con el sólido inerte (componente B) y la hipotenusa del triángulo representa el lugar de todas las mezclas posibles de disolvente (componente S) y de soluto (componente A). Las concentraciones del componente S se representan por  $x_S$  y se sitúan sobre el eje S. Cualquier punto en el interior del diagrama (tal como el punto 1) representa una mezcla de los tres componentes. Si las composiciones correspondientes al punto se representan por  $x_A$ ,  $x_B$  y  $x_S$  respectivamente, y son las fracciones en peso de cada uno, se tiene:

$$x_A + x_B + x_S = 1 \quad \text{Ec. 1.4.2-1}$$

$$x_B = 1 - x_A - x_S \quad \text{Ec. 1.4.2-2}$$

Se deduce de la Ec. 1.4.2-2 que la composición del componente B,  $x_B$ , no es independiente, sino que está completamente determinada si se conocen  $x_A$  y  $x_S$ . En consecuencia, cualquier punto puede situarse en el diagrama, trazando las coordenadas  $x_A$  y  $x_S$  únicamente. El origen ( $x_A = 0$ ,  $x_S = 0$ ) representa el sólido inerte. Las líneas paralelas a la hipotenusa del triángulo en la figura 1.4.2-1, son líneas de composición constante en sólido inerte ( $x_B = C$ ), puesto que estas líneas tienen una ecuación de la forma:

$$x_S = -x_A + D$$

$$x_S + x_A = D \quad \text{Ec. 1.4.2-3}$$

En la que D es constante (la ordenada de la línea en el punto de corte con el eje  $x_S$ ). De las Ecs. 1.4.2-2 y 1.4.2-3:

$$X_B = 1 - x_S - x_A = 1 - D = C \quad \text{Ec. 1.4.2-4}$$

La solución saturada del componente A en el disolvente, a la temperatura considerada, está representada por el punto 2 del diagrama.

La región por encima de la línea que une el origen con el punto 2 representa la sección del diagrama en el que no hay presente componente A no disuelto y es la región en la que se efectúan la mayor parte de las extracciones.

La región por debajo de la línea antes citada representa la sección del diagrama en la que los sólidos presentes contienen los dos componentes, el B y el A no disuelto y la solución presente es solución saturada con la composición representada por el punto 2.

Pueden presentarse otras clases de diagramas. Por ejemplo, si el soluto está originariamente presente como líquido y no es completamente miscible con el disolvente, en este caso pueden presentarse dos soluciones saturadas; una estará formada por el componente S saturado con componente A y la otra será el componente A saturado con el componente S.

### 1.4.3 SOLUCIÓN GRÁFICA

“Consideremos un sistema de extracción de una sola etapa en condiciones de régimen permanente, como el representado en la figura 1.4.3-1”.<sup>4</sup>

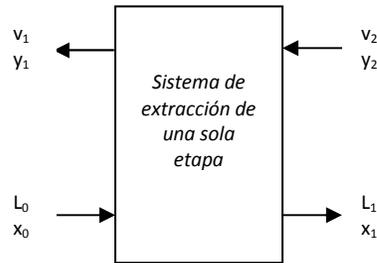


Fig. 1.4.3-1 Balance de materia en un sistema de extracción de una sola etapa

Sea  $V_2$  la velocidad de alimentación del disolvente en kg/h y  $V_1$  el caudal de la corriente del flujo superior, en kg/h.  $L_0$  representa la velocidad de alimentación de la etapa, y  $L_1$  el caudal del flujo inferior, que sale de la etapa. Las composiciones en fracciones en peso, de las corrientes del flujo superior (incluida la del disolvente a la etapa) se representarán por el símbolo  $y$  con los subíndices adecuados. De una manera semejante, las composiciones de los flujos inferiores, se representarán por el símbolo  $x$ . Se observará en este sistema de nomenclatura, que los símbolos  $x$  e  $y$  *no se refieren a dos ejes diferentes*, sino que únicamente indican si la corriente que representan es un flujo inferior o superior. Así, la concentración del componente A en el flujo inferior es  $x_A$  y la del mismo componente en el flujo superior será  $y_A$  *situadas ambas sobre el mismo eje de concentraciones del componente A*.

<sup>4</sup> BAGDER, W y BANCHER, J., Introducción a la Ingeniería Química., 2da. ed., Madrid- España., McGraw Hill., 1964., Pp. 345

Por la misma razón, la concentración del componente S en el flujo inferior será  $x_S$ , y en el superior,  $y_S$ , pero las dos situadas sobre el eje de concentraciones del componente S. Un uso similar de  $x$  e  $y$  se hizo en el diagrama de entalpia-concentración que se utilizó en destilación, donde estos símbolos se referían a las concentraciones en el líquido y en el vapor, respectivamente, los dos situados sobre el eje horizontal, y *no* como coordenadas en diferentes ejes. El balance total de materia para el sistema, es:

$$L_o + V_2 = L_1 + V_1 \quad \text{Ec. 1.4.3-1}$$

Los balances de materia para los componentes A y S, son:

$$L_o(x_A)_o + V_2(y_A)_2 = L_1(x_A)_1 + V_1(y_A)_1 \quad \text{Ec. 1.4.3-2}$$

$$L_o(x_S)_o + V_2(y_S)_2 = L_1(x_S)_1 + V_1(y_S)_1 \quad \text{Ec.1.4.3-3}$$

Aun cuando puede escribirse un balance para el componente B, no es una ecuación independiente, puesto que las Ecs. 1.4.3-1, 1.4.3-2 y 1.4.3-3 con la 1.4.2-1 definen el sistema. Comparando las Ecs. 1.4.3-2 y 1.4.3-3 se observa que pueden las dos escribirse:

$$L_o x_o + V_2 y_2 = L_1 x_1 + V_1 y_1 \quad \text{Ec. 1.4.3-4}$$

En la que  $x$  es ahora la composición de un flujo inferior, con respecto al componente A o con respecto a componente S e  $y$  es la composición de un flujo superior con respecto a cada uno de los componentes. Los subíndices se refieren al número de la etapa que se considera.

Este uso doble de  $x$  e  $y$  sin subíndices da como resultado la posibilidad de un método sencillo para identificar puntos sobre el diagrama triangular. Así, el punto que tiene por coordenadas  $(x_A)_o$ ,  $(x_S)_o$  puede nombrarse sencillamente como punto  $x_o$  y el punto denominado punto  $y_2$  es el punto cuyas coordenadas son  $(y_A)_2$ ,  $(y_S)_2$ .

“Consideremos la mezcla de dos corrientes P y Q (figura 1.4.3-2) que forman una sola corriente N. Sea P una corriente de flujo superior; por lo tanto, sus composiciones se representarán por  $y$ . Sea Q un flujo inferior; sus composiciones se representarán por  $x$ . La mezcla N no es ni flujo superior ni inferior, pero puede utilizarse arbitrariamente el símbolo  $x$  para representar su composición. P, Q y N deben estar situados sobre la misma línea recta y la relación  $PN/NQ$  debe ser la misma que la relación de la cantidad de la corriente Q a la cantidad de la corriente P”.<sup>5</sup>

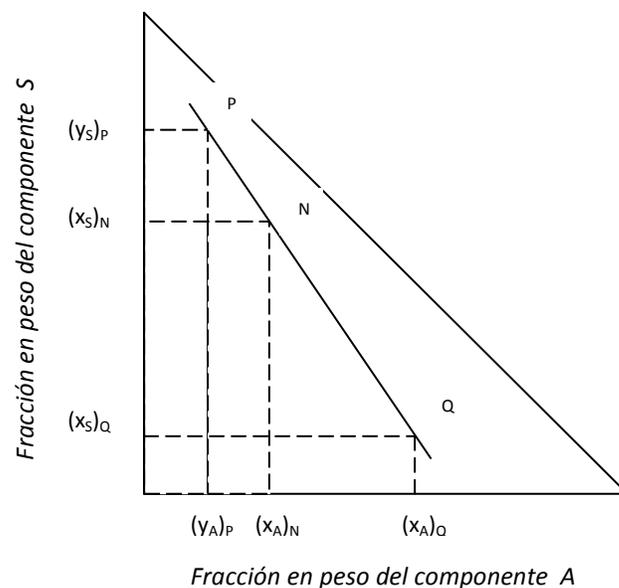


Fig. 1.4.3-2 Construcción del diagrama triangular para la mezcla de dos corrientes

<sup>3</sup> BAGDER, W y BANCHER, J., Introducción a la Ingeniería Química., 2da. ed., Madrid- España., McGraw Hill., 1964., Pp. 353

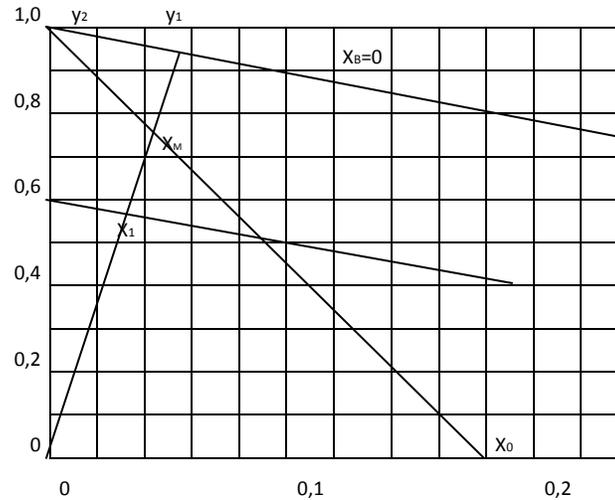


Fig. 1.4.3-3 Sección del diagrama triangular a escala ampliada

La figura 1.4.3-3 representa una sección a mayor escala del diagrama triangular que se utilizará para ilustrar la aplicación de las generalizaciones anteriores a un caso determinado. Supóngase que la alimentación de materia al sistema (corriente  $L_o$ ) es una mezcla de los componentes A y B que contiene 0,18, fracción en peso, de componente A. La composición de esta corriente está situada en el diagrama en el punto  $x_o$ , cuyas coordenadas, de acuerdo con la nomenclatura indicada anteriormente, son  $(x_A)_o$  y  $(x_S)_o$ . Si el disolvente (corriente  $V_2$ ) es de componente S puro, su composición estará representada por el punto  $y_2$ , o un punto cuyas coordenadas son  $(y_A)_2$ ,  $(y_S)_2$  sobre el diagrama. Sea:

$$M = L_o + V_2 = L_1 + V_1 \quad \text{Ec. 1.4.3-5}$$

$$M(x_A)_M = L_o(x_A)_o + V_2(y_A)_2 = L_1(x_A)_1 + V_1(y_A)_1 \quad \text{Ec. 1.4.3-6}$$

$$M(x_S)_M = L_o(x_S)_o + V_2(y_S)_2 = L_1(x_S)_1 + V_1(y_S)_1 \quad \text{Ec. 1.4.3-7}$$

