

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD TÉCNICA
CARRERA DE QUÍMICA INDUSTRIAL



PROYECTO DE GRADO
“OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE ESENCIAL Y SUBPRODUCTO A
PARTIR DE LA CÁSCARA DE NARANJA (Citrus Sinesis)”

TUTOR: Lic. Eliana Duchén

POSTULANTE: Univ. Milenka Hilda Balboa Laura

NIVEL: Licenciatura

LA PAZ – BOLIVIA

DEDICATORIA.

El presente trabajo esta dedicado con un inmenso amor a mi familia, por sobre todo a mis padres por el esfuerzo y apoyo incondicional. Gracias Oscar e Hilda.

AGRADECIMIENTOS

A mis hermanos Omar y Eduardo que con su paciencia y tolerancia me acompañaron este tiempo.

A mis primos Patricia, Pamela, Ibeth y Silvia que me acompañaron durante todo este tiempo.

A mi tutora Lic. Eliana Patricia Duchén quien me brindó su apoyo para el proyecto de grado.

Al Ing. Gabriel Mejía Martínez y a la Ing. Limbania Aliaga por su colaboración y amistad brindada en forma incondicional.

A los miembros del tribunal examinador Ing. Sandro Poppe, Dr. Augusto Vargas y Dra. María Monasterios por su cooperación durante la corrección de mi proyecto y sobre todo por enriquecer con sus sugerencias el presente trabajo.

A la Facultad de Ingeniería y Ciencia Puras por el apoyo brindado en el periodo de pruebas que tuvo el presente proyecto.

RESUMEN

En este proyecto se determinó los parámetros óptimos para la construcción de un equipo de destilación por arrastre de vapor, para la obtención del aceite esencial de naranja a partir de su cáscara.

Con estos parámetros se construyó el equipo de destilación y se realizó la obtención del aceite esencial de cáscara de naranja que se expende en todos los puestos de venta de jugos de naranja en la ciudad de La Paz. A partir de la obtención del aceite esencial se realizó la rectificación de este para ver el contenido de D-Limoneno además de su caracterización para ver el óptimo rendimiento y la calidad del aceite.

La retorta (cáscara de naranja que quedó después de la destilación) y el hidrolato (el agua que se destiló junto con el aceite) resultante de la extracción del aceite, fue tratado por medio de un biodigestor y a partir de ellos se obtuvo los subproductos tales como ser: el biogás y el bioabono de los cuales se tomaron en cuenta las características de estos productos, las cuales demostraron que se obtuvo un producto de alta calidad.

El proyecto de investigación contribuye a demostrar la factibilidad técnica de este método para la obtención del aceite, para que en un futuro pueda realizarse a nivel planta piloto.

ÍNDICE GENERAL	PÁGINA
CAPÍTULO I: INTRODUCCION.	
1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	2
1.2. JUSTIFICACIÓN.	3
1.3. OBJETIVOS.	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. METODOLOGÍA.	5
1.4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.	5
 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.	
2. MARCO TEÓRICO.	6
2.1. MATERIA PRIMA.	6
2.2. GENERALIDADES.	6
2.3 ACEITES ESENCIALES	7
2.3.1 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES	
ESENCIALES.	8
2.3.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES	
ESENCIALES.	9
2.3.2 APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES.	9
2.3.2.1 INDUSTRIA ALIMENTARIA.	9
2.3.2.2 INDUSTRIA FARMACÉUTICA.	9
2.3.2.3 INDUSTRIA DE COSMÉTICOS.	9
2.3.2.4 INDUSTRIA DE PRODUCTOS DE USO	
VETERINARIO.	10
2.3.2.5 DESODORANTES INDUSTRIALES.	10
2.3.2.6 INDUSTRIA TABACALERA.	10
2.3.2.7 BIOCIDAS E INSECTICIDAS.	10
2.4 ACEITE ESENCIAL DE NARANJA	10
2.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE ESENCIAL DE	
NARANJA.	10
2.4.2 ¿QUE ES EL D- LIMONENO?.	11
2.5 METODOS DE OBTENCION	13
2.5.1 DISOLUCIÓN EN GRASA (<i>ENFLEURAGE</i>).	13
2.5.2 EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES ORGÁNICOS.	13
2.5.3. EXTRACCIÓN CON GASES EN CONDICIONES	
SUPER CRÍTICAS.	14
2.5.4 DESTILACIÓN CON AGUA.	14

2.5.5 DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR	14
2.6 PROCESOS POSTERIORES.	15
2.6.1 RECTIFICACION.	15
2.6.2 LAVADO DE ACEITES.	16
2.7 BIODIGESTOR.	16
2.7.1 DIGESTIÓN ANAEROBIA Ó BIODIGESTION.	17
2.7.2 BIOGÁS.	18
2.7.3 BIOABONO Ó BIOFERTILIZANTE.	19
2.7.3.1. VENTAJAS DE SU USO.	19
2.7.3.2. FORMAS DE APLICACIÓN.	20
CAPÍTULO III: PARTE EXPERIMENTAL.	
3. PARTE EXPERIMENTAL.	21
3.1. PROCEDIMIENTO.	21
3.1.1. MATERIALES Y REACTIVOS.	21
3.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.	22
3.1.3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.	22
3.1.3.1. RECOLECCION.	22
3.1.3.2. TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.	23
3.1.4. PROCESO DE DESTILACIÓN.	24
3.1.5. PROCESO DE RECTIFICACIÓN.	24
3.2. EVALUACIÓN DEL EQUIPO DESTILADOR.	25
3.2.1. CRITERIOS EN LA CONSTRUCCIÓN.	27
3.3. CÁLCULOS REALIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.	27
3.3.1. CALCULOS EN EL GENERADOR DE VAPOR.	27
3.3.1.1. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE LA MEZCLA.	27
3.3.1.2. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL GENERADOR DE VAPOR	28
3.3.1.3. PRESURIZACIÓN DEL VAPOR	30
3.3.2. CÁLCULOS DEL CONDENSADOR.	31
3.3.2.1. DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS DEL SERPENTIN.	31
3.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE SALIDA.	33
3.3.3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL ALAMBIQUE	34
3.3.4. DISTRIBUCIÓN DEL FLUIDO	35
3.3.4.1. DISTRIBUIDORES DE TUBERIA PERFORADA.	35
3.3.5. CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA.	36
3.3.5.1. LENGUAJE DE CODIFICACIÓN.	36
3.3.5.2. VENTANA ABIERTA EN EL EXCEL.	36
3.4. DATOS Y PARAMETROS EXPERIMENTALES DEL EQUIPO.	37

3.5. BIODIGESTOR.	39
3.5.1. MATERIALES Y REACTIVOS.	39
3.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOABONO.	40
3.5.3. CÁLCULOS DE SÓLIDOS VOLÁTILES, TOTALES Y FIJOS.	40
3.5.4. EVALUACIÓN DEL EQUIPO BIODIGESTOR.	41
CAPÍTULO IV: ANALISIS Y RESULTADOS.	
4. ANALISIS Y RESULTADOS.	45
4.1. DETERMINACION DE PARAMETROS OPTIMOS EXPERIMENTALES.	45
4.1.1. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DESTILADOR.	45
4.2. CONDICIONES Y CALCULOS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.	47
4.2.1. CALCULO DE LA TEMPERATURA DE OPERACION.	48
4.2.2. EFECTO DEL SECADO SOBRE LA EFICIENCIA DE LA DESTILACION.	50
4.2.3. EFECTO DE LA MOLIENDA EN LA DESTILACION.	52
4.2.4. EFECTO DE LA POTENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR.	52
4.3. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL PRODUCTO FINAL.	52
4.3.1. ANALISIS DEL ACEITE ESENCIAL, CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS.	53
4.3.2. DETERMINACION DE COMPONENTES EN EL ACEITE ESENCIAL.	53
4.3.3. ANALISIS DEL PRODUCTO DESTILADO.	55
4.4. RESULTADOS DE LOS ANALISIS AL BIOABONO.	56
4.4.1. ANALISIS DEL BIOABONO OBTENIDO.	56
CAPÍTULO V: MERCADO Y COSTOS.	
5. MERCADO Y COSTOS.	59
5.1. OFERTA DEL ACEITE ESENCIAL CITRICO EN BOLIVIA.	59
5.2. DEMANDA DEL ACEITE ESENCIAL DE NARANJA Y CITRICOS EN BOLIVIA.	60
5.3. CAPACIDAD DE PRODUCCION DE ACEITE ESENCIAL.	61
5.4. ANÁLISIS PRELIMINAR DE COSTOS.	61
5.5. RELACIÓN COSTO VOLUMEN UTILIDAD.	61
5.5.1. COSTO TOTAL.	62
5.5.2. PRECIO DE VENTA.	64
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	67
BIBLIOGRAFÍA	68



1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los alimentos deben su sabor y olor a sustancias químicas que se encuentran presentes en partes por millón. En la naturaleza algunas especies evolucionaron con niveles mayores que otras. Con el descubrimiento de la destilación se hizo posible separar el material botánico del aceite esencial, dando lugar a los aceites esenciales como productos comerciales.

Entre los aceites esenciales más difundidos se encuentra el aceite esencial de naranja. Este aceite esencial se obtiene por medio de una destilación por arrastre de vapor a partir de su cáscara.

En el sector de Alto Beni del departamento de La Paz, las producciones más importantes eran el arroz, el cacao, la papaya y la banana. Hoy en día la naranja se ha vuelto uno de los cultivos más importantes en el campesinado local (1).

Nuestra ciudad no es actualmente productora de aceites esenciales cítricos. Además que la recolección de materia prima se obtiene de los desechos de los puestos de jugo de naranja.

En el presente trabajo experimental se describirá las distintas técnicas de destilación, pero se hará la construcción de un destilador por arrastre de vapor. También la obtención de aceite esencial de cáscara de naranja dulce (*Citrus sinensis*) y la determinación de parámetros adecuados por medio de un equipo de destilación por arrastre de vapor. Además de darle un valor agregado rectificando este aceite por medio de una destilación al vacío.

El desecho que se obtenga de esta destilación se utilizará para la obtención de bio abono.

En la ciudad de La Paz todos los días los vendedores de jugos cítricos desechan cáscaras de naranja que al final llega a ser un foco de infecciones por sus características botánicas. Este proyecto es completamente renovable, natural y reciclable asegurando el cuidado del medio ambiente y la naturaleza en sí.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de naranja tiene una gran importancia en el sector de Alto Beni en el departamento de La Paz, este fruto es utilizado para la producción de jugo de naranja. Los desechos que existen de los subproductos del jugo de naranja, no son tratados para una utilidad. En nuestra ciudad la cáscara de naranja es desechada por los vendedores de jugos cítricos todos los días que al final del día llega a convertirse en basura y un foco de infecciones por sus propiedades botánicas conocidas. De aquí la necesidad de explorar nuevas técnicas, o mejorar las ya existentes para extraer el aceite esencial de la cáscara de naranja.

En la actualidad existe interés en la búsqueda de alternativas para el uso de los desechos orgánicos, y se desea resolver esta problemática, en la cual todo el mundo está involucrado. Para este propósito se hará la construcción de un destilador experimental para la obtención del producto por medio de la destilación por arrastre de vapor. También ver la factibilidad del proyecto y en un futuro plantear con mayor seguridad la industrialización del aceite esencial de naranja, y de esta manera dejar una base para estudios superiores.

Además de utilizar la cáscara para el aceite esencial, se pretende utilizar el desecho que existe de esta destilación y poder obtener de éste un subproducto bio abono. El bio abono es un subproducto importante en este proyecto, respondería a la problemática que desde hace muchos años el productor campesino tuvo la necesidad de obtener productos en cantidades grandes, pero a costa del desgaste de sus tierras de producción por el uso de abono químico. Si se utilizara el bio abono se lograría ver un mayor rendimiento, disponer de mayor tiempo la fertilidad y no se producirían erosiones que perjudicarían al cultivo, ya que con el abono químico se desgasta con mayor rapidez la superficie cultivable de la tierra.

En función de lo antes planteado, el propósito de este trabajo es la construcción de un destilador experimental para la obtención del aceite esencial a partir de la cáscara de la naranja (*Citrus sinensis*) y subproducto (bio abono), a través del proceso de destilación por arrastre de vapor.

De esta forma se procede a plantear el problema **¿Cómo aprovechar la cáscara de naranja, de manera que se obtenga un producto novedoso y de alta calidad?**

1.2. JUSTIFICACIÓN.-

El proyecto se justifica debido a la gran cantidad de cáscara de naranja que resulta del uso de la fruta misma en la ciudad de La Paz, y que no tiene ningún tratamiento posterior sino el de convertirse en basura y foco de infecciones por sus características botánicas conocidas. La necesidad insatisfecha de nuestro país respecto a realizar estudios serios que conduzcan a la mejor utilización de los recursos naturales mediante tecnología limpia es también un punto principal para el desarrollo de éste trabajo.

La disponibilidad de materia prima y los métodos y técnicas necesarias para aportar con un equipo que procese las cáscaras de la especie en estudio son de bajo costo y de poco riesgo, lo que también ayuda a su desarrollo.

El aporte a la protección del medio ambiente es relevante en este trabajo puesto que contribuirá a la liberación de la ciudad de La Paz de un problema diario generando alternativas accesibles que también aportaran a elevar la calidad de vida a quienes utilicen el producto terminado del presente proyecto.

Además por el aporte mismo al conocimiento para que otras especies vegetales puedan también ser aprovechadas a una escala semi industrial o mayor aun. Además será capaz de proporcionar materia prima a otras industrias, ya que en Bolivia la mayoría de las industrias, importa estos productos de Europa. Este proyecto podría marcar un mercado con un producto de igual calidad y menor precio, además que en un futuro podría ser exportado.

También se obtendría por medio del desecho de la destilación un bio abono intentando obtener un ciclo de productos aprovechados en general. Con esto se ayudaría a tener cultivos sanos y por más tiempo ya que no afectaría al desgaste de las plantas como actualmente lo hace el abono químico con las tierras.

El estudiar todo la utilidad de esta metodología, no solo serviría para la obtención de aceite esencial de naranja, sino también para otros aceites como ser: el pomelo, la mandarina, la Rica-Rica, el pachuli, el cedrón, la hierba luisa (lemongrass), la menta y el eucalipto que existe en gran cantidad en nuestra ciudad.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Implementar un equipo de procesamiento integral optimizado a nivel experimental para la obtención del aceite esencial y bio abono como subproducto a partir de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

- Diseñar y construir un equipo experimental para la destilación por arrastre de vapor para la obtención del aceite esencial de naranja a partir de su cáscara.
- Optimizar las condiciones de operación del destilador.
- Rectificar el aceite esencial obtenido mediante técnica de destilación al vacío.
- Caracterizar la calidad y el rendimiento de los productos obtenidos a través de técnicas estandarizadas conocidas.
- Tratar la retorta generada en el proceso de destilación para la obtención de bioabono también llamado biofertilizante.