Y el punto M debe estar situado en la recta que une los puntos  $x_o$  e  $y_2$ . Además, si se emplean 3kg de disolvente (corriente  $V_2$ ) por kg de alimentación (corriente  $L_o$ ), el punto  $x_M$  debe estar situado sobre la recta que une los puntos  $x_o$  e  $y_2$  a una distancia tal que se verifique:

$$\frac{(x_A)_M - (x_A)_o}{(y_A)_2 - (x_A)_M} = \frac{(x_S)_M - (x_S)_o}{(y_S)_2 - (x_S)_M} = \frac{3}{1}$$

De acuerdo con las Ecs. 1.4.3-5, 1.4.3-6 y 1.4.3-7 el punto  $x_M$  debe estar situado también en la recta que une los puntos  $x_1$  e  $y_1$ . Pero en este punto del cálculo no se conocen ni el punto  $x_1$  ni el  $y_1$ . Si la etapa es ideal, entonces disponemos de la información adicional, de que cualquiera que sea la solución retenida por el sólido tiene la misma composición que la solución que sale en el flujo superior ( $y_1$ ), pero esto no localiza al punto ( $x_1$ ). Si el componente A se disuelve completamente (suponiendo que se tiene tiempo suficiente, con agitación adecuada) y la solución que resulta no es saturada, entonces la corriente del flujo inferior puede considerarse como formada por una mezcla de sólido no disuelto (componente B) representado por el origen, puesto que su composición con respecto a los componentes A y S es cero y de solución de composición  $[(y_A)_1, (y_S)_1]$ . El punto  $x_1$  debe por tanto estar situado en la recta que une el origen con el punto  $y_1$ . Además, como el punto  $x_M$  está situado sobre la recta que une los puntos  $x_1$  e  $y_1$ , se deduce que el origen y los puntos,  $x_1$ ,  $x_M$  e  $y_1$  deben estar situados sobre la misma recta.. Este hecho puede utilizarse para localizar el punto  $y_1$  determinando la intersección de la recta que pasa por el origen y el punto  $x_M$  con la hipotenusa (que es el lugar de todas las composiciones de los flujos superiores si no existe arrastre de sólido por estas corrientes). A pesar de que

sabemos que el punto  $x_1$  está situado sobre la misma línea (la recta que pasa por el origen y el punto  $x_M$ ) su situación sobre esta línea queda aún indeterminada.

#### **1.4.4 LUGAR GEOMÉTRICO DE LAS COMPOSICIONES DE LOS FLUJOS INFERIORES**

Es necesario conocer o poder estimar la cantidad de solución retenida por kilogramo de sólidos no disueltos en los flujos inferiores. Supongamos que son 1,5 kg. El lugar geométrico de todas las mezclas con B de soluciones de A y S en esta relación de 1,5 es una línea recta paralela a la hipotenusa del triángulo y que corta al lado vertical en  $x_S = 0,6000^*$ . El punto  $x_1$  debe estar situado sobre la misma línea, por lo que se localiza por la intersección de la recta que pasa por el origen y el punto  $x_M$  con la recta que representa el lugar geométrico de las composiciones del flujo inferior.

En la construcción gráfica descrita, la etapa ideal está representada por una línea recta que pasa por el origen y une los puntos  $x_1$  e  $y_1$ . Esta línea es equivalente a las rectas de reparto o de equilibrio empleadas en el diagrama entalpia-concentración en destilación.

La restricción de que todo el soluto está disuelto no es necesaria en este método. Sin embargo, si el soluto no está completamente disuelto, debe disponerse de información adicional sobre las características de operación del sistema, tales como fracción total del soluto presente que será disuelta. De la misma forma, si la corriente de flujo superior contiene algo de sólido arrastrado (componente B), la solución gráfica puede modificarse

teniendo esto en cuenta, a condición de que sea conocida o pueda estimarse la relación de sólido arrastrado a la solución clara.

Por lo visto en el párrafo anterior, la cantidad de solución retenida por los sólidos no disueltos, determina el lugar de las composiciones del flujo inferior. El caso más general se presenta cuando la cantidad de solución retenida por kg de sólidos no disueltos varía y es función de la composición de la solución. Esta situación se puede presentar cuando la concentración de soluto en la solución varía ampliamente y alcanza valores altos, de tal forma que las propiedades físicas de la solución, especialmente la viscosidad, varían apreciablemente. En este caso, el lugar de las composiciones de flujo inferior no será una línea recta sino una curva cuya forma variará con el sistema que se extrae, con el equipo de extracción y con las condiciones de operación. Esta información no puede calcularse, sino que debe obtenerse experimentalmente.

Si se dispone de datos sobre la cantidad de solución retenida por kg de sólidos no disueltos, pueden calcularse u obtenerse gráficamente las coordenadas de los puntos en el lugar geométrico de las composiciones de flujos inferiores.

\* Esto puede comprobarse como sigue: Sean  $p$  kg de solución retenida por kg de sólido inerte  $B$ . Entonces:

$L_i(x_B)_i$  = sólido inerte en la corriente  $L$ , (que puede ser una corriente cualquiera de flujo inferior), kg

$L_i[1 - (x_B)_i]$  = solución retenida en la corriente  $L_i$ , kg

$$p = \frac{1 - (x_B)_i}{(x_B)_i} \quad \text{ó} \quad (x_B)_i = \frac{1}{1 + p} = \text{constante}$$

Puesto que  $(x_B)_i$  es constante, el lugar geométrico de todos los flujos inferiores debe ser una línea paralela a la hipotenusa del triángulo. Además, si consideramos el caso de una solución que no contiene soluto A, entonces:

$$\begin{aligned} x_A &= 0 & x_B + x_S &= 1 \\ x_S &= 1 - x_B = 1 - \frac{1}{1 + p} = \frac{p}{p + 1} \end{aligned}$$

# CAPÍTULO II

## PARTE

## EXPERIMENTAL

## 2 PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 ANÁLISIS DE CAMPO

#### 2.1.1 MUESTREO

Se considera como universo a la ciudad de Pelileo, sector Pelileo Grande para la selección de los sambos. Para tomar las muestras se realiza un muestreo simple al azar, permitiéndonos conseguir todas las características del universo. Cada prueba tomada es sometida a una inspección visual para determinar sus características organolépticas que nos garantizarán la optimización del proceso y por ende nos orientarán hacia la construcción del equipo. De igual forma se realiza el muestreo y la inspección visual para los zapallos pero en esta ocasión tomamos las muestras del Mercado Feria Libre de La Ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas que será nuestro universo.

Tabla 2.1.1-1

#### Recolección de muestras

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de muestra</b>	<b>Número de repeticiones</b>	<b>Cantidad de muestra (kg)</b>	<b>Lugar de muestreo</b>
Sb <sub>1T</sub>	Sambo Tierno	2	1	Pelileo
Zp <sub>1T</sub>	Zapallo Tierno	2	1	Santo Domingo
Sb <sub>2S</sub>	Sambo Seco	2	1	Pelileo
Zp <sub>2S</sub>	Zapallo Seco	2	1	Santo Domingo
Sb <sub>3M</sub>	Sambo Maduro	2	1	Pelileo
Zp <sub>3M</sub>	Zapallo Maduro	2	1	Santo Domingo

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

## **2.1.2 TÉCNICAS UTILIZADAS**

### **2.1.2.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE HUMEDAD**

**Objeto.** Establecer el método de ensayo para la determinación de la cantidad de agua presente en las muestras de las semillas de sambo y zapallo.

**Lugar.** Laboratorio

**Materiales y Equipos.** Los materiales y equipos usados en la práctica son:

- ✓ Balanza capacidad  $500 \pm 0,01\text{g}$ .
- ✓ Estufa o lámpara infrarroja, para secar la muestra.
- ✓ Recipientes para pesar la muestra.
- ✓ Rodillo para romper la muestra

#### **Procedimiento**

- ✓ Si es necesario primero se tritura y homogeniza la muestra.
- ✓ Pesar una cantidad de muestra (50 g) sobre un recipiente adecuando previamente tarado y anotar su peso como  $P_1$ .
- ✓ Colocar en la estufa aproximadamente  $110^\circ\text{C}$  o en la lámpara de rayos infrarrojos por 10 minutos, hasta peso constante, pesar nuevamente identificando su peso como  $P_2$ .

**Cálculo.** La humedad de la muestra expresada en porcentaje se calcula con la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{\text{masa húmeda} - \text{masa seca}}{\text{masa húmeda}} \times 100$$

$$\% H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \qquad \text{Ec. 2.1.2.1-1}$$

### 2.1.2.2 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE ACEITE

**Objeto.** Establecer el método de ensayo para la determinación de la cantidad de aceite presente en las muestras de semillas de sambo y zapallo.

**Fundamento.** La técnica utilizada para la obtención del aceite de las semillas de sambo y zapallo es la determinación de grasa por medio de la utilización del equipo soxhlet.

En esta práctica, se asume que el extracto etéreo, obtenido por extracción soxhlet corresponde al contenido graso de la muestra.

**Lugar.** Laboratorio

**Materiales.** Los materiales utilizados en la práctica son:

- ✓ 2 Equipos soxhlet completos de tres piezas
- ✓ 8 mangueras
- ✓ 2 reverberos
- ✓ Mortero

- ✓ 2 soportes universales
- ✓ Papel filtro

**Reactivos.** El reactivo utilizado es el Hexano.

**Procedimiento.** Los pasos a seguir en esta práctica son:

- ✓ Lavar y preparar los equipos a utilizar.
- ✓ Doblar los papeles filtros en forma de canastillas y pesarlos debidamente.
- ✓ En la balanza pesar 10, 20, 30, 40 gramos de muestra seca y colocarla en las canastillas de papel. filtro, selladas posteriormente con grapas.
- ✓ Introducir las canastillas que contienen la muestra a la cámara de sifonación.
- ✓ En el balón previamente tarado adicionar 200ml del disolvente a utilizarse, o la cantidad adecuada de disolvente dependiendo del tamaño del equipo soxhlet.
- ✓ Embonar la cámara de sifonación al balón.
- ✓ Colocar el condensador con las mangueras sobre la cámara de sifonación.
- ✓ Encender el reverbero y controlar la entrada y salida de agua.
- ✓ Extraer el aceite por un periodo de 6 a 8 horas (o hasta que el disolvente retome sus características iniciales).
- ✓ Una vez finalizado el periodo retirar el balón que contiene el solvente más el aceite.
- ✓ Separar el solvente del aceite mediante evaporación, aprovechando el punto de ebullición del hexano, por supuesto, menor al del aceite.
- ✓ Finalmente determinar la cantidad de aceite obtenido.

**Cálculo.** La cantidad de aceite expresada en porcentaje se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{\text{masa balón con aceite} - \text{masa balón}}{\text{masa de la muestra seca}} \times 100 \quad \text{Ec. 2.1.2.2-1}$$

## 2.1.3 DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS

### 2.1.3.1 DATOS DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LAS SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO

Tabla 2.1.3.1-1

Determinación del porcentaje de humedad de las semillas de sambo

Muestra 1	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)			Humedad (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
Sb <sub>1T</sub>	50	46,34	46,38	46,47	7,31	7,23	7,06
Sb <sub>1S</sub>	50	48,07	47,51	48,38	3,85	4,97	3,24
Sb <sub>1M</sub>	50	47,92	47,49	47,53	4,15	5,01	4,93
Muestra 2	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)			Humedad (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
Sb <sub>2T</sub>	50	46,31	46,39	46,43	7,37	7,21	7,13
Sb <sub>2S</sub>	50	48,15	48,22	48,31	3,69	3,56	3,38
Sb <sub>2M</sub>	50	47,51	46,54	47,56	4,98	6,92	4,88

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

Tabla 2.1.3.1-2

Determinación del porcentaje de humedad de las semillas de zapallo

Muestra 1	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)			Humedad (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
Zp <sub>1T</sub>	50	45,88	46,07	46,18	8,24	7,86	7,63
Zp <sub>1S</sub>	50	46,07	46,09	46,10	7,85	7,82	7,80
Zp <sub>1M</sub>	50	45,97	46,00	46,07	8,05	7,99	7,85
Muestra 2	Masa Húmeda (g)	Masa Seca (g)			Humedad (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
Zp <sub>2T</sub>	50	45,81	45,95	46,02	8,37	8,10	7,95
Zp <sub>2S</sub>	50	46,01	46,17	46,21	7,98	7,66	7,58
Zp <sub>2M</sub>	50	46,04	46,06	46,16	7,91	7,87	7,68

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

### 2.1.3.2 DATOS DEL PORCENTAJE DE ACEITE PRESENTE EN LA SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO

Tabla 2.1.3.2-1

Datos Iniciales

<b>Cantidad de muestra seca (g)</b>	10, 20, 30, 40
<b>Cantidad de solvente (ml)</b>	200
<b>Punto de ebullición del hexano (C)</b>	68,85 – 69
<b>Tiempo de extracción (h)</b>	6-8

### 2.1.3.2.1 CANTIDAD DE ACEITE OBTENIDO

Tabla 2.1.3.2.1-1

Determinación de la cantidad de aceite presente en las semillas de sambo

N°	Muestra seca (g)	Masa Balón (g)	Masa balón con aceite (g)			Aceite obtenido (g)		
			Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	10	7,7	10,87	10,70	10,84	3,17	3,00	3,14
2	10	7,9	11,11	11,08	10,99	3,21	3,18	3,09
3	20	7,7	13,97	13,96	13,62	6,27	6,26	5,92
4	20	7,4	13,39	13,54	13,26	5,99	6,14	5,86
5	30	7,6	16,67	16,57	16,04	9,07	8,97	8,44
6	30	7,2	17,03	15,92	16,31	9,83	8,72	9,11
7	40	7,6	19,71	19,05	19,96	12,11	11,45	12,36
8	40	7,7	19,96	19,80	19,55	12,26	12,10	11,85

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

Tabla 2.1.3.2.1-2

Determinación de la cantidad de aceite presente en las semillas de zapallo

N°	Muestra seca (g)	Masa Balón (g)	Masa balón con aceite (g)			Aceite obtenido (g)		
			Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	10	7,3	11,78	11,49	11,55	4,48	4,19	4,25
2	10	8,1	12,00	12,13	12,49	3,90	4,03	4,39
3	20	7,7	17,06	16,82	16,98	9,36	9,12	9,28
4	20	7,6	16,98	16,76	16,60	9,38	9,16	9,00
5	30	7,9	21,95	21,89	22,04	14,05	13,99	14,14
6	30	7,1	21,07	21,69	21,07	13,97	14,59	13,97
7	40	7,7	25,62	26,37	25,72	17,92	18,67	18,02
8	40	7,5	25,64	25,83	25,36	18,14	18,33	17,86

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

### 2.1.3.2.2 RENDIMIENTO DEL ACEITE OBTENIDO

Tabla 2.1.3.2.2-1

Determinación del rendimiento del aceite de las semillas de sambo

N°	Muestra seca (g)	Aceite Obtenido (g)			Rendimiento (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	10	3,17	3,00	3,14	31,70	30,00	31,40
2	10	3,21	3,18	3,09	32,10	31,80	30,90
3	20	6,27	6,26	5,92	31,35	31,30	29,60
4	20	5,99	6,14	5,86	29,95	30,70	29,30
5	30	9,07	8,97	8,44	30,23	29,90	28,13
6	30	9,83	8,72	9,11	32,77	29,07	30,37
7	40	12,11	11,45	12,36	30,28	28,63	30,90
8	40	12,26	12,10	11,85	30,65	30,25	29,63
<b>Promedio Parcial</b>					<b>31,13</b>	<b>30,21</b>	<b>30,03</b>
<b>Promedio Total</b>					<b>30,45</b>		

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

Tabla 2.1.3.2.2-2

Determinación del rendimiento del aceite de las semillas de zapallo

N°	Muestra seca (g)	Aceite Obtenido (g)			Rendimiento (%)		
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 1	Día 2	Día 3
1	10	4,48	4,19	4,25	44,80	41,90	42,50
2	10	3,90	4,03	4,39	39,00	40,30	43,90
3	20	9,36	9,12	9,28	46,80	45,60	46,40
4	20	9,38	9,16	9,00	46,90	45,80	45,00
5	30	14,05	13,99	14,14	46,83	46,63	47,13
6	30	13,97	14,59	13,97	46,57	48,63	46,57
7	40	17,92	18,67	18,02	44,80	46,68	45,05
8	40	18,14	18,33	17,86	45,35	45,83	44,65
<b>Promedio Parcial</b>					<b>45,13</b>	<b>45,17</b>	<b>45,15</b>
<b>Promedio Total</b>					<b>45,15</b>		

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

## 2.1.4 MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO

### 2.1.4.1 VARIABLES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE SAMBO

Tabla 2.1.4.1-1

VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE SAMBO

CONDICIÓN (muestra)	PESO MUESTRA (g)	CANTIDAD DE SOLVENTE (ml)	RENDIMIENTO DE ACEITE (%)
Seca	10	200	31,31
Seca	20	200	30,37
Seca	30	200	30,08
Seca	40	200	30,06

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

### 2.1.4.2 VARIABLES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE ZAPALLO

Tabla 2.1.4.2-1

VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLAS DE ZAPALLO

CONDICIÓN (muestra)	PESO MUESTRA (g)	CANTIDAD DE SOLVENTE (ml)	RENDIMIENTO DE ACEITE (%)
Seca	10	200	42,07
Seca	20	200	46,08
Seca	30	200	47,06
Seca	40	200	45,39

Fuente: Datos experimentales de Laboratorio

Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

En forma clara se determina que las variables críticas y de control en ambos procesos son la cantidad de muestra (peso) y el flujo de vapor que permitirá alcanzar rápidamente la temperatura deseada. Otra variable no crítica pero existente es la cantidad de solvente la misma que dependerá del tamaño del recipiente que lo contiene y de la cantidad de muestra.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y  
RESULTADOS

## **3 CÁLCULOS Y RESULTADOS**

### **3.1 CÁLCULOS. DISEÑO DE INGENIERÍA**

El diseño de ingeniería nos permite diseñar un equipo a partir de datos obtenidos en el laboratorio y comprobar si tiene sentido el seguir el lineamiento preestablecido o buscar otro que reemplace al anterior para obtener mejores resultados; nos permite observar la evolución del proceso en sus diferentes etapas, comprobar si este cumple con los objetivos planteados y determinar si la estructura, el material o los métodos de análisis escogidos son los más idóneos para el proceso.