1.4. METODOLOGÍA

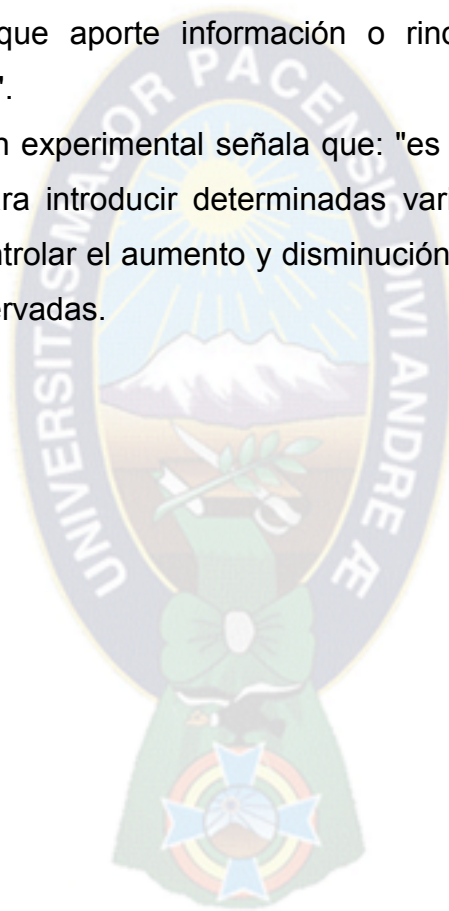
1.4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo documental y experimental. Es documental puesto que para obtener información sobre el tema se precisó de la revisión de material bibliográfico referido al mismo. Y es experimental ya que los datos

se obtuvieron de manera directa mediante ensayos (recolección, destilación, rectificación).

La investigación documental según varios autores "depende fundamentalmente de la información que se recoge, consultas en diferentes documentos, entendiéndose este término en sentido amplio, como todo aquel material de índole permanente, es decir, al que se pueda acudir como fuente o referencia en cualquier momento o lugar, sin que se altere su naturaleza o sentido, para que aporte información o rinda cuenta de una realidad o acontecimiento".

La investigación experimental señala que: "es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento y disminución de variables y su efecto en las conductas observadas.



2. MARCO TEÓRICO.

2.1. MATERIA PRIMA

Se utilizó como materia prima la Cáscara de naranja dulce (Citrus sinensis).

2.2. GENERALIDADES

La naranja, una fruta cítrica comestible obtenida del naranjo dulce (*Citrus sinensis*), antiguo híbrido asiático originario de India, Vietnam o el sureste de China, es un hesperidio carnoso de cáscara más o menos gruesa y endurecida, y su pulpa está formada típicamente por once gajos u hollejos llenos de jugo, el cual contiene vitamina C. Pero la cáscara de naranja se caracteriza por su alto contenido de aceites esenciales.



Los aceites esenciales están presentes en distintas partes de las plantas:

- En las flores (como en el caso de la lavanda, el jazmín y la rosa)
- En todo el árbol (como sucede con el eucalipto)
- En las hojas (la citronela)
- En la madera (el sándalo)
- En la raíz (el vetiver)
- En la resina que exudan (el incienso, la mirra y el benjuí)
- En la cáscara de los frutos (el limón, la naranja y la bergamota).

2.3. ACEITES ESENCIALES

Los Aceites Esenciales son productos químicos que forman las esencias odoríferas de un gran número de vegetales, y dan ese aroma característico a las plantas. Los aceites esenciales son líquidos volátiles, en su mayoría insolubles en

agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter, aceites vegetales y minerales. Para una mejor comprensión podemos ver las estructuras en la Figura 1.

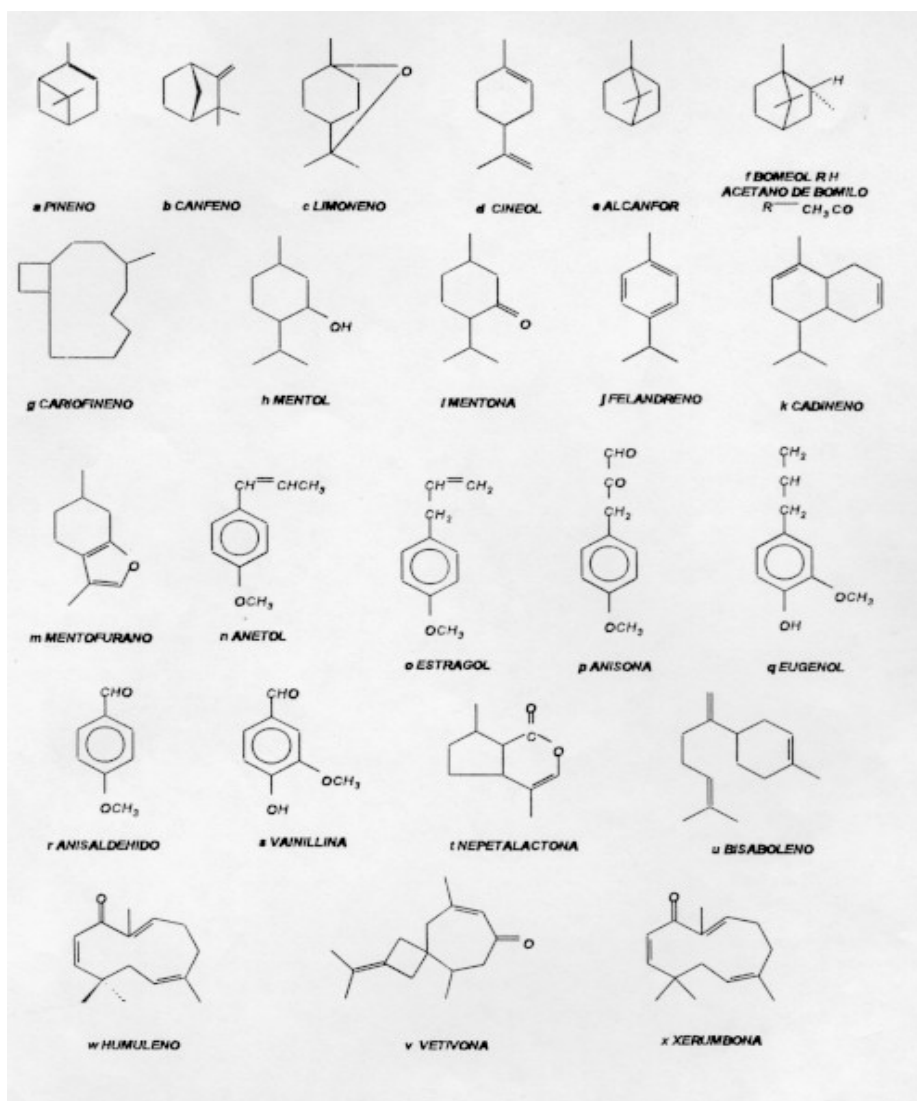


Figura 1. Tipos de Estructuras en los Aceites Esenciales

2.3.1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Las propiedades físico-químicas de los aceites esenciales o esencias son muy diversas, puesto que el grupo engloba sustancias muy heterogéneas, de las

que en la esencia de una planta, prácticamente puede encontrarse solo una (como por ejemplo en la gaulteria hay 98-99 % de salicilato de metilo y la esencia de canela contiene más de 85 % de cinamaldehído) o más de 30 compuestos como en la de jazmín o en la de manzanilla.

El rendimiento de esencia obtenido de una planta varía por la composición de una esencia, inclusive puede cambiar con la época de la recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos. El rendimiento de varias especies en producción industrial es:

Albacón 0.014	Albahaca 0.03
Eucalipto citriodora 0.5	Eucalipto globulus 0.9
Eucalipto Davis (costeño) 0.6	Menta pipenta 0.2
Manzanilla 0.01	Ajo 0.012
Menta Pulegium(poleo) 0.15	Menta Arvensis 0.4
Menta (crispa, hierbabuena) 0.15	Romero 0.62
Tomillo 0.20	Limonaria 0.35
Citronella 0.64	Cilantro (pepas) 0.2
Clavo 8.5	Canela 0.3
Petit grain (limón) 0.55	Vetiver 0.07
Laurel 0.022	Naranja 0.6

Tabla 1. Rendimiento de los aceites esenciales
Expresado en volumen (L) / 100 (Kg).

2.3.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son líquidos a temperatura ambiente, muy raramente tienen color y su densidad es inferior a la del agua (la esencia de sazafrán o de clavo constituyen excepciones). Casi siempre dotadas

de poder rotatorio, tienen un índice de refracción elevado. Solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos habituales, son liposolubles y muy poco solubles en agua, son arrastrables por el vapor de agua (2).

2.3.2. APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES

2.3.2.1. INDUSTRIA ALIMENTARIA

Se emplean para condimentar carnes preparadas, embutidos, sopas, helados, queso, etc. Los aceites más empleados por esta industria son el Cilantro, Naranja y Menta, entre otros. También son utilizados en la preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas, especialmente refrescos. Con respecto a esta utilidad podemos citar las esencias extraídas del naranjo, limón, mentas e hinojo, entre otros. Estas esencias también se emplean en la producción de caramelos, chocolates y otras golosinas.

2.3.2.2. INDUSTRIA FARMACÉUTICA

Se usan en cremas dentales (aceite de menta e hinojo), analgésicos e inhalantes para descongestionar las vías respiratorias (eucalipto). El eucaliptol es muy empleado en odontología. Son utilizados en la fabricación de neutralizantes de sabor desagradable de muchos medicamentos (naranjas y menta, entre otros).

2.3.2.3. INDUSTRIA DE COSMÉTICOS

Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias, perfumes y maquillaje. En este campo se pueden citar los aceites de geranio, lavanda, rosas y pachouli.

2.3.2.4. INDUSTRIA DE PRODUCTOS DE USO VETERINARIO.-

Esta industria emplea el aceite esencial de *Chenopodium ambrosoides* muy apreciado por su contenido de ascaridol, vermífugo. También requiere limoneno y mentol como insecticidas.

2.3.2.5. DESODORANTES INDUSTRIALES

Actualmente es muy común el uso de esencias para disimular el olor desagradable de algunos productos industriales como el caucho, los plásticos y las pinturas. La industria de las pinturas emplea limoneno como disolvente biodegradable. También se impregna olor a algunos juguetes. En textiles, se emplea como enmascaradores de olores en tratamientos con mordientes antes y después del teñido. En papelería, para impregnar de fragancias cuadernos, tarjetas, papel higiénico, toallas faciales.

2.3.2.6. INDUSTRIA TABACALERA

Demanda mentol para los cigarrillos mentolados.

2.3.2.7. INSECTICIDAS

Existen esencias con propiedades bactericidas, como el tomillo, naranja, clavo, salvia, mentas, orégano, pino, etc. (3).

2.4. ACEITE ESENCIAL DE NARANJA

Los aceites esenciales cítricos son insolubles en agua, pero se hacen más solubles cuando se emplean en bajas concentraciones utilizando alcohol como disolvente. En ocasiones, forman soluciones oscuras que se aclaran con dificultad. De aquí que se desea eliminar los terpenos y sesquiterpenos. Para ello se puede aplicar dos métodos, por destilación fraccionada a presión reducida, o la extracción de los compuestos oxigenados más solubles (principales portadores del olor), con alcohol diluido y otros disolventes.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE ESENCIAL DE NARANJA

El aceite esencial de cáscara de naranja dulce presenta un elevado contenido de un hidrocarburo monoterpénico, identificado como limoneno, de forma molecular $C_{10}H_{16}$. Este componente normalmente se considera mayoritario en la

composición del aceite esencial de las cáscaras de los cítricos y frecuentemente se reporta valores superiores al 90%.

La segunda concentración más alta corresponde al monoterpeno oxigenado transdihidrocarbónica con aproximadamente el 1.78% de forma molecular $C_{10}H_{14}O_2$. Además se observan otros componentes de concentraciones menores, tales como el trans-p-mentano, el canfeno, el p-menta-1,8-dieno, el dihidromircenol, y el isocitroneleno junto a otros componentes de concentraciones muy bajas.

El aceite esencial de naranja tiene una Densidad: 0,850 g/ml y un rendimiento en esencia: 0,4% (4).

2.4.2. ¿QUE ES EL D- LIMONENO?

El d- **limoneno** como se muestra en la Figura 2 es una sustancia natural que se extrae de los cítricos. Es la sustancia que da olor característico a las naranjas y los limones. Es un monoterpeno que pertenece al grupo de los terpenos.

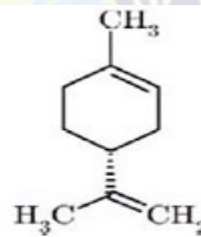
Industrialmente se utiliza para producir para-cimeno por deshidrogenación catalítica. En los últimos años su demanda ha experimentado un gran crecimiento para su uso como disolvente biodegradable.

Posee un centro quiral, concretamente un carbono asimétrico. Por lo tanto existen dos isómeros ópticos: el D-limoneno y el L-limoneno. La nomenclatura IUPAC correcta es R-limoneno y S-limoneno, pero se emplean con más asiduidad los prefijos D y L o alfa y beta.

En los últimos años ha adquirido una singular importancia debido a su demanda como disolvente biodegradable. Aparte de disolvente industrial también tiene aplicaciones como componente aromático y es ampliamente usado para sintetizar nuevos compuestos.

Puesto que es un derivado de los cítricos, el limoneno se considera un agente de transferencia de color limpio y ambientalmente inocuo con lo cual es utilizado en muchos procesos farmacéuticos y de alimentos.

El limoneno es usado, por ejemplo, como disolvente de resinas, pigmentos, tintas, en la fabricación de adhesivos, etc. También es usado por las industrias farmacéutica y alimentaria como componente aromático y para dar sabor, siendo usado, por ejemplo, en la obtención de sabores artificiales de menta y en la fabricación de dulces y goma de mascar (5).



Fórmula molecular	C ₁₀ H ₁₆
Masa atómica	136,21 g/mol
Densidad	0,84 g/ml
Solubilidad en agua	Ninguna
Punto de ebullición	178°C
Punto de fusión	-75°C
Punto de inflamación	48°C
Temperatura de auto ignición	237°C

Figura 2: Estructura del D- Limoneno

2.5. METODOS DE OBTENCION

Los aceites esenciales se obtienen por distintos métodos que pueden ser:

- Enfleurage, proceso en el cual se utiliza grasa como disolvente
- Extracción con disolventes orgánicos.

- Extracción con gases en condiciones supercríticas.
- Destilación con agua.
- Destilación en corriente de vapor o dicho también por arrastre de vapor.

2.5.1. DISOLUCIÓN EN GRASA (*ENFLEURAGE*)

Los aceites son solubles en grasas y alcoholes de alto porcentaje. Sobre una capa de vidrio se coloca una fina película de grasa y sobre ella los pétalos de flores extendidas. La esencia pasa a la grasa, así hasta saturación de la grasa. Posteriormente con alcohol de 70°, se extrae el aceite esencial. Se emplea para flores con bajo contenido en esencias pero muy preciadas (azahar, rosa, violeta, jazmín).