#### **3.1.1 CÁLCULOS TÉCNICOS DEL EQUIPO**

##### **3.1.1.1 DISEÑO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN (EVAPORADOR)**

###### **3.1.1.1.1 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN**

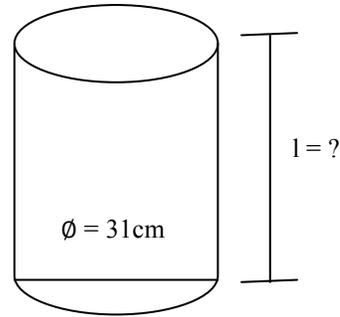
Al realizar las pruebas del laboratorio se evidencia que la cantidad de solvente utilizado en la extracción puede ser considerado constante ya que recircula durante el proceso con pérdidas imperceptibles.

Con el fin de diseñar un equipo a escala industrial se decide considerar un volumen de 17,5 L de solvente y además se asume un diámetro del tanque de ebullición de 31 cm para darle el espacio necesario a la resistencia que será utilizada como fuente de calor ya que mide 29 cm de longitud.

**Datos:**

$$V = 17,5L = 17\,500 \text{ cm}^3$$

$$\varnothing = 31 \text{ cm}$$



$$V = \frac{\pi \times \varnothing^2 \times l}{4} \quad \text{Ec. 3.1.1.1.1-1}$$

$$l = \frac{V \times 4}{\pi \times \varnothing^2}$$

$$l = \frac{17\,500 \times 4}{\pi \times (31)^2}$$

$$l = 23,2 \text{ cm}$$

La altura mínima para el volumen requerido es de 23,2 cm pero como debemos considerar la agitación de las moléculas del solvente al ebullicionar y el aumento de volumen generado por la extracción del aceite, se decide, sobredimensionar la altura y considerando que el gasto no es excesivo al aumentar esta medida se construye el tanque con una altura de 35 cm. Para la construcción del extractor se utilizará acero inoxidable AISI 304 de 2mm de espesor recomendado para equipos que estarán en contacto con alimentos (Ver anexo III).

### 3.1.1.1.2 DISEÑO TÉRMICO DEL TANQUE DE EBULLICIÓN

Se dispone de una resistencia de 6000 W por lo tanto el tiempo de generación de vapor de la masa de hexano es:

**Datos:**

$$V = 17,5 \text{ L} = 17\,500 \text{ cm}^3$$

$$\delta = 0,66 \text{ g/cm}^3$$

Según la tabla de Propiedades de líquidos (Anexo V) se obtiene los siguientes datos de entalpía:

$$h_{\text{He}14^\circ\text{C}} = 274 \text{ kJ/kg} = 274\,000 \text{ J/kg}$$

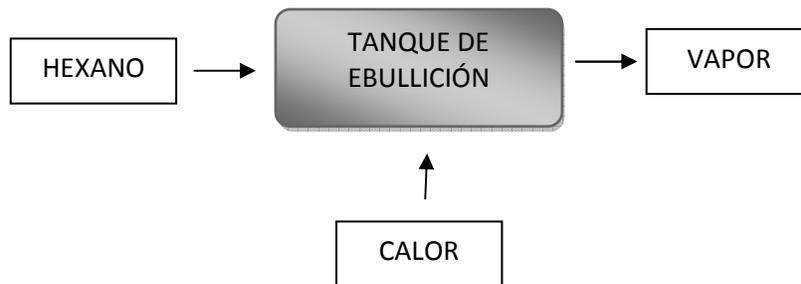
$$h_{\text{He}68^\circ\text{C}} = 337 \text{ kJ/kg} = 337\,000 \text{ J/kg}$$

$$m = \delta \times V$$

$$m = 0,66 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 17\,500 \text{ cm}^3$$

$$m = 11\,550 \text{ g}$$

$$m = 11,55 \text{ kg}$$



$$Q_{entra} = Q_{sale} \quad \text{Ec. 3.1.1.1.2-1}$$

$$q + m_{\text{He}} \times h_{\text{He}14^\circ\text{C}} = m_{\text{He}} \times h_{\text{He}69^\circ\text{C}} \quad \text{Ec. 3.1.1.1.2-2}$$

$$6\,000 \text{ W} + \frac{11,55 \text{ kg}}{t} \times 274\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = \frac{11,55 \text{ kg}}{t} \times 337\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$6\,000 \text{ W} = \frac{11,55 \text{ kg}}{t} \times 337\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} - \frac{11,55 \text{ kg}}{t} \times 274\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$6\,000 \frac{J}{s} = 727\,650 \frac{J}{t}$$

$$t = \frac{727\,650 J}{6\,000 \frac{J}{s}}$$

$$t = 121,275 s$$

$$t = 0,034 h = 2,04 min$$

**a) Masa de vapor generado**

$$\dot{m} = \frac{m}{t}$$

Ec. 3.1.1.1.2-3

$$\dot{m} = \frac{11,55 kg}{121,275 s}$$

$$\dot{m} = 0,095 kg/s$$

$$\dot{m} = 342 kg/h$$

### **3.1.1.2 DISEÑO DEL EXTRACTOR (CAMISA)**

#### **3.1.1.2.1 DIMENSIONAMIENTO DEL EXTRACTOR**

Para el diseño de la camisa se toma en consideración el volumen de solvente que fue nuestro punto de partida en el diseño del tanque de ebullición ya que éste será el volumen que ingrese al extractor y recircule constantemente.

Además con el fin de lograr un diseño estético del equipo se decide considerar para el extractor un diámetro de 24 cm.

**Datos:**

$$V = 17,5L = 17\,500\text{cm}^3$$

$$\emptyset = 24\text{cm}$$

$$V = \frac{\pi \times \emptyset^2 \times l}{4} \quad \text{Según Ec. 3.1.1.1.1-1}$$

$$l = \frac{4 \times V}{\pi \times \emptyset^2}$$

$$l = \frac{4 \times 17\,500 \text{ cm}^3}{\pi \times (24 \text{ cm})^2}$$

$$l = 38,7 \text{ cm}$$

A esta altura comienza la recirculación del solvente sin embargo se decide construir el extractor con una altura de 50 cm para dar cabida a la apertura del ingreso del vapor de hexano que pasará hacia el condensador.

### **3.1.1.3 DISEÑO DE LA CANASTILLA (CANASTA TAMIZ)**

#### **3.1.1.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA CANASTA TAMIZ**

La canastilla será instalada dentro de la camisa con el fin de que contenga la muestra seca y no recircule con la solución de extracción, cumple la función de papel filtro.

Debido a que la canastilla será colocada dentro de la camisa se toma en consideración las dimensiones de la misma para su construcción.

El diámetro que permite la camisa es de 236mm pero considerando que la canastilla debe entrar y salir con facilidad se dispone de 2mm a cada lado entre la pared de la camisa y la pared de la canastilla para permitir su fácil manipulación, por lo tanto:

**Datos:**

$$\phi_{i\ cam} = 236\ mm$$

$$d_{cam-can} = 2\ (2\ mm)$$

$$\phi_{0\ can} = \phi_{i\ cam} - d_{cam-can} \quad \text{Ec. 3.1.1.3-1}$$

$$\phi_{0\ can} = 236 - 4$$

$$\phi_{0\ can} = 232\ mm$$

Este será el diámetro de la canastilla y será construida en acero inoxidable AISI 304 de 1mm de espesor.

$$\phi_{i\ can} = 232 - 2 = 230\ mm$$

Considerando el diámetro de la canastilla, la mejor disposición de la misma dentro de la camisa y la altura de recirculación de la solución extraída, se decide construir una canastilla de 32 cm de alto.

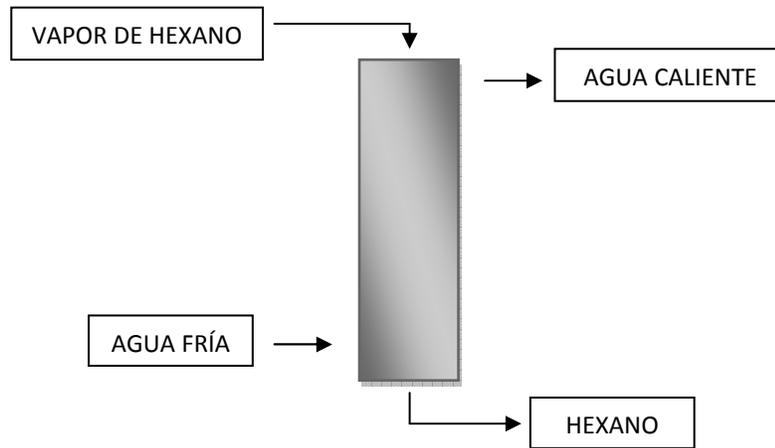
#### **3.1.1.4 DISEÑO DEL CONDENSADOR**

Con el objetivo de que el equipo sea proporcional se construye un condensador con las siguientes dimensiones:

$$h = 39\ cm$$

$$\phi = 16\ cm$$

### 3.1.1.4.1 BALANCE TÉRMICO DEL CONDENSADOR



$$E_{entra} = E_{sale} \quad \text{Ec. 3.1.1.4.1-1}$$

$$m_{H_2O} \times h_{H_2O 19^\circ C} + m_{He} \times h_{He 69^\circ C} = m_{H_2O} \times h_{H_2O 30^\circ C} + m_{He} \times h_{He 14^\circ C}$$

$$m_{H_2O} \times 79,77 \frac{kJ}{kg} + \left(342 \frac{kg}{h}\right) \times \left(337 \frac{kJ}{kg}\right) = m_{H_2O} \times \left(125,78 \frac{kJ}{kg}\right) + \left(342 \frac{kg}{h}\right) \times \left(298,23 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$79,77 \frac{kJ}{kg} \times m_{H_2O} + 115\,254 \frac{kJ}{h} = 125,78 \frac{kJ}{kg} \times m_{H_2O} + 101\,994,66 \frac{kJ}{h}$$

$$79,77 \frac{kJ}{kg} \times m_{H_2O} - 125,78 \frac{kJ}{kg} \times m_{H_2O} = 101\,994,66 \frac{kJ}{h} - 115\,254 \frac{kJ}{h}$$

$$- 46,01 \frac{kJ}{kg} \times m_{H_2O} = - 13\,259,34 \frac{kJ}{h}$$

$$m_{H_2O} = \frac{- 13\,259,34 \frac{kJ}{h}}{- 46,01 \frac{kJ}{kg}}$$

$$m_{H_2O} = 288 \frac{kg}{h}$$

**a) Flujo volumétrico del agua que ingresa al condensador**

$$\delta = 998,35 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\delta} \quad \text{Ec. 3.1.1.4.1-2}$$

$$\dot{V} = \frac{288 \frac{kg}{h}}{998,35 \frac{kg}{m^3}}$$

$$\dot{V} = 0,288 \frac{m^3}{h}$$

**b) Determinación del número de espirales**

En el condensador se encuentra un espiral de cobre escogido por su buena conductividad de calor, a través del cual fluye el vapor de hexano, esta espiral posee un diámetro de 10 cm.