2.5.2. EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES ORGÁNICOS

Estos penetran en la materia vegetal y disuelven las sustancias, que son evaporadas y concentradas a baja temperatura. Después, se elimina el disolvente, obteniendo la fracción deseada. En la selección del disolvente se pretende que éste sea capaz de disolver rápidamente todos los principios activos y la menor cantidad de materia inerte, que tenga un punto de ebullición bajo y uniforme que permita eliminarlo rápidamente, pero evitando pérdidas por evaporación, químicamente inerte, para no reaccionar con los componentes de los aceites, no inflamable y barato. Este disolvente ideal no existe, sin embargo los más empleados son el éter de petróleo, con punto de ebullición de 30 a 70 °C, que se evapora fácilmente y es inflamable, el benceno, que disuelve también ceras y pigmentos, y el alcohol, que es soluble en agua. Se emplea cuando hay componentes de peso molecular elevado que no son lo suficientemente volátiles.

2.5.3. EXTRACCIÓN CON GASES EN CONDICIONES SUPERCRÍTICAS

Se emplean gases, principalmente CO₂, a presión y temperatura superiores a su punto crítico. En estas condiciones se obtienen buenos rendimientos y se

evitan alteraciones de los componentes de la esencia. La infraestructura necesaria es cara, pero tiene sus ventajas, como la fácil y rápida eliminación del gas extractor por descompresión, la ausencia de residuos de disolventes y que los gases no resultan caros.

2.5.4. DESTILACIÓN CON AGUA

Una de las diferencias más destacadas con la destilación por arrastre de vapor, es que en ésta el material botánico está en contacto con agua hirviendo. Un problema frecuente de este tipo de destilación, es el “olor a alambique o destilador” que se da generalmente si el destilador se calienta a fuego directo; este olor no deseado desaparece en el almacenamiento de los aceites esenciales.

Existe otro método llamado destilación con agua y arrastre de vapor, que combina ventajas de las dos anteriores. El material botánico se encuentra separado del agua hirviendo la cual se encuentra en la parte inferior del destilador y el material botánico es sostenido por una rejilla. Si el destilador se calienta lentamente este método reduce el fenómeno de “olor a alambique o destilador”.

2.5.5. DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR

La destilación por arrastre de vapor es el método más utilizado. Se genera vapor en un hervidor y luego se inyecta al destilador por donde pasa a través del material botánico. Su principio básico es la destilación de dos líquidos heterogéneos como ser el agua y el aceite esencial, es que cada uno ejerce su propia presión de vapor. Cuando las presiones de vapor combinadas alcanzan la presión del recinto (externa) la mezcla hierve. Aceites esenciales con puntos de ebullición de 300°C, evaporan a temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua. El vapor arrastra D-Limoneno, a pesar de que éste tenga un punto de ebullición más alto que el agua (352°F). El vapor y el aceite esencial son condensados y separados.

Los aceites esenciales producidos de esta forma son frecuentemente, diferentes al aceite original encontrado en el material botánico en varios

aspectos y suelen utilizarse en manufacturas de pinturas, gomas y productos textiles. Algunos químicos, no volátiles al vapor, quedan en el destilador; estos compuestos no volátiles son responsables del sabor más que del olor. Algunas sustancias más volátiles se pierden en la destilación. Además el proceso en si puede inducir cambios químicos, como la oxidación y la hidrólisis.

2.6. PROCESOS POSTERIORES

2.6.1. RECTIFICACION

El proceso de rectificación puede extenderse para remover una parte sustancial de hidrocarburos de terpenos existentes en el aceite. Estos compuestos son generalmente más volátiles que el aceite y pueden separarse más fácilmente por medio de una destilación al vacío. Los residuos en el destilador pueden ser del 3% del volumen original del aceite crudo.

La desventaja de este proceso son los efectos que producen el calor y la pérdida de componentes deseables. Cambiara el perfil del aceite y los grados de concentración de sabor no coincidirán con la concentración real.

Los aceites esenciales libres de terpenos se producen mediante destilación al vacío de las fracciones volátiles del concentrado de aceite, a partir de los residuos de la destilación. Estos aceites concentrados reducen los problemas de concentración, particularmente en aceites cítricos. Los aceites libres de terpenos son soluciones claras y útiles en la saborización de bebidas suaves.

El fraccionamiento puede ser llevado a cabo por otras razones que no sean concentrar. En algunos casos, el objetivo es aislar algún componente individual deseado, de la misma manera la intención puede ser excluir algún componente indeseable. El objetivo de obtener partes selectas de un aceite esencial se pueden lograr también de otras maneras. La cromatografía ofrece un proceso relativamente frío y una gran selectividad; la extracción con dióxido de carbono es también un proceso en frío pero de menor selectividad; la extracción por solvente (generalmente una mezcla de alcohol y agua) da como resultado un sabor bien balanceado. Este proceso es muy usado en la manufactura de sabores para bebidas suaves.

2.6.2. LAVADO DE ACEITES

Los aceites retienen la mayor parte de sus características. La mezcla de solvente puede variar para remover parcial o totalmente los hidrocarburos, dependiendo del grado de solubilidad acuosa requerido. Algunos componentes oxigenados se pierden en la fracción oleosa. La ineficiencia de este proceso es alta, ya que se extrae solo el 60% del sabor deseado del aceite. El uso de aceites lavados se restringe a bebidas suaves, y su uso es limitado en productos lácteos debido a las grandes dosis que se requerirían (6).

2.7. BIODIGESTOR

Biodigestor se denomina al dispositivo en el que se llevan a cabo los procesos de transformación de la materia orgánica para la obtención de biogas, constituyéndose en el componente principal y más importante del sistema. Un biodigestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etc.) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

El fenómeno de biodigestión ocurre, porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal, que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4), llamada biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible. El resultado de este proceso genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica, (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas (7).

2.7.1. DIGESTIÓN ANAEROBIA Ó BIODIGESTION

El La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogas" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa.

La materia prima preferentemente utilizada para someterla a este tratamiento es la biomasa residual con alto contenido en humedad, especialmente los residuos ganaderos y los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas. Aunque la digestión anaerobia es un proceso ampliamente conocido en la práctica, se posee en la actualidad una información muy limitada sobre su química y su microbiología. Sin embargo, se puede afirmar en líneas generales que la digestión anaerobia se desarrolla en tres etapas durante las cuáles la biomasa se descompone en moléculas más pequeñas para dar biogas como producto final, por la acción de diferentes tipos de bacterias.

Las variables que influyen en el proceso son las siguientes:

- Temperatura: se encuentra un óptimo de funcionamiento alrededor de los 35 ° C
- Acidez: determina la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, habiéndose encontrado que el valor óptimo de pH oscila entre 6,6 y 7,6
- Contenido en sólidos: se suele operar en mejores condiciones con menos de un 10% en sólidos, lo que explica que la biomasa más adecuada sea la de alto contenido en humedad.
- Nutrientes: para el crecimiento y la actividad de las bacterias, éstas tienen que disponer de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y algunas sales minerales
- Tóxicos: aparte del oxígeno, inhiben la digestión concentraciones elevadas de amoníaco, sales minerales y algunas sustancias orgánicas como detergentes y pesticidas.

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogas, mezcla gaseosa de metano (50 a 70%) y dióxido de carbono (30 a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir al gas, utilizándose en las siguientes aplicaciones:

- Fuente de calor (cocina, alumbrado)
- Combustión en calderas de vapor para calefacción
- Combustible de motores acoplados a generadores eléctricos

Por su parte, el efluente de la digestión está compuesto por diversos productos orgánicos e inorgánicos y se puede utilizar tanto en la fertilización de suelos, con excelentes resultados, como en alimentación animal, aspecto aún en vías de investigación (8).

2.7.2. BIOGAS

El biogas es un gas producto del resultado de la degradación anaerobia de materia orgánica, dicho gas está compuesto por cerca de 60% de metano y 40% de dióxido de carbono. Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos 1% de ácido sulfhídrico. Es un poco más liviano que el aire, posee una temperatura de inflamación de 700° C y su llama alcanza una temperatura de 870°C.

El biogas puede ser utilizado como cualquier otro combustible, tanto para la cocción de alimentos, en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc., como para el alumbrado, mediante lámparas adaptadas. Mezclas de biogás con aire, con una relación 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo, lo cual permite que también sea empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados.

Es importante aclarar que este gas puede usarse como combustible sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 % (9).

2.7.3. BIOABONO O BIOFERTILIZANTE.-

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados (CH_4 , CO_2 , H_2S) que representan del 5% a 10% del volumen total del material de carga. Se conservan en el efluente todos los nutrientes originales (N, P, K) contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico, prácticamente libre de olores, patógenos, y de fácil aplicación.

2.7.3.1. VENTAJAS DE SU USO

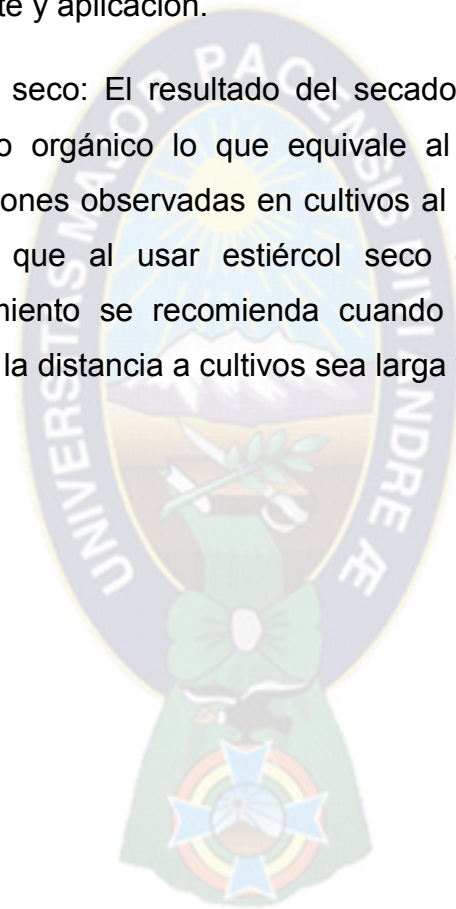
- El efluente lleva parte de sus nutrientes en forma no disponible de inmediato para las plantas, es decir, los libera paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de materia orgánica. De esta forma, la nutrición es lenta, pero continua.
- Aumenta el contenido del humus del suelo, el cual mejora la estructura y la textura del terreno, facilita la aireación, la velocidad de formación de depósitos de nutrientes, y la capacidad de retención e infiltración del agua.
- Permite el ahorro de cierta cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.
- Presenta incrementos de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.

2.7.3.2. FORMAS DE APLICACIÓN

- Efluente líquido: Presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente sale del biodigestor, o almacenarse en

tanques tapados por un periodo no mayor a 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno.

- Efluente compostado: Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde y compostándolo, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30% al 70%, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte y aplicación.
- Efluente seco: El resultado del secado es una pérdida casi total del nitrógeno orgánico lo que equivale al 5 % del nitrógeno total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco o estiércol almacenado, este procedimiento se recomienda cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o la distancia a cultivos sea larga y difícil (10).



3. PARTE EXPERIMENTAL.

3.1. PROCEDIMIENTO

En esta parte se describirá los materiales y reactivos que se utilizaron en el proceso, además de los procedimientos a seguir, desde la recolección de materia prima hasta la caracterización del producto final para la obtención del aceite esencial de naranja.

3.1.1. MATERIALES Y REACTIVOS

El destilador por arrastre de vapor consta de:

- Generador de vapor (olla a presión).
- Alambique.
- Condensador de cobre.
- Embudo de separación.
- Termocupla
- Termómetro de 100°C

Equipos Accesorios:

- Hornilla eléctrica 7500 Watts
- Balanza de capacidad de 10 Kg
- Mufla
- Cronómetro

Materia Prima

- Cáscara de naranja obtenida de los puestos de expendio de jugo de naranja.

Reactivos

- Agua Potable
- Agua Desionizada

3.1.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

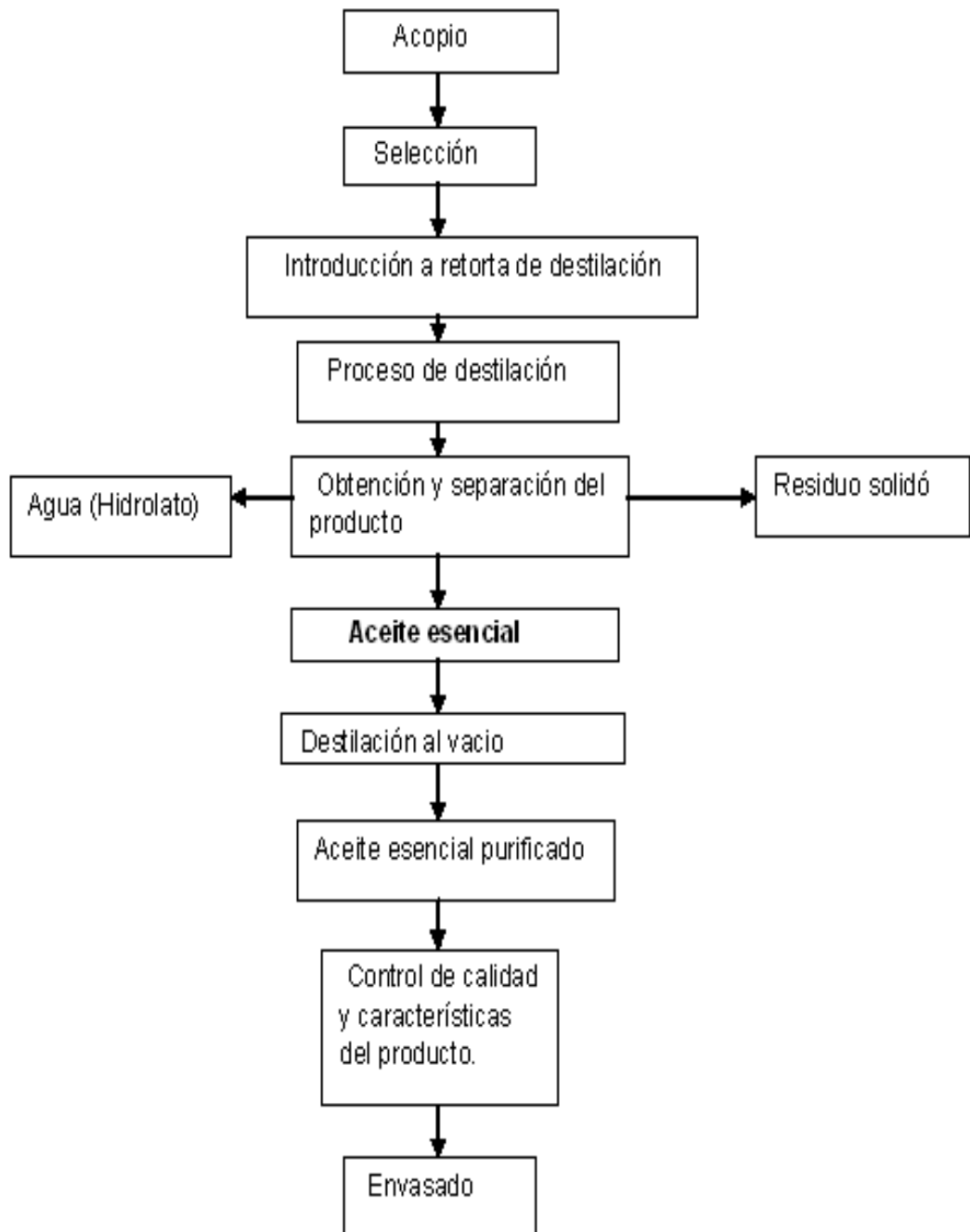


Figura 3: Diagrama de flujo. Elaboración propia.

3.1.3. RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

La muestra fue recolectada de diferentes puestos de expendio de jugo de naranja en la ciudad de La Paz, el tratamiento que se realizó se describe a continuación.

3.1.3.1. RECOLECCION

Nuestra materia prima, la cáscara de naranja es obtenida en tiras de los puestos de expendio de jugo de naranja (Figura 4), estos puestos suelen tener como desecho estas cáscaras, además de restos de fruta exprimida, los cuales son puestos como basura incrementando de esta forma la contaminación ambiental.



Figura 4: Cáscara de naranja recolectada de los puestos de venta de jugos cítricos.

3.1.3.2. TRATAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Para introducir la materia prima a nuestro destilador se hace una selección de esta, se deja secar la cáscara por un día y se pica en trozos ya que por la experiencia obtenida es la manera más efectiva de tener un mayor rendimiento.

3.1.4. PROCESO DE DESTILACIÓN

En la destilación por arrastre de vapor, cuando hay una fase de agua líquida, las capas tanto de agua como de sustancia orgánica ejercen sus propias presiones de vapor. A 1 atm de presión, la temperatura debe ser menor a 100°C aun cuando el material orgánico pueda hervir por sí mismo a varios cientos grados centígrados. Por ello es una ventaja de la destilación por arrastre de vapor son las temperaturas de operación más bajas (11).

La destilación por arrastre de vapor generalmente se lleva a cabo a presión atmosférica: si los componentes del aceite pueden sufrir hidrólisis, el proceso se efectúa a presión reducida. Gran parte de la destilación de aceites esenciales se realiza en el sitio de recolección en alambiques muy toscos. Estos alambiques son tambores de aceite o cazuelas de cobre transformados y equipados con tubos condensadores que pasan a través de una tubería de agua. Se cargan los materiales y agua en el alambique y los materiales secos, extraídos de destilaciones anteriores, se queman en fuego directo para proporcionar calor.

Para el diseño y la construcción del destilador se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Capacidad del alambique
- Carga diaria de cáscara de naranja
- La altura del alambique
- El modelo del refrigerante
- El material utilizado para su construcción
- La temperatura y el flujo de vapor del equipo
- Tiempo de destilación

3.1.5. PROCESO DE RECTIFICACIÓN

Se eligió la destilación al vacío para el proceso de rectificación como el método óptimo para el aceite esencial de naranja, ya que los aceites esenciales libres de terpenos se producen mediante destilación al vacío de las fracciones volátiles del concentrado de aceite, a partir de los residuos de la

destilación. Estos aceites concentrados reducen los problemas de concentración, particularmente en aceites cítricos. Los aceites libres de terpenos son soluciones claras y útiles en la saborización de bebidas suaves. La destilación a vacío es la operación complementaria de destilación del crudo procesado en la unidad, que no se vaporiza y sale por la parte inferior de la columna de destilación atmosférica. El vaporizado de todo el crudo a la presión atmosférica necesitaría elevar la temperatura por encima del umbral de descomposición química y eso, en esta fase del refinado de petróleo, es indeseable.

El residuo atmosférico o crudo reducido procedente del fondo de la columna de destilación atmosférica, se bombea a la unidad de destilación al vacío, se calienta generalmente en un horno a una temperatura inferior a los 400 °C, similar a la temperatura que se alcanza en la fase de destilación atmosférica, y se introduce en la columna de destilación. Esta columna trabaja al vacío, con una presión absoluta de unos 20 mm de Hg, por lo que se vuelve a producir una vaporización de productos por efecto de la disminución de la presión, pudiendo extraerse más productos ligeros sin descomponer su estructura molecular (12).

3.2. EVALUACIÓN DEL EQUIPO DESTILADOR

Se construyó el destilador a una escala reducida. Lo que se desea conseguir con este objetivo es construir y operar el equipo de modo que se pueda obtener una información adecuada del proceso físico y así poder ver algunos parámetros a los cuales se puede recurrir para su construcción en un futuro a nivel de planta piloto. Al inicio de esta idea se construyó un destilador artesanal (Consta de dos latas de leche donde en la primera lata se encontraba el agua y separada por una rejilla se encontraba la materia botánica que luego se conectaba al intercambiador de calor el cual era de aluminio.) que en un principio realizaba la operación conocida como destilación con agua. Ver Figura (5).



Figura 5: Destilador con agua artesanal o casero

Pero luego al ver en el marco teórico las recomendaciones que se da en el punto (2.4) y por la experiencia que se tuvo, los mejores resultados se obtuvieron con el destilador por arrastre de vapor (El destilador por arrastre de vapor es de material de aluminio que se hizo por medio de un generador de vapor que en este caso es una olla a presión, el alambique estuvo hecho de tres latas de leche y el condensador de un material de aluminio que era solo un intercambiador de calor al igual que en la Figura (5). Que se muestra en la Figura (6).



Figura 6: Destilador por arrastre de vapor artesanal o casero

3.2.1. CRITERIOS EN LA CONSTRUCCIÓN

A partir de la construcción y experimentación de los equipos ya mencionados. Se propone la construcción de un destilador por arrastre de vapor siguiendo los pasos que se detalla a continuación:

- La materia prima que ingresa al destilador es de 3 Kg.
- Se tomó el diámetro de la olla a presión para realizar distintos cálculos.
- A partir del destilador artesanal construido en un principio se hizo el dimensionamiento del alambique por medio del volumen de éste.

3.3. CÁLCULOS REALIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

3.3.1. CÁLCULOS EN EL GENERADOR DE VAPOR

3.3.1.1. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN DE LA MEZCLA

Fundamento teórico:

Por efecto de la temperatura del vapor (100 °C) durante un determinado tiempo, el tejido vegetal se rompe liberando el aceite esencial, el cual presenta a estas condiciones una presión de vapor:

$$P_T = P_v + P_a.$$

La fracción de aceite esencial en la mezcla de vapor será determinada por la siguiente fórmula:

$$Y_a = \frac{P_a}{P_T}$$

CÁLCULOS PARA HALLAR LA TEMPERATURA DE EBULLICIÓN EN LA PAZ

$$P_T = P_{H_2O} + P_{Limoneno}$$

$$P_T = 495 \text{ mmHg}$$

Composición del agua en el vapor aproximadamente 95% supuesto (ya que se está trabajando con vapor de agua)

$$P_{H_2O} = 470.25 \text{ mmHg}$$

$$P_{Limoneno} = 24.75 \text{ mmHg}$$

Composición másica del agua en el vapor

$$Y_W = \frac{0.95 \times 18}{(0.95 \times 18) + (0.05 \times 136)} = 0.75 \left(71.5 \frac{\text{KgH}_2\text{O}}{\text{KgVapor}} \right)$$

- Flujo másico de agua generado en el programa es:

$$\text{Flujo de vapor} = 2.6 \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right]$$

- Cálculo de flujo de limoneno separado

$$W_{Limoneno} = W_{H_2O} \times \frac{28.5 \text{ Kg Limoneno}}{71.5 \text{ Kg H}_2\text{O}} = 398 \text{ Kg Limoneno} \quad (13)$$

3.3.1.2. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA EN EL GENERADOR DE VAPOR

El sistema termodinámico que se encuentra con mayor frecuencia en aplicaciones de ingeniería es el sistema abierto. Dicho sistema se caracteriza por el hecho de que la masa y la energía pueden cruzar los límites del sistema. Los sistemas abiertos influyen en un gran número de aparatos prácticos que pueden ser subdivididos de manera conveniente en sistemas que experimentan un proceso de estado estable o un proceso transitorio (14).

En el generador de vapor se lo realiza en estado no estacionario y este se divide en tres etapas:

- calentamiento del agua hasta la temperatura de ebullición
- presurización del vapor generado
- alimentación del vapor del arrastre
- CALENTAMIENTO DEL AGUA

Balance energético

$$E - S = A$$

Donde:

E=Entrada de vapor

S= Salida de vapor

A= Acumulación que existe en el generador

Suponiendo que las pérdidas son despreciables

$$Q = \frac{dU}{dt}$$

$$Q = MCp \frac{dT}{dt}$$

Donde M es la masa cargada al generador

$$M = \rho \times V = \rho \times A \times h$$

$$\int_0^t dt = \frac{MCp}{Q} \int_{T_0}^{T_{eb}} dT$$

$$t = \frac{MCp (T_{eb} - T_0)}{Q}$$

T_{eb} = temperatura de ebullición del agua $\approx 88^\circ\text{C}$

T_0 = temperatura inicial del agua cargada $\approx 15^\circ\text{C}$

Q = Potencia calorífica

Las propiedades el agua y del vapor de agua se las obtuvo del Libro o Texto Van Ness (Termodinámica).

El Cp del agua es 4.186 KJ/Kg $^\circ\text{K}$

Propiedades termodinámicas del vapor de agua		
P(Kpa)	H(Kj/Kg)	T($^\circ\text{K}$)
150	2685,2	111,37
175	2700,3	116,06

Interpolando para nuestra presión que es 162.12Kpa nos da los siguientes resultados:

Propiedades termodinámicas del vapor de agua		
P(Kpa)	H(Kj/Kg)	T($^\circ\text{K}$)

	2692,5204	
162,12	8	113,643712

3.3.1.3. PRESURIZACIÓN DEL VAPOR

Alimentación del vapor de arrastre

Balance de energía

$$E - S = A$$

$$Q - H \times \dot{W}_{vap} = 0$$

\dot{W}_{vap} = flujo másico del vapor generado

H = entalpía del vapor generado

$$\dot{W}_{vap} = \frac{Q}{H}$$

Balance Másico

$$E - S = A$$

$$-\dot{W}_{vap} = \frac{dm_{H_2O}}{dt}$$

$$-\dot{W}_{vap} = \frac{d(\rho \times V)}{dt} = \rho A \frac{dh}{dt}$$

$$\int_0^{t_v} dt = -\frac{\rho \times A}{\dot{W}_{vap}} \times \int_{h_o}^{h_f} dh$$

$$t_v = -\frac{\rho A}{\dot{W}_{vap}} (h_f - h_o)$$

$$h_f = h_o - \frac{\dot{W}_{vap}}{\rho \times A} \times t_v$$

T_v = tiempo de vaporización

h_o = Nivel inicial del agua en el generador

h_f = Nivel final del agua en el generador (2,3) (15,16)

3.3.2. CÁLCULOS DEL CONDENSADOR

La elaboración de la norma fue encomendada por el Comité Técnico Normalizador CTN 3.16 “Tubérculos y Raíces”. Esta norma establece las definiciones, clasificación y requisitos que debe cumplir el chuño y la tunta para su adecuada comercialización. La norma contiene disposiciones en cuanto a la clasificación por tamaño, requisitos de materia prima, requisitos generales del chuño y la tunta, almacenamiento, envasado y etiquetado.

3.3.2.1. DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS DEL SERPENTIN

Se emplea un condensador tipo serpentín empleando como refrigerante agua. Según estos datos se podrá ver las medidas que tendrá el condensador.

Coefficiente de convección empleando:

$$\bar{h} = 0.555 \left(\frac{\rho(\rho - \rho_v)g \times K^3 hfg}{\mu \times d \times (T_g - T_p)} \right)^{1/4}$$

Donde:

$$g = \text{aceleración de la gravedad} = 9.775 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$k = \text{conductividad térmica} = 0.68 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

h_{fg} = calor latente de condensación

- El Calor latente de condensación del Vapor es una función de la temperatura:

$$hfg = 597.02 - 0.5402 * T - 0.0004 * T^2$$

donde T esta en grados centígrados, y h_{fg} esta en Kcal/Kg, (el programa lo convierte a unidades del sistema internacional)

$$\mu = \text{viscosidad} = 0.000282 [Pa \times s]$$

$$d = \text{diámetro del tubo} = 1.6 \text{ (cm)}$$

$$T_g = \text{temperatura del vapor} = 87^{\circ}C$$

$$T_p = \text{Temperatura de pared} = 85^{\circ}C$$

- La temperatura del vapor es la temperatura aproximada de la temperatura de ebullición normal del agua en La Paz.
- La temperatura de pared es solo una temperatura aproximada que se supuso, porque esta temperatura es difícil de medir exactamente, pero sin embargo es aproximada a la temperatura del vapor.

Balance de energía:

$$\dot{W}_{vap} \times hfg = \bar{h} \times A \times (Tg - Tp)$$

$$A = \frac{\dot{W}_{vap} \times hfg}{\bar{h}(Tg - Tp)}$$

A = área de transferencia de calor

$$A = N_{VUELTAS} \times \left(\frac{\pi}{4} \times D^2_{TUBO} \right) \times (\pi \times D_{SERPENTIN})$$

$$N_{VUELTAS} = \frac{A}{\frac{\pi^2}{4} \times D^2_{TUBO} \times D_{SERPENTIN}} \quad (4,5)$$

$$N_{VUELTAS} = \frac{0.0906 \text{ cm}^2}{\frac{\pi^2}{4} \times (1.6 \text{ cm}) \times (13.2)} =$$

El número de vueltas dado en el programa es de 8. Pero en teoría puesto que en el proceso de destilación la parte más importante es el proceso de condensación se da una vuelta más para asegurar este proceso (17,18).

Finalmente para saber la longitud del tubo se utilizó la siguiente fórmula:

$$L = \# \text{ vueltas} \times \pi \times D_{SERPENTIN}$$

$$L = 9 \times \pi \times 13.2 \text{ cm}$$

$$L = 373.22 \text{ cm} \approx 3.7 \text{ m}$$

3.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE SALIDA

Según la Ley de Bernoulli

$$E - S = A$$

$$W_{H_2O}^{ent} - W_{H_2O}^{sal} = A$$

$$F_{H_2O}^{ent} \cdot \rho_{H_2O} - F_{H_2O}^{sal} \cdot \rho_{H_2O} = 0$$

Como la temperatura es igual a la entrada y salida

$$F_{H_2O}^{ent} = F_{H_2O}^{sal}$$

Donde:

$$F_{H_2O}^{ent} = \text{Flujo del caudal del agua de entrada}$$

$$F_{H_2O}^{ent} = v_2 \times A \dots \text{ec (1)}$$

Por lo tanto, mediante un análisis en la ecuación de Bernoulli se tiene:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Donde queda:

$$v_2 = \sqrt{2 \times g \times h} \dots \text{ec (2)}$$

Reemplazando la ecuación 2 en 1

$$A = \frac{F_{H_2O}^{ent}}{\sqrt{2 \times g \times h}} \dots \text{ec (3)}$$

Donde el área se halla por medio de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Q}{v} \dots (4)$$

$$A = \frac{\pi}{4} Dc^2 \dots (5)$$

Hallando la velocidad a partir de la ecuación (2)

$$v_2 = \sqrt{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times h} \dots (6)$$

$$v_2 = \frac{m}{s}$$

Reemplazando la ecuación (6) en (4)

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{9.62 \times 10^5 \frac{m^3}{s}}{2.87 \frac{m}{s}} = c m^2 \dots (7)$$

Reemplazando la ecuación (7) en (5)

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

$$Dc = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} =$$

Mediante estas ecuaciones se hizo correr un programa en Excel el cual ayuda a obtener los datos introducidos más fácilmente.