**Datos:**

$$k_{CU} = 52 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$\phi_s = 10 \text{ cm}$$

$$q = UA\theta \quad \text{Ec. 3.1.1.4.1-3}$$

$$U = \frac{1}{\sum R_T} \quad \text{Ec. 3.1.1.4.1-4}$$

$$L = \pi \times \phi_s \times N \quad \text{Ec. 3.1.1.4.1-5}$$

$$A = \pi \times \phi_T \times L \quad \text{Ec. 3.1.1.4.1-6}$$

$$R_T = \frac{\ln\left(\frac{\phi_o}{\phi_i}\right)}{2 \pi k L}$$

$$R_T = \frac{\ln\left(\frac{8,35}{6,35}\right)}{2 \pi k \pi x \phi_s x N}$$

$$R_T = \frac{\ln\left(\frac{8,35}{6,35}\right)}{2 \pi (52) \pi x (0,1) x N}$$

$$R_T = \frac{2,67 x 10^{-3}}{N}$$

$$U = \frac{1}{\frac{2,67 x 10^{-3}}{N}}$$

$$U = 374,53 N$$

$$q = m_{He} x h_{He 69^\circ C} - m_{He} x h_{He 14^\circ C}$$

$$q = \left(342 \frac{kg}{h}\right) x \left(337 \frac{kJ}{kg}\right) - \left(342 \frac{kg}{h}\right) x \left(298,23 \frac{kJ}{kg}\right)$$

$$q = 13 259,34 \frac{kJ}{h}$$

$$q = 3683,15 W$$

$$\Delta T = T' - T_s \quad (2,8 \text{ a } 5,6^\circ C)$$

$$T' = \Delta T + T_s$$

$$T' = 34^\circ C$$

$$\theta = \frac{T_s - T_e}{\ln \frac{T' - T_e}{T' - T_s}}$$

$$\theta = \frac{30 - 19}{\ln \frac{34 - 19}{34 - 30}}$$

$$\theta = 8,32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{q}{U\theta}$$

$$A = \frac{3683,15}{374,53 \text{ N } (8,32)}$$

$$A = 1,18 \text{ m}^2$$

$$L = \pi \times 0,1 \times N$$

$$L = 0,31 \text{ N}$$

$$A = \pi \times \phi_r \times L$$

$$A = \pi \times (8,35 \times 10^{-3}) \times (0,31 \text{ N})$$

$$A = 8,13 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\frac{1,18}{\text{N}} = 8,13 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$N^2 = 145,14$$

$$N = 12$$

### 3.1.1.5 DISEÑO DE LA CISTERNA (RESERVORIO DEL REFRIGERANTE)

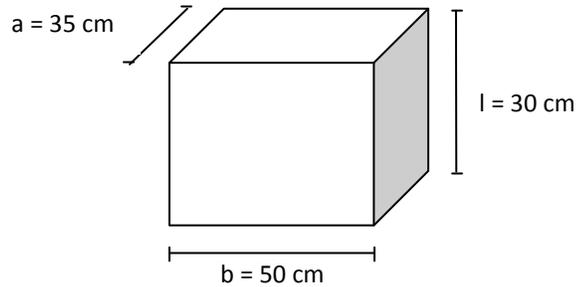
La cisterna va a contener el agua que circulará por la cámara de enfriamiento y tendrá las siguientes dimensiones:

**Datos:**

$$a = 35 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$l = 30 \text{ cm}$$



Por lo tanto la cisterna contendrá un volumen de agua de:

$$V = a \times b \times l$$

$$V = 35 \times 50 \times 30$$

$$V = 52\,500 \text{ cm}^3$$

$$V = 52,5 \text{ L}$$

Se dispondrá de una bomba de succión de 0,5 HP.

### 3.1.2 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD O RENDIMIENTO

Para determinar el rendimiento es necesario realizar un balance de materia en base a las condiciones del equipo diseñado que permita conocer el rendimiento de aceite obtenido.

El equipo, según el diseño, acepta una masa máxima de sólido por lixiviar (pepas) de 9 kg y una masa máxima de solvente (hexano) de 11,55 kg. Como definimos en el diseño de la camisa esta acepta una capacidad máxima de 17,5 L (11,55 kg), es decir, que siempre en la camisa deberá existir una masa de 11,55 kg entre el sólido por lixiviar y el solvente. Por lo tanto si aumentamos la masa de pepas, disminuimos la masa de hexano o viceversa.

**a) BALANCE DE MASA PARA EL SAMBO**

**Datos:**

Sólido por lixiviar (pepas de sambo) = 9 kg

Solvente (hexano) = 11,55 kg - 9 kg = 2,55 kg = 3,86 L

Según prueba de laboratorio:

$$M_{\text{sólido lixiviado}} = \frac{2}{3} M_{\text{sólido por lixiviar}}$$

*Relación obtenida experimentalmente*

$$M_{\text{sólido lixiviado}} = \frac{2}{3} (9 \text{ kg})$$

$$M_{\text{sólido lixiviado}} = 6 \text{ kg}$$

**Balance:**

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

$$M_{\text{sólido por lixiviar}} + M_{\text{solvente}} = M_{\text{sólido lixiviado}} + M_{\text{solución de lixiviación}}$$

$$M_{\text{sólido por lixiviar}} + M_{\text{solvente}} = (M_{\text{sólido inerte}} + M_{\text{solvente}}) + (M_{\text{sólido}} + M_{\text{solvente}})$$

$$9 \text{ kg} + 3,86 \text{ kg} = 6 \text{ kg} + 3,86 \text{ kg} + M_{\text{sólido (aceite)}}$$

$$M_{\text{sólido (aceite)}} = 3 \text{ kg}$$

**Rendimiento:**

$$R = \frac{M_{aceite}}{M_{sólido\ por\ lixiviar}} \times 100$$

$$R = \frac{3}{9} \times 100$$

$$R = 33,3 \%$$

**b) BALANCE DE MASA PARA EL ZAPALLO**

**Datos:**

Sólido por lixiviar (pepas de sambo) = 9 kg

Solvente (hexano) = 11,55 kg - 9 kg = 2,55 kg = 3,86 L

Según prueba de laboratorio:

$$M_{sólido\ lixiviado} = \frac{1}{2} M_{sólido\ por\ lixiviar}$$

*Relación obtenida experimentalmente*

$$M_{sólido\ lixiviado} = \frac{1}{2} (9\ kg)$$

$$M_{sólido\ lixiviado} = 4,5\ kg$$

**Balance:**

$$M_{entra} = M_{sale}$$

$$M_{sólido\ por\ lixiviar} + M_{solvente} = M_{sólido\ lixiviado} + M_{solución\ de\ lixiviación}$$

$$M_{sólido\ por\ lixiviar} + M_{solvente} = (M_{sólido\ inerte} + M_{solvente}) + (M_{soluto} + M_{solvente})$$

$$9 \text{ kg} + 3,86 \text{ kg} = 4,5 \text{ kg} + 3,86 \text{ kg} + M_{\text{sólido (aceite)}}$$

$$M_{\text{sólido (aceite)}} = 4,5 \text{ kg}$$

**Rendimiento:**

$$R = \frac{M_{\text{aceite}}}{M_{\text{sólido por lixiviar}}} \times 100$$

$$R = \frac{4,5}{9} \times 100$$

$$R = 50 \%$$

### 3.1.3 CÁLCULOS DE VALIDACIÓN DEL EQUIPO

#### 3.1.3.1 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE HEXANO A UTILIZAR

$$m_{\text{camisa}} = m_{\text{sólido}} + m_{\text{solvente}}$$

$$m_{\text{solvente}} = m_{\text{camisa}} - m_{\text{sólido}}$$

$$m_{\text{solvente}} = 11,55 \text{ kg} - 2 \text{ kg}$$

$$m_{\text{solvente}} = 9,55 \text{ kg}$$

$$V_{\text{solvente}} = \frac{m_{\text{solvente}}}{\delta_{\text{solvente}}}$$

$$V_{\text{solvente}} = \frac{9,55 \text{ kg}}{0,66 \text{ kg/L}}$$

$$V_{\text{solvente}} = 14,5 \text{ L}$$

### 3.1.3.2 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE DE SAMBO Y ZAPALLO

#### CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE DE SAMBO

**Datos:**

$$P_1 = 23,3 \text{ g} \qquad \delta = \frac{m}{V} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