3.3.3. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL ALAMBIQUE

Como se desconoce datos de la concentración inicial y final de la cáscara de naranja. Se procedió a hacer la medición de la masa total de cáscara que entraba en el destilador, la medición del diámetro y altura que tenía. Para tener el volumen del alambique se tomaron los siguientes datos:

$$\text{Diametro} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Altura} = 61.3 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = \pi \times r^2 \times h$$

$$\text{Volumen} = \pi \times (10 \text{ cm})^2 \times 61.3 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = 19258.86 \text{ cm}^3$$

Para tomar la masa de la cáscara de naranja que estaba en el destilador se realizó tres mediciones:

$$m_1 = 2382.90 \text{ g}$$

$$m_2 = 2598.20 \text{ g}$$

$$m_3 = 2409.58 \text{ g}$$

$$\hline m = 2463.56 \text{ g}$$

$$m_{teorica} = 3000 \text{ g}$$

Con los datos de masa y volumen se hace la siguiente relación:

$$\frac{19258.86 \text{ cm}^3}{2463.56 \text{ g}} \times 3000 \text{ g} = 23388.95 \text{ cm}^3$$

Con el dato del volumen obtenido y tomando en cuenta la bibliografía se dio un espacio del 15% adicional al volumen:

$$Volumen = 24623.95 \text{ cm}^3 + 15\%$$

$$Volumen = 24623.95 \text{ cm}^3 + 3693.59$$

$$Volumen = 28317.54 \text{ cm}^3$$

Por medio de este volumen y suponiendo un dato de 30 cm de diámetro se obtuvo la altura del equipo:

$$Volumen = \pi \times r^2 \times h$$

$$28317.54 \text{ cm}^3 = \pi \times (15)^2 \times h$$

Despejando:

$$h = \frac{28317054 \text{ cm}^3}{[\pi \times (15)^2] \text{ cm}^2} = 39.85 \text{ cm}$$

3.3.4. DISTRIBUCIÓN DEL FLUIDO

La distribución uniforme del fluido es esencial para la operación eficiente del equipo en los procesos químicos, como interruptores automáticos y reactores, mezcladores, quemadores, intercambiadores de calor, dados o troqueles de extrusión y chimeneas para el hilado de textiles. Para asegurar la distribución óptima, es preciso tomar en consideración el comportamiento del flujo dentro del distribuidor, las condiciones del mismo corriente arriba del distribuidor y las que prevalecen corriente abajo del mismo. En los siguientes párrafos se proporcionan guías para diseñar varias clases de distribuidores de fluidos. Estos procesos toman en cuenta solo el comportamiento del flujo dentro del distribuidor.

3.3.4.1. DISTRIBUIDORES DE TUBERIA PERFORADA

Uno de los tipos de distribuidor más comunes es la simple tubería perforada o rociador que se utiliza en una gran variedad de

configuraciones de tubo. Como se observa en la figura 10, la distribución del flujo es uniforme y esto sucede cuando se tiene un equilibrio apropiado entre: 1) la energía cinética y la fuerza de cantidad de movimiento en la entrada de la corriente, 2) las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería, y 3) la caída de presión en los orificios de salida. Cuando predominan la energía cinética y la fuerza de cantidad de movimiento de la corriente de entrada, se descargan cantidades cada vez mayores de fluido conforme el flujo se desplaza hacia el extremo cerrado; en cambio cuando lo que predominan son las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería, se descargaran cantidades cada vez menores conforme el flujo recorre la trayectoria hacia el extremo cerrado. Cuando una perturbación corriente arriba, por ejemplo, la que produce un codo, se superpone al caso de la predominancia de energía cinética y la fuerza en la cantidad de movimiento en la corriente de entrada, el flujo que abandona los orificios de salida cerca del distribuidor y cerca del extremo cerrado pueden ser mayores que en la porción intermedia (19).

Al ver la distribución de tubos en bibliografía se decidió hacerla de esta manera pero intentando que el vapor se distribuya por todo el alambique. Por lo cual se hizo de la siguiente forma:

3.3.5. CODIFICACIÓN DEL PROGRAMA

3.3.5.1. LENGUAJE DE CODIFICACIÓN

El programa tiene un lenguaje de código que se ilustra en el Anexo 1.

3.3.5.2. **VENTANA ABIERTA EN EL EXCEL.-** Este es el esquema donde introducimos los datos de operación para así obtener los datos calculados por el programa. Ver Figura 7.

Datos del generador de vapor					
Potencia	Q=[KW]	7,5			
Diámetro Tanque	D=[m]	0.22			
Densidad	rho=[Kg/m ³]	1000			
Datos del vapor generado					
Presion del vapor	P=[atm]	1.6	Calcular		
Entalpía del vapor	H2=[KJ/Kg]	2692.52			
Temperatura vapor	T2=[°C]	113.64			
Tiempo de vaporización	t=[min]	30			
Condesador (serpentín)					
Temperatura de pared	T=[°C]	85			
Diámetro Tubo	D _{tub} =[cm]	1,6			
Diámetro Serpentín	D _{serp} =[cm]	13,2			

Figura 7: Ventana de Excel abierta

3.4. DATOS Y PARAMETROS EXPERIMENTALES DEL EQUIPO

Con estos datos se dio un esquema del destilador por arrastre de vapor, como se muestra en la Figura 8.

- Los parámetros del diseño experimental son:

Diámetro del alambique = 30cm

Altura del alambique = 39.85cm = 40cm

Diámetro de perforación del distribuidor de vapor (3Tubos divididos -6

Perforaciones en cada uno de los tubos) = 1.44mm

Diámetro del tubo condensador = 1.6cm

Diámetro del condensador = 13.2cm

Longitud del tubo condensador = 3.7m

- El equipo tiene las siguientes condiciones de operación según datos teóricos de nuestro programa en Excel son:

Flujo de vapor = 2.6g/s

Presión de vapor = 1.6 at

Temperatura de vapor = 113.64°C

Tiempo de vaporización = 30min

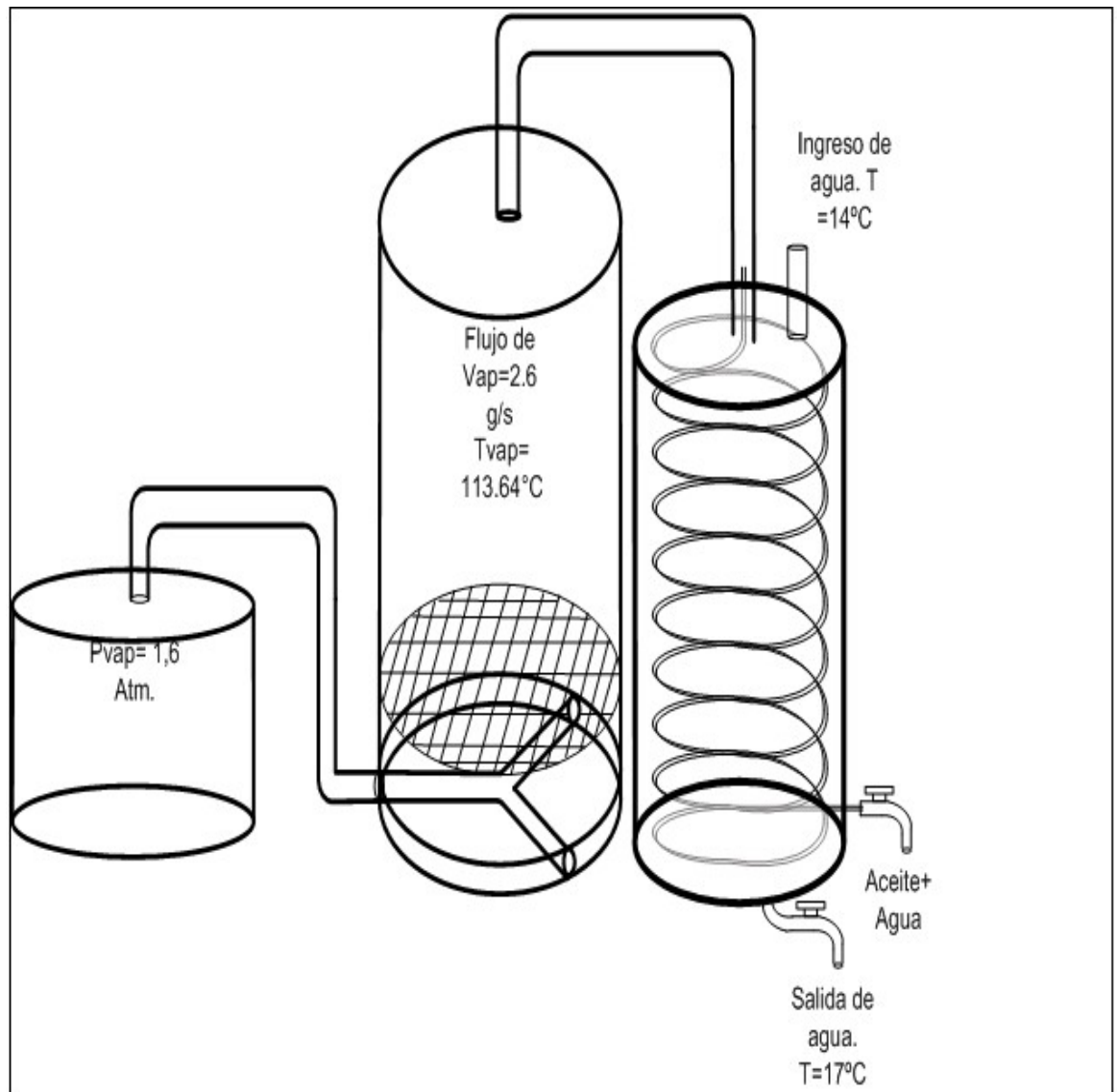


Figura 8: Diseño del equipo de destilación

3.5. BIODIGESTOR

3.5.1. MATERIALES Y REACTIVOS

El biodigestor consta de:

- 1 Recipiente de aluminio Fig. 9
- 9 Botellas Fig. 9
- 9 Jeringas Fig. 9
- 9 Tapones de goma Fig. 9
- 1 Manómetro de columna liquida Fig. 12

Equipo de vidrio

- Probeta
- Vaso de precipitado
- Varilla

Materia prima

- Retorta (Cáscara de naranja que queda después de la destilación)
- Inoculo
- Hidrolato

Reactivos

- Agua desionizada
- Nitrógeno

Esquema del equipo utilizado:



Figura 9: Botellones y fuente para la biodigestión

3.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOABONO

Para proceder a la obtención del bioabono y observar la generación de biogas consecuentemente se tuvo que realizar pruebas de sólidos totales, sólidos volátiles y sólidos fijos. El procedimiento utilizado se lo puede observar en el Anexo 2.

3.5.3. CÁLCULOS DE SÓLIDOS VOLATILES, TOTALES Y FIJOS.-

$$\% \text{ Sólidos Totales} = (A-B) * 100 / (C-B)$$

$$\% \text{ Sólidos Volátiles} = ((A-D)*100) / (A-B)$$

$$\% \text{ Sólidos Fijos} = (D-B)*100 / (A-B)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca + peso del crisol

B = Peso del crisol

C = Peso de la muestra fresca + peso del crisol

D = Peso de la muestra seca + peso del crisol (una vez que el crisol + la muestra fueron sometidos a 505 °C dentro de la mufla)

Los resultados obtenidos por medio del residuo de cáscara en la retorta fueron:

$$\% \text{ Sólidos Totales} = ((A-B) * 100) / (C-B)$$

$$\text{Crisol 1} = \frac{(23.9395 - 21.3759)}{(28.7659 - 21.3759)} \times 100 = 34.69\%$$

$$\text{Crisol 2} = \frac{(20.2573 - 17.7523)}{(24.9150 - 17.7523)} \times 100 = 34.97\%$$

$$\text{Crisol 3} = \frac{(25.3426 - 22.5976)}{(30.5590 - 22.5976)} \times 100 = 34.69\%$$

$$\% \text{ Sólidos Volátiles} = ((A-D)*100) / (A-B)$$

$$\text{Crisol 1} = \frac{(23.9395 - 21.4991)}{(23.9395 - 21.3759)} \times 100 = 95.19\%$$

$$\text{Crisol 2} = \frac{(20.2573 - 17.8760)}{(20.2573 - 17.7523)} \times 100 = 95.06\%$$

$$\text{Crisol 3} = \frac{(25.3426 - 22.7323)}{(30.5590 - 22.5976)} \times 100 = 95.09\%$$

$$\% \text{ Sólidos Fijos} = (D-B)*100 / (A-B)$$

$$\text{Crisol 1} = \frac{(21.4991 - 21.3759)}{(23.9395 - 21.3759)} \times 100 = 4.81\%$$

$$\text{Crisol 2} = \frac{(17.8760 - 17.7523)}{(20.2573 - 17.7523)} \times 100 = 4.94\%$$

$$\text{Crisol 3} = \frac{(22.7323 - 22.5976)}{(25.3426 - 22.5976)} \times 100 = 4.91\%$$

3.5.4. EVALUACIÓN DEL EQUIPO BIODIGESTOR

Al obtener los resultados de los sólidos totales, volátiles y fijos. Se empezó a colocar en los botellones muestras estas por medio de una medición contendrían cáscara de naranja, hidrolato (agua destilada con el aceite) y inoculo (estiércol de vaca) por triplicado.

Primero se hizo una relación de peso – volumen: Por lo tanto se pesó la cantidad de retorta que quedaba en el destilador y la cantidad de hidrolato que se arrastraba con el aceite:

$$m_{\text{retorta}} = 4493.7 \text{ g}$$

$$V_{\text{hidrolato}} = 1155 \text{ ml}$$

$$\text{relacion} = \frac{m}{v} = \frac{4493.7 \text{ g}}{1155 \text{ ml}} = 3.8906 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

Para empezar con la biodigestión se realizó los siguientes pasos:

Cada botellón tiene una capacidad de 450 ml de los cuales se tomó la siguiente consideración:

-25 % gas CH₄ a formarse por lo cual se dejó ese espacio de cabeza. Por lo tanto en el 75% del botellón se puso las siguientes cantidades de sustrato.

$$\text{-75\% sustrato} = 337.5 \text{ ml}$$

1) Primer botellón (1-3) Una parte de sustrato de cáscara de naranja y tres partes de inoculo. Figura 10.

La parte del sustrato contiene 112.5ml de sustrato de cáscara de naranja que está formada por:

$$84.37 \text{ ml de retorta y } 28.12 \text{ ml de hidrolato}$$

Las tres partes de inoculo consta de un volumen de 225 ml de inoculo

2) Segundo botellón (2-2) Dos partes de sustrato de cáscara de naranja y dos partes de inóculo. Figura 10.

Las dos partes del sustrato contiene 168ml de sustrato de cáscara de naranja donde:

126.6ml de retorta y 42.2ml de hidrolato

Las dos partes de inóculo consta de un volumen de 168ml de inóculo

3) Tercer botellón directamente se colocó 337.5ml de inóculo. Figura 10.

Figura10: Después de poner los sustratos en los botellones se empieza el proceso de biodigestión.



Figura 10: Botellones con las muestras en tres repeticiones.

Se hizo pasar nitrógeno durante 60 segundos en cada botellón para ayudar con el proceso anaerobio. Fig. 11



Figura11: Inyección de nitrógeno dado a cada botellón por medio del tanque.

La temperatura de operación es de 35°C, que se controla por medio de un termostato que calienta y mantiene esa temperatura. Se va aumentando el agua a medida que pasa el tiempo. Y se va realizando las mediciones de gas por medio del manómetro como se muestra en la figura 12.



Figura 12: Mediciones tomadas con el manómetro.

Cuando se observa un valor constante donde ya no existe producción de biogás se para el proceso ya que esto indica que ha culminado la biodigestión. Entonces se lleva las muestras para análisis del Biol, para ver la calidad del bioabono.



4. ANALISIS Y RESULTADOS.

4.1. DETERMINACION DE PARAMETROS OPTIMOS EXPERIMENTALES.-

4.1.1. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DESTILADOR.-

El equipo que fue diseñado y construido como se puede ver en la Figura 13 sigue todos los parámetros de diseño que se tomaron en la parte experimental. Que son los siguientes:

Diámetro del alambique = 30cm

Altura del alambique = 39.85cm = 40cm

Diámetro de perforación del distribuidor de vapor (3Tubos divididos -6 Perforaciones en cada uno de los tubos) = 1.44mm

Diámetro del tubo condensador = 1.6cm

Diámetro del condensador = 13.2cm

Longitud del tubo condensador = 3.7m



Figura13: Destilador por arrastre de vapor

Se tomaron las siguientes consideraciones para el equipo. Para la buena generación de vapor se realizó un distribuidor de vapor que esté en tres partes ya que así puede distribuir el vapor de manera uniforme en todo el alambique. Además se colocó un retenedor de materia prima para que no se comprima el vapor en la parte inferior y además tener una mayor facilidad para descargar la materia prima. Ver figura14.



Figura 14: Distribuidor de vapor

En cuanto al condensador se realizó las nueve vueltas para alcanzar una buena refrigeración y una óptima condensación. Para recolectar mejor el condensado del equipo se puso dos grifos. Uno para que salga el aceite y el hidrolato. Y otro para que salga el agua de refrigeración. También se realizó un corte al equipo en la parte superior para evitar la presión contenida, y así poder ver el nivel de agua del condensador. Ver Figura 15.

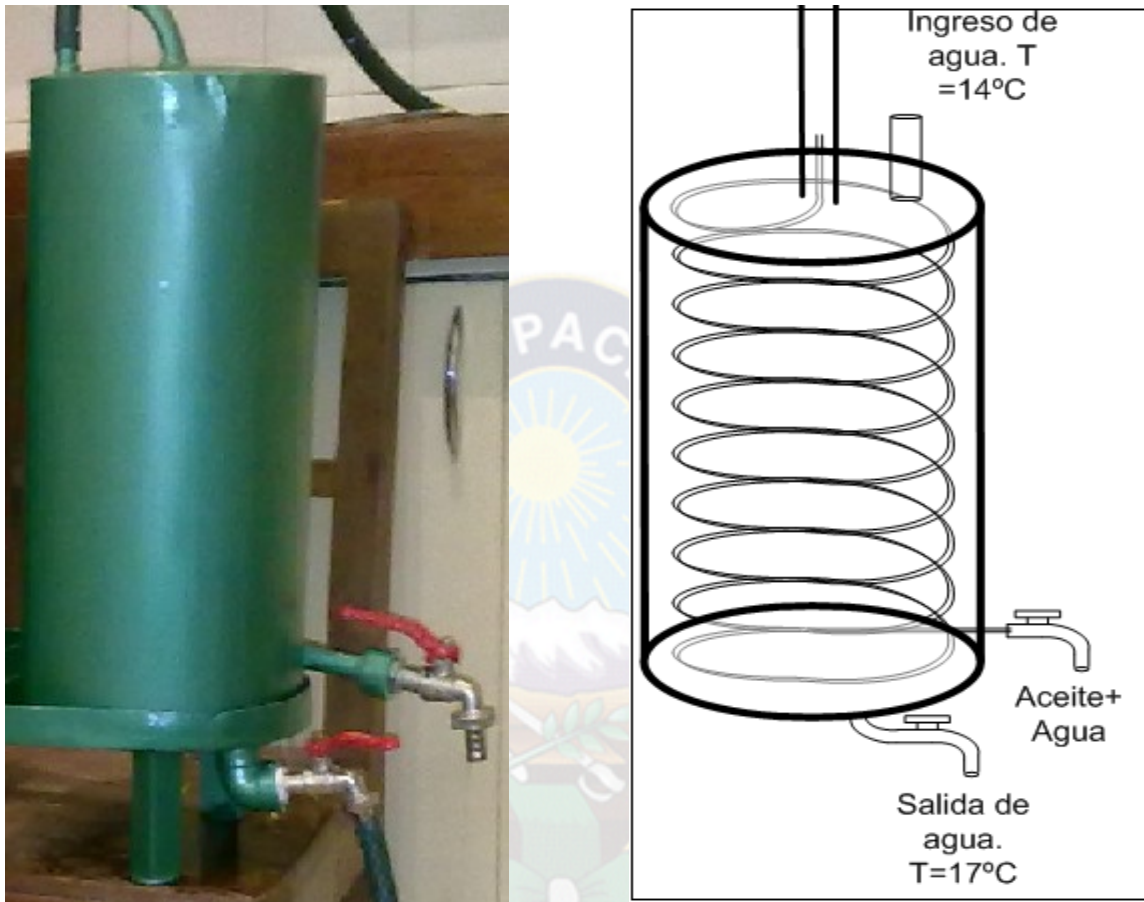


Figura 15: Condensador del equipo

4.2. CONDICIONES Y CALCULOS DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

El equipo no cuenta con un manómetro para medir la presión de vapor y tampoco con un termómetro para obtener la temperatura de vaporización así que se tomaron datos de la pared del destilador para conseguir datos de la temperatura de vaporización y así llegar a determinar la presión de vapor y el flujo de vapor.

Se tomaron datos a lo largo del tubo entre el alambique y el condensador. Se debe verificar que la temperatura es aproximadamente constante. Tomando en cuenta que la presión atmosférica es 495 mmHg y no existe presurización en el generador de vapor.

Entonces por medio de la convección natural del equipo se puede definir por la Ley de Fournier la temperatura que existe en el destilador. La siguiente fórmula muestra los cálculos para este objetivo:

4.2.1. CALCULO DE LA TEMPERATURA DE OPERACION

$$-KA \frac{dT}{dr} = hA_T (T' - T_\infty)$$

$$-K \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \frac{dT}{dr} = hA_T (T' - T_\infty)$$

$$-K \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \int_{T_{op}}^T dT = h \cdot 2 \cdot \pi \cdot Re \cdot L (T' - T_\infty) \int_{Ro}^{Re} \frac{dr}{r}$$

$$-K(T' - T_{op}) = h \cdot Re \cdot (T' - T_\infty) \ln\left(\frac{Re}{Ro}\right)$$

$$T_{op} = T' + \frac{h}{K} Re (T' - T_\infty) \ln\left(\frac{Re}{Ro}\right)$$

Donde:

T_{op} = Temperatura de operación

T' = Temperatura de pared

T_∞ = Temperatura ambiente

h = Convección natural

Re = Diámetro externo

Ro = Diámetro interno

K = Conductividad del material

CALCULO DE (h)

$$Nu = \frac{h \cdot Lc}{k}$$

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_p^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{1/6} \right]^{3/4}} \right\}^2$$

$$Ra = Gr \cdot Pr = \frac{g\beta(T' - T_\infty)D^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

Donde:

Nu =Numero de Nusselt

L_c =Diámetro de la tubería de cobre

k =Conductividad térmica del aire

Ra =Numero de Rayleigh

Gr =Numero de Grashof

Pr =Numero de Prandtl

D =Diámetro del tubo

g =Gravedad

ν =Viscosidad Cinemática

β =Coeficiente de Dilatación

Evaluando las propiedades a la temperatura promedio las constantes de las formulas son las siguientes:

$$\bar{T} = \frac{78 + 15}{2} = 46.5^\circ C$$

$$k = 0.01361 \frac{BTU}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \times \frac{252 \text{ calorías}}{1 BTU} \times \frac{4.184 J}{1 \text{ caloria}} \times \frac{1 h}{3600 s} \times \frac{1 ft}{0.3041 m} \times \frac{1.8^\circ F}{1^\circ C} = 0.0236 \frac{J}{s \cdot m \cdot ^\circ C}$$

$$\nu = 0.5148 \frac{ft^2}{h} \times \frac{(0.3041 m)^2}{(1 ft)^2} \times \frac{1 h}{3600 s} = 1.3224 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

$$\beta = \frac{1}{\bar{T}} = \frac{1}{46.5 + 273} = 3.1299 \times 10^{-3}$$

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$D = 1.6 \times 10^{-2} m$$

$$K = 30 \frac{BTU}{h \cdot ft \cdot ^\circ F} \times \frac{252 \text{ calorías}}{1 BTU} \times \frac{4.184 J}{1 \text{ caloría}} \times \frac{1h}{3600 s} \times \frac{1ft}{0.3041 m} \times \frac{1.8^\circ F}{1^\circ C} = 52.01 \frac{J}{s \cdot m \cdot ^\circ C}$$

$$Nu = \frac{h \cdot Lc}{k} \rightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{Lc} = \frac{5.5699 \cdot 0.0236}{1.6 \times 10^{-2}} = 8.2155$$

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387(45263.20)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{0.7365} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 5.5699$$

$$Ra = \frac{9.8 \cdot 3.1300 \times 10^{-3} (78 - 15) (1.6 \times 10^{-2})^3}{(1.3224 \times 10^{-5})^2} \cdot 0.7365 = 45263.20$$

La temperatura de operación resultaría:

$$T_{op} = 48 + \frac{8.2155}{52.0076} \times 1.6 \times (78 - 15) \ln \left(\frac{1.6}{1.4} \right)$$

$$T_{op} = 78 + 2.13 = 80.13^\circ C \quad (20)$$

El equipo tiene las siguientes condiciones de operación según datos teóricos de nuestro programa en Excel son:

Flujo de vapor = 2.6g/s

Presión de vapor = 1.6 at

Temperatura de vapor = 113.64°C

Tiempo de vaporización = 30min

Los datos experimentales tomados del equipo en funcionamiento son:

Flujo de vapor = 1.92g/s

Presión de vapor = 1.11at

Temperatura de vapor = 80.13°C

Tiempo de vaporización = 30min

4.2.2. EFECTO DEL SECADO SOBRE LA EFICIENCIA DE LA DESTILACION

Al obtener la materia prima de los puntos de venta de jugos cítricos, se realizaron distintas pruebas con respecto a su tiempo de secado.

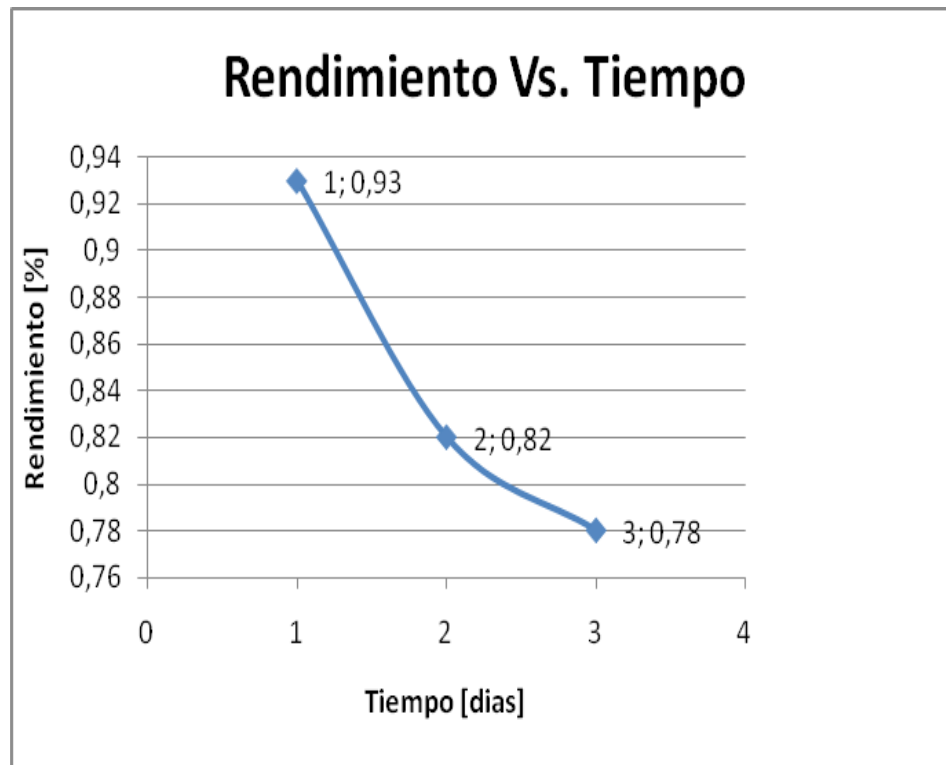
Se hizo secar la cascara de naranja tomando parámetros de cáscara fresca, semiseca y seca. Se realizó la destilación viendo que el primer día la cáscara estaba fresca, el segundo día semiseca y el tercer día estaba completamente seca de esta forma se pudo observar el rendimiento con respecto al tiempo que pasaba. Ver Tabla 2

Los resultados fueron los siguientes:

Tabla2 Datos de la influencia del secado en el rendimiento.

Cáscara de naranja (g)	Tiempo de secado (día)	Condiciones de la materia prima	Volumen obtenido	Rendimiento %
1814.37g	1	Fresca	20ml--> 16,9g	0,93%
1814.37g	2	Semiseca	17.5ml--> 14,79g	0,82%
1360.78g	3	Seca	12.5ml--> 10,56g	0,78%

Como se puede observar el primer día de destilación tiene mejores resultados según el rendimiento de aceite obtenido. Además cabe resaltar que cuando se obtiene la destilación del aceite esencial en el primer día tiene un olor a naranja fuerte en cambio a razón de los otros días el aroma va disminuyendo. Se realizó el siguiente gráfico para poder observar el incremento del rendimiento obtenido.



4.2.3. EFECTO DE LA MOLIENDA EN LA DESTILACION

Se observó que mientras más triturada estaba la materia prima tenía un mejor rendimiento. En un principio se puso la materia prima tal como se recolectó y se observó que intervenía con el flujo de vapor y su rendimiento era demasiado bajo. Pero cuando se dio un mejor acondicionamiento y se empezó a triturar la materia prima se obtuvo un mejor rendimiento.

4.2.4. EFECTO DE LA POTENCIA DEL GENERADOR DE VAPOR

Al reducir la potencia de la hornilla en este caso el flujo de vapor el rendimiento disminuyó a 11cm^3 aproximadamente la mitad del rendimiento obtenido. De esta forma se puede aseverar que el flujo de vapor es directamente proporcional a la eficiencia del proceso, dentro del rango de valores.