$$V = 15 \text{ ml} \qquad \delta = \frac{33,9 - 23,3}{15}$$

$$P_2 = 33,9 \text{ g} \qquad \delta = 0,71 \text{ g/ml}$$

**Donde:**  $P_1$  = Peso de la probeta

$P_2$  = Peso de la probeta más el aceite

$V_A$  = Volumen de aceite

#### CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL ACEITE DE ZAPALLO

**Datos:**

$$P_1 = 23,2 \text{ g} \qquad \delta = \frac{m}{V} = \frac{P_2 - P_1}{V}$$

$$V = 15 \text{ ml} \qquad \delta = \frac{34,3 - 23,2}{15}$$

$$P_2 = 34,3 \text{ g} \qquad \delta = 0,74 \text{ g/ml}$$

### 3.1.3.3 CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE ACEITE DE LAS SEMILLAS DE SAMBO Y ZAPALLO

#### CALCULO DE LA MASA DE ACEITE

$$\delta = \frac{m}{v}$$

$$m = \delta \times v$$

$$m = 0,71 \frac{g}{ml} \times 900 \text{ ml}$$

$$m = 639 \text{ g}$$

$$m = 0,639 \text{ kg}$$

#### CALCULO DEL RENDIMIENTO DE ACEITE

$$R = \frac{\text{masa de aceite obtenido}}{\text{masa de la muestra seca}} \times 100$$

$$R = \frac{0,639 \text{ kg}}{2 \text{ kg}} \times 100$$

$$R = 31,95 \%$$

### 3.1.4 TIPO DE MATERIAL DEL EQUIPO Y SU CONTROL (VARIABLES DEL PROCESO)

#### 3.1.4.1 TIPO DE MATERIAL DEL EQUIPO

El equipo será construido en su mayor parte a base de acero inoxidable A.S.T.M serie 300, que es el material más recomendable para este tipo de equipos por su alta resistencia a la corrosión en especial el AISI 304 (*American Iron and Steel Institute*), el cual es recomendado para estar en contacto con alimentos, incluso para fines médicos, este material tiene una resistencia a la rotura de 220 Mpa lo cual muestra que es adecuado para soportar este peso, estos aceros tienen en general propiedades mecánicas bajas y en consecuencia requieren espesores fuertes, además su resistencia a la abrasión es baja. Por lo tanto el espesor con el cual se construirá el reactor es de 2 mm

Tabla 3.1.3.1-1

Materiales usados en el equipo

	<b>Material</b>	<b>Espesor (mm)</b>
Camisa	acero inoxidable AISI 304	2
Tanque de ebullición	acero inoxidable AISI 304	2
Condensador	acero inoxidable AISI 304	2
Canastilla	acero inoxidable AISI 304	1
Cisterna	acero inoxidable AISI 304	1

#### 3.1.4.2 CONTROL DE VARIABLES

El equipo está diseñado y parametrizado con el objetivo de controlar las variables del procesos a fin de garantizar la estabilidad del equipo durante la extracción.

### ***Temperatura del solvente***

El hexano debe alcanzar su temperatura de ebullición (69C) y mantenerse estable a dicha temperatura, para lo cual el equipo consta de una termocupla (sensor) que envía la señal al contactor el mismo que ordena a la resistencia apagarse y prenderse para mantener la temperatura deseada estable.

### ***Flujo de vapor***

El flujo del vapor de hexano debe ser igual a 0,095 kg/s para permitir que pueda condensarse con facilidad ya que al ser volátil por naturaleza puede perderse y aun más al llegar al punto de ebullición, por lo que mediante cálculos se determina como mejor opción utilizar una resistencia de 6 000W que entrega el calor necesario para que el vapor de hexano llegue a la velocidad definida.

### ***Cantidad de muestra***

La camisa del equipo está diseñada de tal manera que contiene una canastilla que permite alimentar al proceso de extracción varias cantidades de muestra, siendo la cantidad máxima que puede contener la canastilla 9 kg, sin embargo de esta variable dependerán tanto la cantidad del solvente como el tiempo de extracción.

### 3.1.5 PRESUPUESTO REAL

#### 3.1.5.1 COSTO DE MATERIALES

Tabla 3.1.4.1-1  
Costos de los materiales usados en la construcción

Ítem	Denominación o Detalle	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
01	Plancha de acero inoxidable A.S.T.M serie 300, AISI 304	4	177,00	708,00
02	Resistencia eléctrica	1	68,00	68,00
03	Encendido y apagado	1	38,00	38,00
04	Paro de emergencia	1	45,00	45,00
05	Instalación eléctrica	1	105,00	105,00
06	Termómetro digital para tablero	1	250,00	250,00
07	Termocupla	1	36,92	36,92
08	Medidor de nivel (visor de vidrio) COMBRACO	1	97,00	97,00
09	Bomba de succión MILANO PUMPQB60	1	167,71	167,71
10	Contactador de 40 amperios GMC (D)-40 AUTO	1	98,56	98,56
11	Tornillos, tuercas, rodela	10	0,93	9,30
12	Llave de pasos ¼	3	4,58	13,74
13	Acoples de entrada y salida de agua de ½	2	6,50	13,00
14	Tubería, codos	1	5,90	5,90
15	Tapones uniones	1	3,10	3,10
16	Tubería de cobre	1	58,00	58,00
			<b>Subtotal</b>	1 717,23
			<b>IVA 12%</b>	206,07
			<b>Total</b>	1 923,30

### 3.1.5.2 COSTO DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 3.1.4.2-1  
Costos de construcción

<b>Denominación o Detalle</b>	<b>Costo (\$)</b>
Construcción del tanque de ebullición	150,00
Construcción de la camisa	200,00
Construcción de la canastilla	150,00
Construcción del condensador	250,00
Construcción de la cisterna	60,00
	<b>Subtotal</b> 810,00
	<b>IVA 12%</b> 97,20
	<b>Total</b> 907,20

### 3.1.5.3 COSTOS ADICIONALES

Tabla 3.1.4.3-1  
Costos adicionales

<b>Denominación o Detalle</b>	<b>Costo (\$)</b>
Transporte	57,00
Planos del equipo	100,00
Solvente (hexano)	155,00
Muestras (pepas de sambo y zapallo)	47,00
	<b>Subtotal</b> 359,00
	<b>IVA 12%</b> 43,08
	<b>Total</b> 402,08

### 3.1.5.4 COSTO TOTAL

CT = Costo de materiales + costo de construcción + costos adicionales

$$CT = 1\,923,30 + 907,20 + 402,08$$

$$CT = 3\,232,58$$

$$\text{Imprevistos (5\%)} = 161,63$$

$$CT = 3\,232,58 + 161,63$$

$$CT = 3\,394,21$$

## 3.2 RESULTADOS

### 3.2.1 DATOS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Los datos técnicos bajo los cuales será construido el equipo son:

#### CAMISA (EXTRACTOR)

**Material:** Acero inoxidable AISI 304 de 2mm

**Medidas externas:** *Diámetro* = 24 cm    *Altura* = 50 cm

**Medidas internas:** *Diámetro* = 23,6 cm    *Altura* = 44 cm

**Canastilla:** *Diámetro* = 23cm    *Altura* = 41,5 cm

**Medidor de nivel (visor de vidrio):** *Diámetro* = ½ pulgada    *Altura* = 30 cm

## TANQUE DE EBULLICIÓN (EVAPORACIÓN)

**Material:** Acero inoxidable AISI 304 de 2mm

**Medidas:** *Diámetro* = 31 cm      *Altura* = 35 cm

**Brida:** *Diámetro interno* = 24 cm      *Diámetro exterior* = 28,5 cm

**Resistencia:** Hierro sumergido 220 Voltios, 6000 WATTS

## CONDENSADOR

**Material:** Acero inoxidable AISI 304 de 2mm

**Diámetro interior** = 10 cm    **Altura** = 39 cm

**Diámetro exterior** = 16 cm    **Altura** = 39 cm

**Desfogue vapor** = 3,7 mm

Entrada y salida de agua ½ pulgada

Tuberías y acoples de ½ pulgada

## TANQUE CISTERNA (RESERVORIO DEL REFRIGERANTE)

**Capacidad:** 52,5 L

**Medidas:** *Ancho* = 35 cm      *Largo* = 50 cm      *Altura* = 30 cm

**Bomba de succión:** HP = 0,5    110 Voltios    5,5 amperios, 60 Hz

## TABLERO DE CONTROL

**Medidas:** *Largo* = 30 cm      *Ancho* = 30 cm      *Altura* = 15 cm

**Contactador:** GMC (D)-40 AUTO

Pirómetro digital

Sensor sumergido Tipo J Marca CAMSCO TC.72N /110 -220 Voltios /399 °C

## 3.2.2 VALIDACIÓN DEL EQUIPO

### 3.2.2.1 DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE EXTRACCIÓN

Tabla 3.2.2.1-1

Datos experimentales obtenidos en la extracción de aceite de las semillas de sambo

<b>P<sub>B</sub> (kg)</b>	<b>V<sub>S</sub> (L)</b>	<b>P<sub>BI</sub> (kg)</b>	<b>V<sub>SI</sub> (L)</b>	<b>V<sub>AS</sub> (L)</b>	<b>V<sub>A</sub> (L)</b>	<b>T (h)</b>
2	14,5	1,4	14,4	1,1	0,96	7,1
4	11,4	2,6	11,4	2,1	1,91	8,9
6	8,4	3,9	8,3	3,0	2,87	10,1