4.3. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL PRODUCTO FINAL

El aceite esencial obtenido tubo un rendimiento que se encuentra dentro de los rangos de operación en la bibliografía. Los aspectos a resaltar son los siguientes:

4.3.1. ANALISIS DEL ACEITE ESENCIAL, CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS

El aceite esencial de naranja es ligeramente amarillento de olor característico a las naranjas, mientras que su sabor es ligeramente amargo.

4.3.2. DETERMINACION DE COMPONENTES EN EL ACEITE ESENCIAL

No se pudo realizar la cromatografía de gases para ver el porcentaje de D-limoneno obtenido en el aceite esencial de naranja. Por lo cual se hizo la prueba por medio de una resonancia magnética nuclear y cromatografía por columna para el análisis.

El aceite esencial de naranja tiene un 90% de d-Limoneno. Lo cual muestra que el aceite obtenido es de alta calidad además que no existe la necesidad de hacer una rectificación por su alto grado de pureza. La muestra fue analizada en la Facultad de Ciencias Puras Químicas y la persona encargada de la información obtenida es el Dr Jhony Flores.

Los datos del número de carbonos detectados experimentalmente con la comparación a los datos reales fueron los siguientes:

Tabla 3: Comparación de datos del d – Limoneno experimentales con bibliográficos.

No. Carbono	Datos Exp	Datos Bibliografía
1	133,2	133,1
2	120,8	120,8
3	30,7	30,6
4	41,2	41,2
5	28,0	28,0
6	30,9	30,8
7	23,3	23,7
8	149,6	149,6
9	108,5	108,4
10	20,6	20,5

El Espectro de Resonancia Magnética Nuclear ^1H es el que se muestra en la Figura16.

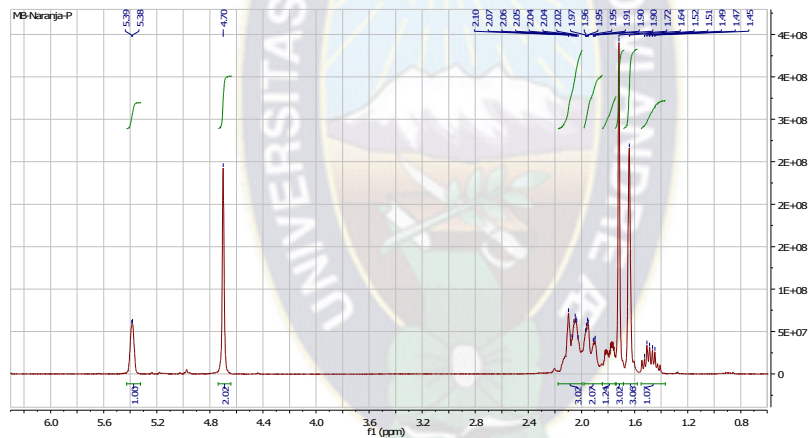


Figura16: Espectro de Resonancia Magnética Nuclear ^1H

El Espectro de Resonancia Magnética Nuclear ^{13}C es el que se muestra en la FIGURA 17.

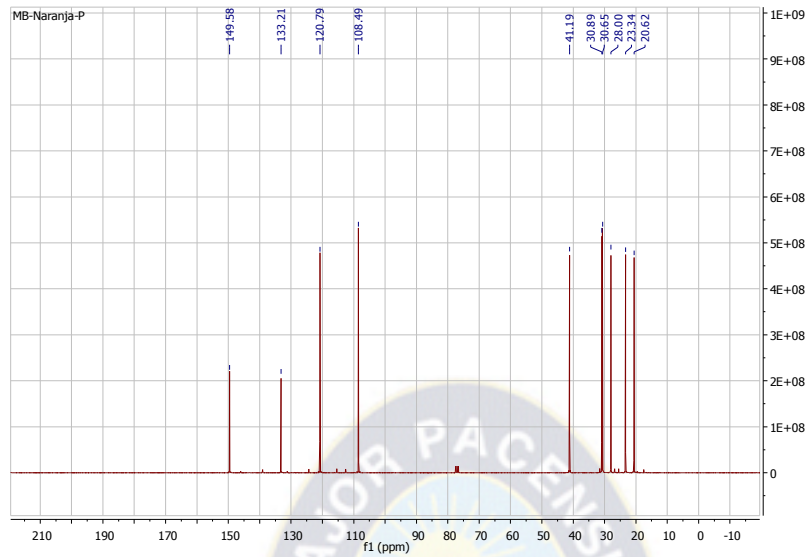


Figura 17: El Espectro de Resonancia Magnética Nuclear ^{13}C .

- **INFORME DE LOS DATOS OBTENIDOS.-**

“La muestra fue sometida a una cromatografía por columna logrando obtenerse el limoneno con alta pureza. La concentración de Limoneno en la muestra original es mayor al 90%.”

Los datos coinciden con los datos patrones que se encuentran en el anexo 3. Ver Anexo 3.

4.3.3. ANALISIS DEL PRODUCTO DESTILADO

En la Tabla 4 se puede apreciar las características técnicas para el d-limoneno en un grado técnico.

Tabla 4: Características del aceite esencial de naranja

	Grado Técnico
--	---------------

Apariencia	Líquido amarillo
Olor	Aroma fuerte a naranja
Solubilidad en agua	Insoluble
Solubilidad en alcohol	Soluble
Densidad	0.8450 g/ml
Rendimiento Promedio	0.9314%

Como se puede observar en la tabla el aceite esencial de naranja aparte de tener un alto grado de pureza. Tiene un rendimiento óptimo a comparación de la bibliografía que indican que el aceite tiene un rendimiento del 0.6% - 4% expresado en Litro de aceite esencial obtenido por kilogramo de cáscara de naranja introducida.

Además que por día se obtiene 125 ml de aceite esencial de naranja. Cabe decir que por 2.5 Kg de materia prima se obtienen 25 ml (0.02 Kg) de aceite esencial de naranja

4.4. RESULTADOS DE LOS ANALISIS AL BIOABONO

Se llegó al final del proceso de la obtención de nuestro bioabono o biofertilizante en un periodo aproximado de tres meses.

4.4.1. ANALISIS DEL BIOABONO OBTENIDO

Se tomó datos cada dos días del desplazamiento del Biogás que se generaba, el proceso concluyó cuando dejó de generarse biogás como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5: Biogás medido por el manómetro

Desplazamiento de gas (cm de H ₂ O)	18-mar	22-mar	24-mar	28-mar	30-mar	01-abr	04-abr	06-abr	08-abr	11-abr	13-abr
1A	155	140	58	DESTAP O	113	32,8	3	30,2	21	14,2	5
1B	120	91	65	59	20	7,4	8,4	55,2	58,8	18,4	14,8
1C	12	7	0	15	1,4	17,2	9,2	2,4	0	DESTAP O	0,6
2A	14,6	10,4	16,6	16	0,6	1,2	2,2	1,2	12,8	0,8	0
2B	12	7	66	0	16,4	28,2	6,2	40,6	4,2	8,8	7,2
2C	65	53,4	47,6	44,4	38,2	11,8	16,6	27	23,6	15,4	12,4
3A	3,4	2,4	0	7,8	5,6	5	11,2	14,4	6,4	2	11
3B	14	9,4	5,8	5	4,6	3,6	10,6	9,4	5	1,6	9,2
3C	8	2,8	5,6	9,6	7,6	5,6	9,8	11,2	6,2	3	10

Desplazamiento de gas (cm de H ₂ O)	15-abr	18-abr	20-abr	25-abr	27-abr	03-may	07-may	09-may	11-may	13-may	16-may
1A	16,6	9,8	4,2	0	4,6	0,6	0,8	0,4	0	0	0
1B	13,2	2,8	0,6	0	5	0,6	0,6	0,4	0	0	0
1C	0,8	2,2	4,4	0	4	0,4	1	0,4	0	0	0
2A	0,5	0	0,6	0	13,6	0,4	1	0,2	0	0	0
2B	23,6	8,6	6,4	0	4,2	0,2	1,2	0,2	0	0	0
2C	30,2	8,4	5,4	0	5,2	0,4	1,4	0,3	0,2	0	0
3A	22,6	0	0,8	0	1,8	0,5	0,4	0	0	0	0
3B	9,4	0	0,6	0	1,6	0,4	0,2	0	0	0	0
3C	13	0	0,8	0	2	0,2	0	0	0	0	0

Al empezar con la Biodigestión que se hizo de la retorta con el hidrolato se tomo pruebas a la cascara para ver los porcentajes de Nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que se tenía. Los resultados como se puede ver en la tabla 4 son óptimos a comparación a otros datos obtenidos de diferentes bioabonos, que ya estaban biodigestados con buenas condiciones de operación. Por lo

cual la cáscara de naranja puede ser un excelente bioabono o biofertilizante. Ver Tabla 6

Tabla 6: Comparación del biol (sustrato del bioabono) obtenido con diferentes datos analizados.

PARAMETRO	Biol Obtenido de la Cascara de Naranja (1:3)	Biol Obtenido de la Cascara de Naranja (2:2)	Biol Obtenido Comunidad San Jorge	Biol Obtenido Comunidad Villa Esperanza	Biol Mejorado Obtenido Comunidad Villa Esperanza
Nitrógeno %	0,15	0,61	0,131	0,103	0,221
Fosforo %	0,001	0,001	0,032	0,028	0,013
Potasio %	2,49	3,87	0,16	0,036	0,032
Materia Seca	3,1	6,5	6,7	4,5	1.8
Humedad	96,9	93,5	93,3	95,5	98.2

Los resultados obtenidos de la cáscara de naranja se encuentran restados del aporte que hizo el inóculo en la biodigestión pero aun así se puede observar que tiene buenos resultados a comparación de diferentes bioles obtenidos de distintas muestras. Los resultados fueron analizados por el IBTEN que se encuentran en el Anexo 4.

5. MERCADO Y COSTOS.

5.1. OFERTA DEL ACEITE ESENCIAL DE CITRICO EN BOLIVIA.-

Se dieron a conocer las fuentes de abastecimiento del aceite esencial de naranja o cítricos en Bolivia, en base a estudios ya existentes.

La mayor parte de los consumidores acuden a la importación de aceite esencial de naranja.

Con respecto a la procedencia del producto se pudieron obtener datos de la oferta de este las exportaciones que existen en los aceites esenciales cítricos

BOLIVIA: EXPORTACIONES DE ACEITES ESENCIALES, 2003 - 2010

Año	Medidas	3301130000: ACEITES ESENCIALES DE AGRIOS (CITRICOS): DE LIMON	3301199000: LOS DEMAS ACEITES ESENCIALES DE AGRIOS (CITRICOS)
2003	Peso Bruto (Kg.)		
	Peso Neto (Kg.)		
	Valor FOB (\$us.)		
2004	Peso Bruto (Kg.)	41.976	
	Peso Neto (Kg.)	38.160	
	Valor FOB (\$us.)	154.870	
2005	Peso Bruto (Kg.)	39.177	
	Peso Neto (Kg.)	35.613	
	Valor FOB (\$us.)	278.904	
2006	Peso Bruto (Kg.)	32.894	
	Peso Neto (Kg.)	29.899	
	Valor FOB (\$us.)	364.454	
2007	Peso Bruto (Kg.)	64.548	20
	Peso Neto (Kg.)	58.680	18
	Valor FOB (\$us.)	1.152.503	1.200
2008	Peso Bruto (Kg.)	97.644	
	Peso Neto (Kg.)	88.740	
	Valor FOB (\$us.)	1.927.065	
2009	Peso Bruto (Kg.)	95.100	
	Peso Neto (Kg.)	86.400	
	Valor FOB (\$us.)	2.216.517	
2010	Peso Bruto (Kg.)	160.831	
	Peso Neto (Kg.)	146.079	
	Valor FOB (\$us.)	3.253.034	

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

5.2. DEMANDA DEL ACEITE ESENCIAL DE NARANJA O CITRICOS EN BOLIVIA.-

Como el aceite esencial de naranja forma parte de la materia prima para muchas industrial para dar el olor y sabor a diferentes productos, prácticamente está presente en todos los productos como ser en la Industria Farmacéutica, Industria Alimenticia y en especial en lo que se refiere a la Industria de Cosméticos además de accesorios de limpieza.

Entonces se dio a conocer los niveles de aceptación y consumo de aceite esencial de naranja y cítricos en Bolivia. Esto en base a estudios ya existentes.

BOLIVIA: IMPORTACIONES DE ACEITES ESENCIALES, 2000 - 2010

Año	Medidas	3301130000: ACEITES ESENCIALES DE AGRIOS (CITRICOS): DE LIMON	3301199000: LOS DEMAS ACEITES ESENCIALES DE AGRIOS (CITRICOS)
2003	Peso Bruto (Kg.)		
	Peso Neto (Kg.)		
	Valor FOB (\$us.)		
2004	Peso Bruto (Kg.)	41.976	
	Peso Neto (Kg.)	38.160	
	Valor FOB (\$us.)	154.870	
2005	Peso Bruto (Kg.)	39.177	
	Peso Neto (Kg.)	35.613	
	Valor FOB (\$us.)	278.904	
2006	Peso Bruto (Kg.)	32.894	
	Peso Neto (Kg.)	29.899	
	Valor FOB (\$us.)	364.454	
2007	Peso Bruto (Kg.)	64.548	20
	Peso Neto (Kg.)	58.680	18
	Valor FOB (\$us.)	1.152.503	1.200
2008	Peso Bruto (Kg.)	97.644	
	Peso Neto (Kg.)	88.740	
	Valor FOB (\$us.)	1.927.065	
2009	Peso Bruto (Kg.)	95.100	
	Peso Neto (Kg.)	86.400	
	Valor FOB (\$us.)	2.216.517	
2010	Peso Bruto (Kg.)	160.831	
	Peso Neto (Kg.)	146.079	
	Valor FOB (\$us.)	3.253.034	

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA

El promedio de importación del año 2000-2009 es de 8825 Kg (Peso en bruto). Con este dato se determinó que parte del mercado se cubrirá.

5.3. CAPACIDAD DE PRODUCCION DE ACEITE ESENCIAL

La capacidad máxima de producción del equipo de destilación alcanza a 20 Kg/año aproximadamente, cubriendo así la demanda del mercado en un 0.2% aproximadamente tomando en cuenta el promedio de la importación existente.

Sin embargo para llegar a la capacidad plena se tendría que implementar un equipo a nivel planta piloto, considerando que el mercado es amplio.

5.4. ANÁLISIS PRELIMINAR DE COSTOS

Como cualquier empresa, se tiene la necesidad de conocer el proceso de contabilización de costos, porque es una herramienta de gran importancia, que permite recoger registrar y reportar la información relacionada con los costos totales que influye posteriormente en la toma de decisiones, tanto de planeación como de control de los mismos.

El objetivo principal del análisis preliminar de costos, es determinar el punto de equilibrio.

5.5. RELACIÓN COSTO VOLUMEN UTILIDAD

El análisis costo volumen utilidad, conocido también como análisis del punto de equilibrio, muestra las relaciones básicas entre costos e ingresos para el nivel de producción dado.