Fuente: Datos experimentales de Extracción

Autores: Diana González y Yazmín Yánez

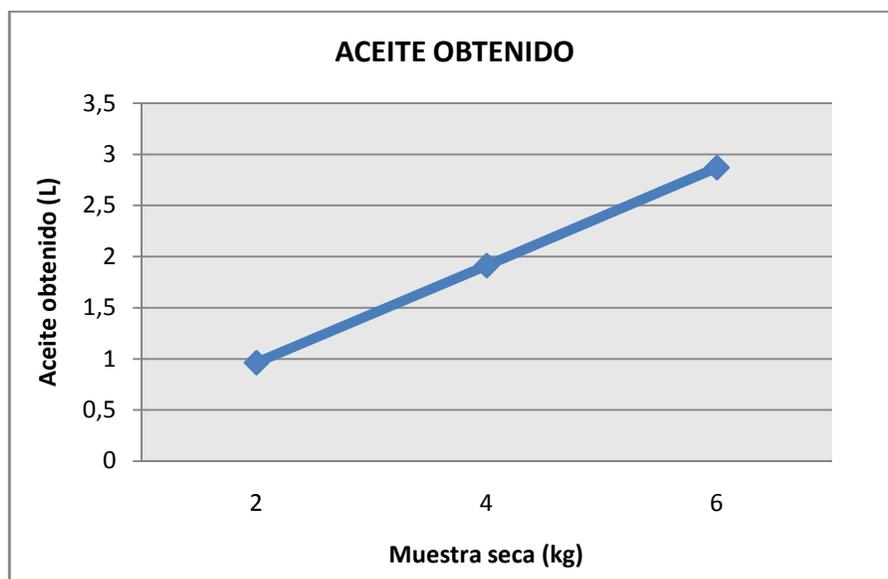


Fig. 3.2.2.1-1 Aceite de sambo obtenido en el extractor sólido-líquido



Fig. 3.2.2.1-2 Tiempo requerido para la extracción de aceite de las semillas de sambo

Tabla 3.2.2.1-2

Datos experimentales obtenidos en la extracción de aceite de las semillas de zapallo

<b>P<sub>B</sub> (kg)</b>	<b>V<sub>S</sub> (L)</b>	<b>P<sub>B1</sub> (kg)</b>	<b>V<sub>S1</sub> (L)</b>	<b>V<sub>AS</sub> (L)</b>	<b>V<sub>A</sub> (L)</b>	<b>T (h)</b>
2	14,5	1,1	14,4	1,3	1,25	6,8
4	11,4	2,1	11,2	2,8	2,53	8,3
6	8,4	3,3	8,3	3,8	3,79	9,7

Fuente: Datos experimentales de Extracción

Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

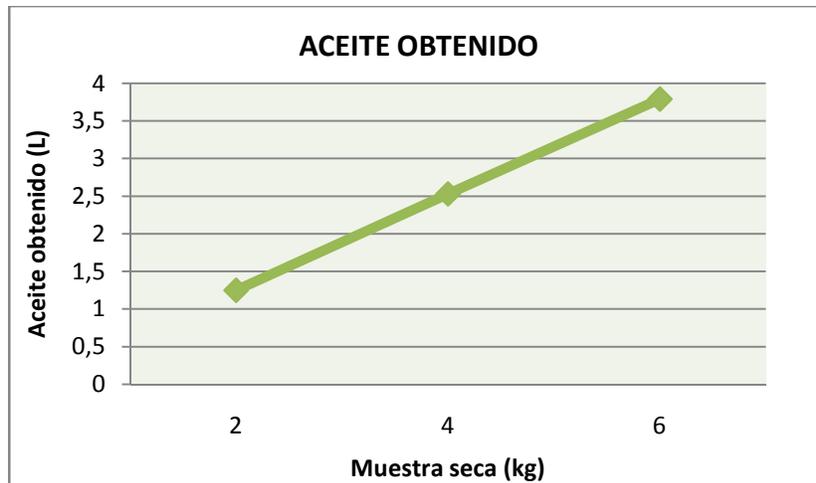


Fig. 3.2.2.1-3 Aceite de zapallo obtenido en el extractor sólido-líquido



Fig. 3.2.2.1-4 Tiempo requerido para la extracción de aceite de las semillas de zapallo

**Donde:**

$P_B$  = Peso del sólido por lixiviar

$V_S$  = Volumen del solvente

$P_{B1}$  = Peso del sólido lixiviado

$V_{S1}$  = Volumen del solvente recuperado

$V_{AS}$  = Volumen de la solución de lixiviación

$V_A$  = Volumen de aceite obtenido

$T$  = Tiempo de extracción

### 3.2.2.2 RENDIMIENTO DEL ACEITE DE SAMBO Y ZAPALLO OBTENIDO EN LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Tabla 3.2.2.2-1

Resultados de la extracción de aceite de las semillas de sambo

$P_B$ (kg)	$V_A$ (L)	$P_A$ (kg)	R (%)
2	0,96	0,682	34,08
4	1,91	1,356	33,90
6	2,87	2,038	33,96
<b>Promedio</b>			33,98

Fuente: Datos experimentales de Extracción  
Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

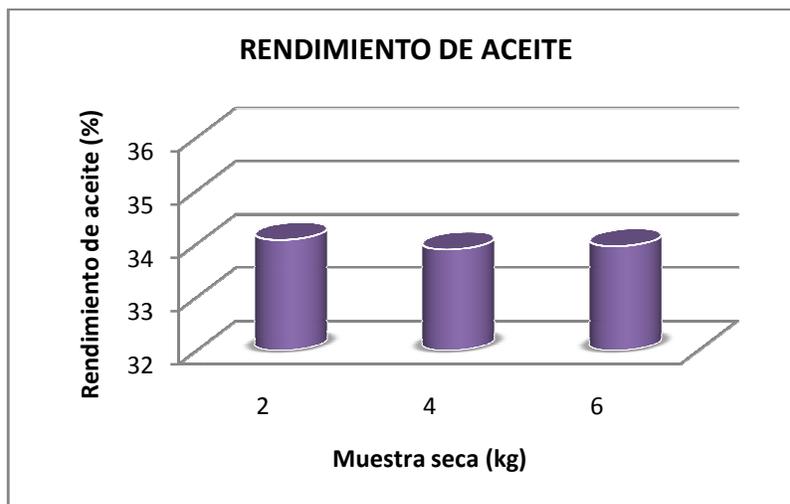


Fig. 3.2.2.2-1 Rendimiento de aceite de las semillas de sambo

Tabla 3.2.2.2-2  
Resultados de la extracción de aceite de las semillas de zapallo

<b>P<sub>B</sub> (kg)</b>	<b>V<sub>A</sub> (L)</b>	<b>P<sub>A</sub> (kg)</b>	<b>R (%)</b>
2	1,25	0,925	46,25
4	2,53	1,872	46,81
6	3,79	2,805	46,74
<b>Promedio</b>			46,60

Fuente: Datos experimentales de Extracción  
Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

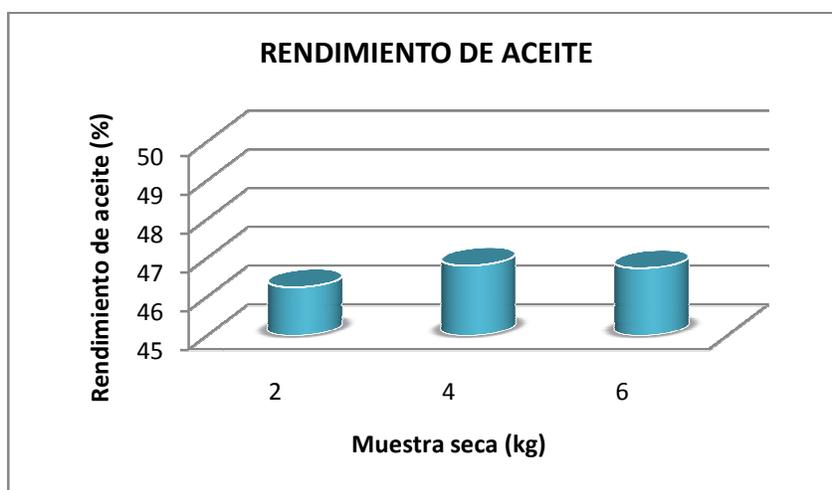


Fig. 3.2.2.2-2 Rendimiento de aceite de las semillas de zapallo

### 3.2.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES DE SAMBO Y ZAPALLO

Tabla 3.2.2.3-1  
Composición química del aceite de las semillas de sambo y zapallo

<b>Composición química (%)</b>	<b>Sambo</b>	<b>Zapallo</b>
Proteína	28,2	30,5
Fibra	20,3	21,7
Cenizas	5,1	3,8
Calcio	0,2	0,3
Fósforo	1,1	1,7

Fuente: Datos experimentales de Extracción  
Autores: Diana González y Yazmín Yáñez

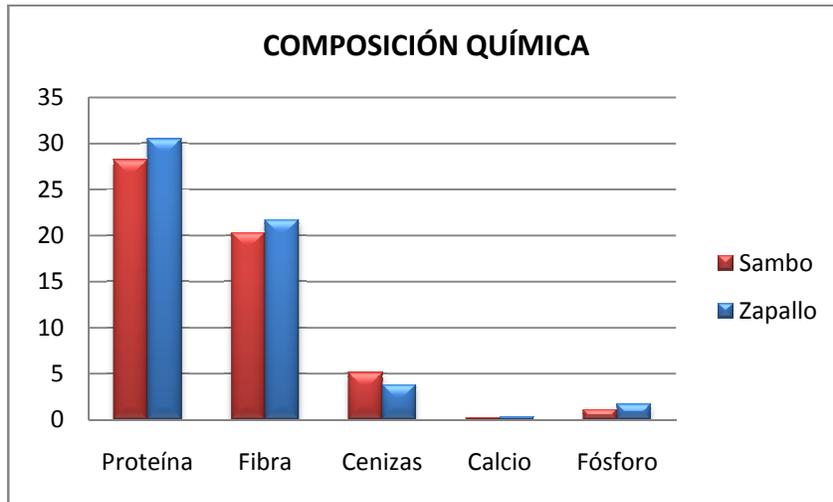


Fig. 3.2.2.3-1 Composición química del aceite de sambo y zapallo

# CAPÍTULO IV

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

## 4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DEL EQUIPO

Se ejecutan pruebas de extracción para poder determinar el funcionamiento y operación del equipo de extracción sólido-líquido y comprobar si el diseño realizado fue el más adecuado.

Para realizar las pruebas en el equipo se utilizan muestras secas de las pepas de sambo (*Cucurbita ficifolia*) y zapallo (*Cucurbita máxima*). Las pepas que serán sometidas a la extracción se ubican en la canastilla ubicada en la camisa. Del mismo modo se añade en el tanque de ebullición el solvente más adecuado para realizar la extracción, es decir, el hexano.

Se desarrollan tres pruebas por muestra, es decir, tres pruebas con pepas secas de sambo y tres pruebas con pepas secas de zapallo, cada prueba será realizada con diferente cantidad de muestra (2, 4 y 6 kg), a fin de determinar el tiempo de extracción real en el equipo y también el rendimiento de aceite obtenido.

Las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo los ensayos son  $T_{eb\ He} = 69^{\circ}C$  y flujo másico del vapor de hexano de 0,095 kg/s.

#### **4.1.1 PRUEBAS DE EXTRACCIÓN**

En las figuras 3.2.2.1-1 y 3.2.2.1-3 del capítulo anterior se observa y confirma que los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio son similares a los obtenidos en los ensayos realizados en el equipo de extracción sólido-líquido, ya que la cantidad de aceite obtenido varía proporcionalmente con la cantidad de muestra sujeta a extracción, es decir, mientras mayor es la masa de muestra seca, mayor es el volumen de aceite obtenido y viceversa.

Sin embargo se observa que los ensayos realizados con el extractor duran mucho más tiempo que los realizados en el laboratorio ya que mientras se aumenta la masa de muestra seca (figura 3.2.2.1-2 y 3.2.2.1-4), ésta tarda más tiempo en ponerse en contacto con el solvente por lo que se requiere de más veces de recirculación del mismo para que se extraiga todo el aceite contenido en las semillas, además con el fin de extraer la totalidad de aceite se deja recircular el solvente dos veces más asegurando de esta manera la extracción de toda la fracción de aceite contenida en las semillas.

#### **4.1.2 RENDIMIENTO DEL ACEITE DE SAMBO Y ZAPALLO**

Al validar el equipo de extracción sólido-líquido mediante la toma de datos en tiempo real se verificó que el diseño basado en los resultados experimentales realizados en el laboratorio fue muy adecuado, pues los rendimientos de los aceites de sambo y zapallo según los valores evidenciados en las tablas 3.2.2.2-1 y 3.2.2.2-2 se mantienen

prácticamente constantes y muestran que se logra extraer todo el aceite contenido en las semillas de sambo y zapallo, es decir, un promedio de 33,98 y 46,60% respectivamente que son las fracción totales de aceite contenido en las semillas.

#### **4.1.2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES DE SAMBO Y ZAPALLO OBTENIDOS EN EL EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO**

La composición química de los aceites de las semillas de sambo y zapallo obtenidos por extracción sólido-líquido se determina mediante análisis proximal realizado en el laboratorio. Como se muestra en la tabla 3.2.2.3-1 el aceite de zapallo presenta una composición química más rica que el aceite de sambo, sin embargo ambos pueden ser utilizados para el consumo humano por su alto contenido en proteína, fibra y por sus minerales como calcio y fósforo.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

1. La obtención de aceite en el laboratorio se realizó mediante el método soxhlet gracias al cual fue posible realizar el diseño del equipo de extracción sólido-líquido ya que el fundamento de este método se constituyó en la base para entender mejor el proceso de extracción.
2. Mediante la simulación en el laboratorio se identificaron las variables que rigen el proceso de extracción sólido-líquido, éstas variables son la temperatura de ebullición del solvente, el flujo de vapor y la cantidad de muestra seca que se alimenta al extractor.
3. El material utilizado para la construcción del equipo es el acero inoxidable AISI 304 de 2mm de espesor debido a que es el más recomendado para estar en contacto con los alimentos por su alta resistencia a la corrosión y porque cumple con las condiciones de esterilización.
4. Las dimensiones del extractor sólido-líquido son 1,589m de alto, 1,474m de largo y 0,587m de ancho, considerado para contener una carga máxima de muestra seca de 9kg y un volumen de solvente de 17,5L y está constituido por un tanque de

ebullición con una resistencia de 6000W, una camisa en la que se introduce la canastilla contenedora de la muestra seca, un condensador, un tanque cisterna con una bomba de 0,5HP para lograr la recirculación del agua a través del condensador y un panel de control para monitorear el proceso.

5. Al validar el equipo mediante la toma de datos en tiempo real y compararlos con los datos obtenidos en el laboratorio se evidencia que el rendimiento de aceite de sambo y zapallo es mayor en el equipo ya que nos da valores de 33,98% y 46,60% respectivamente, mientras que en el laboratorio el rendimiento de aceite de sambo fue de 30,45% y el de zapallo fue de 45,15%, garantizando de esta manera la extracción casi total del aceite contenido en dichas semillas.
6. El presupuesto requerido para la construcción del extractor sólido-líquido fue de 3394,21 dólares en el cual están involucrados los costos de los materiales, el costo de la mano de obra de obra y costos adicionales considerando un imprevisto del 5%.
7. El equipo servirá como apoyo didáctico para la enseñanza del proceso de extracción sólido-líquido y ayuda para el estudiante que podrá comprender mejor el fundamento teórico de dicho proceso al combinarlo con el desarrollo práctico del mismo.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Dar mantenimiento preventivo adecuado al equipo y seguir cuidadosamente el manual de operación con el fin de alargar su vida útil.
2. Revisar periódicamente el tablero de control para verificar su correcto funcionamiento y no manipularlo durante el proceso, si éste está operando correctamente.
3. Ensamblar bien las partes del equipo ajustando adecuadamente las tuercas para evitar fugas de vapor, en el arranque del equipo se debe realizar dicha verificación.
4. Revisar que las instalaciones eléctricas estén en correcto funcionamiento incluido el transformador de corriente.
5. Usar mascarilla al momento de colocar el hexano en el tanque de ebullición para evitar inhalar el solvente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ✓ **AVNER, S.**, Introducción a la Metalurgia Física., 2da. ed., México DF-México., McGraw Hill., 1976., Pp. 228-265
  
- ✓ **BAGDER, W y BANCHER, J.**, Introducción a la Ingeniería Química., 2da. ed., Madrid-España., McGraw Hill., 1964., Pp. 330-359
  
- ✓ **CENGEL, H.**, Termodinámica., 5ta. ed., México DF-México., McGraw Hill., 1988., Pp.125-167
  
- ✓ **HOLMAN, J.**, Transferencia de Calor., 8va. ed. México DF-México., McGraw Hill., Pp. 197-223
  
- ✓ **MOTT, R.**, Resistencia de Materiales Aplicada., 3ra. ed., México DF-México., ISBN., Pp. 372-389
  
- ✓ **PERRY, R y GREEN, D.**, Manual del Ingeniería Química., Tomo VI., 6ta. ed., Madrid-España., McGraw Hill., 2001., Pp. 416-451
  
- ✓ **TREYBAL, R.**, Operaciones de transferencia de masa., 2da. ed., México DF-México., McGraw Hill., 1988., Pp. 792-841

- ✓ **VIAN, A.**, Elementos de Ingeniería Química., 5ta. ed., Madrid-España., 1972., Pp. 177-192
  
- ✓ **COBA, R.**, Diseño y Construcción de un equipo de extracción por arrastre de vapor semiautomático para la obtención de aceite esencial de eucalipto., Facultad de Ciencias., Escuela de Ingeniería Química., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., (TESIS)., Riobamba-Ecuador., 2008., Pp. 55-79

## INTERNET

✓ ACEITES

<http://es.wikipedia.org/wiki/Aceite>

2010-10-25

✓ TIPOS DE ACEITES DE SEMILLAS OLEAGINOSAS

[http://www.alimentariaonline.com/desplegar\\_notas.asp?did=871](http://www.alimentariaonline.com/desplegar_notas.asp?did=871)

2010-10-25

✓ FORMAS DE EXTRACCIÓN

<http://html.rincondelvago.com/extraccion-de-aceites-esenciales.html>

2010-10-25

✓ OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES

<http://www.monografias.com/trabajos35/obtencion-aceite/obtencion-aceite.shtml>

2010-10-25

✓ TIPOS DE EXTRACCIONES

[http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio\\_tip.html#20](http://www.ub.edu/oblq/oblq%20castellano/extraccio_tip.html#20)

2011-12-21

✓ OPERACIONES UNITARIAS POR TRANSFERENCIA DE MATERIA

[http://www.fisicanet.com.ar/quimica/industrial/ap07\\_operaciones\\_unitarias.php](http://www.fisicanet.com.ar/quimica/industrial/ap07_operaciones_unitarias.php)

2011-01-13

✓ BALANCE DE MATERIA PARA EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO

<http://html.rincondelvago.com/lixiviacion.html>

2011-01-13

✓ PROTOTIPO DE EXTRACTOR SÓLIDO-LÍQUIDO

<http://www.tecnoedu.com/Armfield/UOP4MkII.php>

<http://www.tecnoedu.com/Armfield/FT11110LA.php>

<http://www.discoverarmfield.co.uk/data/esp/uop4/?js=enabled>

2011-02-07

✓ LIXIVIACIÓN

<http://www.uhu.es/prochem/wiki/index.php/Lixiviaci%C3%B3n>

2011-02-07

✓ OPERACIONES UNITARIAS DE SEPARACIÓN

[http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4329/1/Marcilla\\_Gomis\\_C%C3%A1lcu  
o\\_por\\_etapas.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4329/1/Marcilla_Gomis_C%C3%A1lcu%20por_etapas.pdf)

2011-02-07

✓ PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA MATERIA

<http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/Appendices/Propiedades%20termicas%20de%20la%20materia.pdf>

2011-04-28

✓ PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL HEXANO

<http://www.doschivos.com/trabajos/quimica/462.htm>

2011-06-17

✓ MSDS DEL HEXANO

[http://training.itcilo.it/actrav\\_cdrom2/es/osh/ic/110543.htm](http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ic/110543.htm)

2011-06-17

✓ HEXANO

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hexano>

2011-06-17