Para la aplicación de este instrumento tanto en la planificación como en el control, se deben considerar las siguientes condiciones en una situación específica y en un momento dado:

Por aproximación, se presume un comportamiento lineal de los Ingresos y Costos, teniendo por tanto los costos fijos un comportamiento constante a cualquier volumen de producción y ventas dentro de los límites del rango significativo y los costos variables un comportamiento directamente proporcional al volumen de producción.

La clasificación y valoración entre costos fijos y variables deben estar definidas.

Basados en las anteriores condiciones, se debe revisar permanentemente el comportamiento para que estén ajustadas a la realidad, con el máximo grado de aproximación.

Para el cálculo del punto de equilibrio se debe calcular los costos, ingresos y utilidad en función a la cantidad producida que es de 20 Kg/Año.

INVERSIONES

5.5.1. COSTO TOTAL

El costo total es la suma del costo fijo y el costo variable.

El costo fijo se calculó a partir de las siguientes variables: tubos de cobre, costo de construcción del destilador, material de laboratorio y otros.

MAQUINA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO EN BOLIVIANOS (Bs)	INVERSIÓN TOTAL EN BOLIVIANOS (Bs)
TUBO DE COBRE	1	270	270
LAMINA GALVANIZADA	1	95	95
DESTILADOR	1	1000	1000
OLLA A PRESIÓN	1	180	180
HORNILLA	1	50	50
GARRAFA	1	300	300
MANGUERA PARA PRESIÓN DE VAPOR	1	6	6
MANGUERA PARA AGUA	1	12	12
ROMANA	1	15	15
INVERSIÓN TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO			1928

MATERIAL DE LABORATORIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO EN BOLIVIANOS Bs	INVERSIÓN TOTAL EN BOLIVIANOS Bs
EMBUDO DE VIDRIO 500ml	1	230	230
PROBETA 25 ml	1	32	32
PINZAS DE DOS DEDOS	1	112	112
SOPORTE UNIVERSAL	1	28	245
INVERSIÓN TOTAL MATERIAL DE LABORATORIO			619

Una vez calculado el costo fijo de inversión, se calcula el costo fijo unitario que es la relación del costo fijo y la cantidad de producción que es de **20 Kg**.

$$\begin{aligned} \text{Costo fijo en [Bs]} &= 2547 \\ \text{Costo fijo unitario en [Bs/Kg]} &= \frac{2547}{20} = 127.35 \end{aligned}$$

El costo variable se calculó a partir de las siguientes variables: materia prima, envase, agua y luz.

ENVASE	CANTIDAD REQUERIDA ANUAL	PRECIO UNITARIO Bs.	INVERSION TOTAL ENVASE EN BOLIVIANOS (Bs)
Vidrio con tapa de plástico capacidad 240 ml	100	25	2500

MATERIA PRIMA DIRECTA	REQ. ANUAL DE CASCARA Kg. (2500)	PRECIO UNITARIO EN BOLIVIANOS Bs/Kg	INVERSIÓN TOTAL EN Bs.
Cascara de naranja	2500	0.5	1250

CONSUMO DE AGUA EN METROS CÚBICOS (por destilación 30Lts)	COSTO POR METRO CÚBICO en (Bs)	COSTO TOTAL (Bs)
6000	0,46	2760

CONSUMO KW/HORA	COSTO Bs/Kw-Hr	COSTO TOTAL POR AÑO
0,22	0,52	832

CONSUMO ENERGIA GAS	COSTO Bs/GARRAFA	COSTO TOTAL POR AÑO
10	22,5	225

Calculado el costo variable, se calcula el costo fijo variable que resulta de la relación del costo variable y la cantidad de producción.

Costo Variable en [Bs] = 7567

Costo variable unitario en 378.35 [Bs/Kg.] =

Costo Unitario(Cu) = Costo Fijo Unitario + Costo Variable Unitario

Costo Unitario en [Bs/Kg.] = 505.70

Costo Total = Costo Fijo + Costo Variable

Costo Total en [Bs/Kg.] = 10114

5.5.2. PRECIO DE VENTA.-

Antes de determinar el precio de venta se define el margen de utilidad deseado.

El margen de utilidad deseado es del 25%. y se calcula con la siguiente fórmula:

Margen de Utilidad = % Margen de Utilidad / (1-% margen de utilidad deseada)

Margen de Utilidad = $0.25 / (1-0.25) = 0.33 = 33\%$

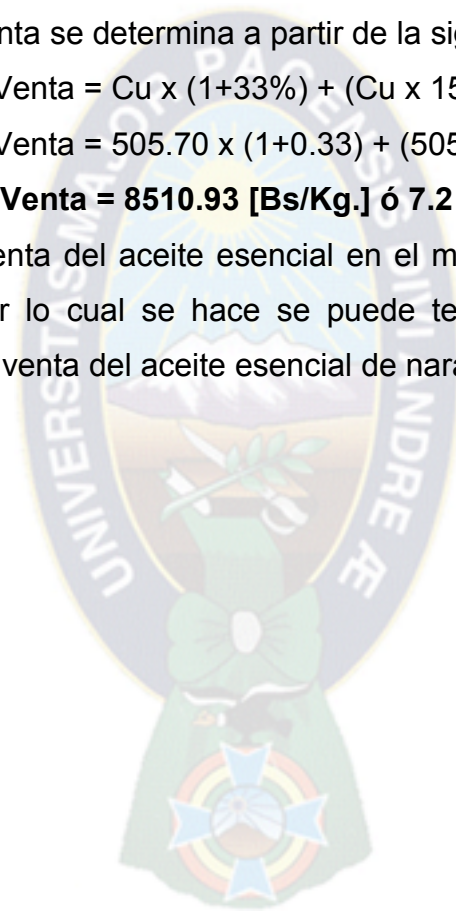
El precio de venta se determina a partir de la siguiente fórmula:

Precio de Venta = $Cu \times (1+33\%) + (Cu \times 15,5\% \text{ Imp. a las Ventas})$

Precio de Venta = $505.70 \times (1+0.33) + (505.70 \times 15,5\%)$

Precio de Venta = 8510.93 [Bs/Kg.] ó 7.2 [Bs/ml.]

El precio de venta del aceite esencial en el mercado oscila entre 9-12 Bs/ml (Anexo 5) por lo cual se hace se puede tener un mercado y una buena ganancia en la venta del aceite esencial de naranja.



CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó el equipo de destilación por arrastre de vapor según los parámetros calculados como se demuestra en el punto 4.1.1.
2. El rendimiento promedio del aceite obtenido fue de 0.9314%, siendo los factores principales que influyen, el tratamiento de la materia prima, que debe estar fresca para destilarse como se indica en la Tabla 2. Además que se obtuvo factores principales como ser: la temperatura de vaporización a 94°C, una presión de vapor de 1.15 (atm) y el flujo de vapor de 2.1 (g/s) como se señala en el punto 4.2.1.
3. El aceite esencial obtenido de la cáscara de naranja según el análisis por RMN mostro un contenido de limoneno mayor al 90% como se puede observar en el punto 4.2.2, por esta razón no se realizó la rectificación del aceite esencial, al ser las características del producto obtenido muy similares a las citadas por la literatura que se encuentra en la Tabla 3.
4. El proceso llevado a nivel experimental, demuestra la viabilidad técnica de producción de aceite esencial de naranja con un alto contenido de d - limoneno a partir de cáscara de naranja de desecho, utilizando parámetros sencillos a lo que

usualmente se utiliza, además de prescindir del uso de solventes orgánicos, lo que constituye que es un producto completamente natural.

5. El bioabono obtenido como subproducto del proceso de destilación cuenta con un alto contenido de Fosforo, Nitrógeno y Potasio a comparación de otras muestras analizadas en la Tabla 6. Esto indica que se puede aprovechar la retorta (cáscara de naranja destilada) y el hidrolato (agua arrastrada con el aceite) con buenos resultados.

RECOMENDACIONES

1. Continuar la proyección del equipo a nivel planta piloto del aceite esencial de cáscara de naranja, no solo para aceites esenciales cítricos sino también para obtener aceites esenciales de diferentes especies como ser de: eucalipto, lavanda, cedrón, etc.
2. Promover el uso de desecho de cáscara de naranja, tan usual en nuestra ciudad y generar así un valor agregado a este desecho, no solo para la obtención de aceite, sino también para la obtención de pectinas y biofertilizante.
3. Continuar con el estudio de la obtención del biofertilizante a partir de la cáscara de naranja, así como también de biogás. Porque la cascara de naranja tiene un contenido alto de N, P y K. Que en repeticiones y en condiciones optimas puede dar mejores resultados.

BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Juachim Milz, Produccion de naranja en sistemas agroforestales sucesionales en Alto Beni, Bolivia-Estudio de caso, Pag. 324, 325.
- 4.- X. Yanez Rueda y L. Lugo Mancilla. "Estudio del aceite esencial de la cáscara de naranja dulce".Revista de la facultad de ciencias básicas Año 2007. Volumen 5.Pag. 4-5.
- 8.- Álvarez José M. Biomasa y biogás de la facultad de ingeniería. Edición 2007 .Pág. 3y4.
- 9.- Carlos Luis Urbáez Méndez; Leila Carballo Abreu. Biomasa alternativa sustentable para la producción de biogás.
- 10.- Nelson Roberto Flores Blandón. Efecto de la aplicación del bioabono. Volumen2, 1991. Pág. 75 y 76.
- 11 .- Phillip C. Wankat. Ingenieria de procesos de separación. Capitulo 8. Pag. 234 y 235
- 13 .- Ocon Tojo "Problemas de ingeniería química" Volumen I, Pag. 360
- 14.- William Z. Black. Termodinámica. Capitulo 4. Pag. 188
- 5.- David Himmelblau "Balance de Materia y Energia"
- 6.- Felder Roseau "Principios fundamentales de los procesos químicos"
- 7.- Donald Kern. "Procesos de transferencia de calor"
- 8.- J.P. Holman. "Transferencia de calor"

- 19.- Robert H. Perry. "Manual del ingeniero químico". Sección 5 Mecánica de fluidos y partículas. Tomo II. Pag. 5-54 y 5-55.
- 20.- Yunus A. Gengel. Transferencia de calor. Convección Natural Pág. 466-469.2da Edición.

❖ FUENTE DE INTERNET.-

- 2.- <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/uso-industrial-de-plantas-aromaticas-y-medicinales/contenidos/material-de-clase/tema7.pdf> . Cortez, Alfredo Jefferson, Extracción de aceites esenciales, Pag. 24-57, UNALM, 2003.
- 3.- <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/uso-industrial-de-plantas-aromaticas-y-medicinales/contenidos/material-de-clase/tema7.pdf>
- 5.- <http://herbolaria.wikia.com/wiki/Limoneno>
- 6.- <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/877/87701214.pdf>. Mariano Ceruti y Fernando Neumayer, "Introducción a la obtención de aceite esencial de limón". Volumen 7, Pag. 151-154.
- 7.- <http://www.ruralcostarica.com/biogas-bolivia.asp>
- 12.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Destilaci%C3>

ANEXO 1. LENGUAJE DE CODIFICACIÓN.-

Dim h As Double

Dim Dia As Double

Dim tiempo As Double

Dim dens As Double

Dim area As Double

Dim temp As Double

Dim Q As Double

Dim Cp As Double

Dim diam As Double

Dim pi As Double

Dim vol As Double

Dim Mass As Double

Dim Tnor As Double

Dim T1 As Double

Dim Tmin As Double

Dim H2 As Double

Dim h1 As Double

Dim tfin As Double

Dim tin As Double

Dim Mimp As Double

Dim Lambda As Double

Dim Tpared As Double

Dim Tvp As Double

Dim Dman As Double

Dim denvap As Double

Dim denagua As Double

Dim cond As Double

Dim Visco As Double



```

Dim hcon As Double
Public areatub As Double
Public Mvap As Double
Private Sub CommandButton1_Click()
Dim aviso As Double
If TextBox2.Text = "" Then
aviso = MsgBox("Debe especificar el nivel de agua inicial", vbCritical)
TextBox2.SetFocus

Else
pi = 3.1415
Tnor = 87 °C
T1 = 15 'temperatura ambiente del agua
Q = Val(Hoja1.Cells(3, 3))
h = Val(TextBox2.Text)
Dia = Val(Hoja1.Cells(4, 3))
H2 = Val(Hoja1.Cells(10, 3))
area = (pi / 4) * Dia ^ 2
vol = area * h
dens = 1000 'Kg/m^3
Cp = 4.186 'KJ/Kg°C
Mass = dens * vol
tiempo = (Mass * Cp * (Tnor - T1)) / Q
Tmin = tiempo / 60
TextBox1.Text = Str(Round(Tmin, 2))
CommandButton3.Enabled = True
End If
End Sub
Private Sub CommandButton3_Click()
tfin = Val(Hoja1.Cells(13, 3))
tin = 0

```

```

Mvap = Q / (H2)
h1 = h - (Mvap / (area * dens)) * (tfin * 60 - tin)
If (h1 - h1 * 0.2) < 0 Then
MsgBox ("Debe incrementar el nivel de agua"), vbCritical
End If
Mimp = Round(Mvap * 1000, 2)
TextBox3.Text = Str(Mimp)
TextBox4.Text = Str(Round((h1 - h1 * 0.2), 4))
CommandButton5.Enabled = True
End Sub
Private Sub CommandButton4_Click()
Dim sal As Single
sal = MsgBox("Está seguro de Salir", 4 + 32, "SALIDA")
If sal = 6 Then
End
End If
End Sub
Private Sub Command Button5_Click()
Dim Nt As Double
Dim longitud As Double
Dim diametro As Double
Dim hcon As Double
Teb = 87 °C
Lambda = (vap(Teb)) * (4186) 'J/Kg°K
Ntf = Val(Hoja1.Cells(19, 3)) 'número de fila de tubos
Ntc = Val(Hoja1.Cells(20, 3)) 'número de columna de tubos
denliq = 1000 'Kg/m^3
Visco = 0.000282 'Pa*s
cond = 0.68 'W/m°C
diam = Val(Hoja1.Cells(18, 3))

```



```

Tpared = Val(Hoja1.Cells(17, 3))
Dserp = Val(Hoja1.Cells(19, 3))
hcon = 0.555 * (((denliq ^ 2 * 9.81 * Lambda * cond ^ 3 * 9.81) / (Visco * (diam / 100) *
(Teb - Tpared)))) ^ (1 / 4)
areatub = (Mvap * Lambda) / (hcon * (Teb - Tpared))
N = (areatub * 1.2) / (pi ^ 2 * (diam / 100) * (Dserp / 100))
'tubos = areatub * 10000
'longitud = tubos / ((pi * diam) * Ntf * Ntc)
TextBox6.Text = Str(Round(areatub, 4))
TextBox7.Text = Str(Round(N, 0))
End Sub
Function vap(x)
vap = 597.02 - 0.5402 * x - 0.0004 * x ^ 2 ' Kcal/Kg
End Function
Private Sub TextBox7_Change()
End Sub
Private Sub UserForm_Click()
TextBox2.SetFocus
End Sub
Private Sub UserForm_Initialize()
CommandButton2.Enabled = False
CommandButton3.Enabled = False
CommandButton5.Enabled = False
End Sub

```

ANEXO 2. PRINCIPIO DEL METODO DE SOLIDOS VOLATILES, FIJOS Y TOTALES.-

6.1 PRINCIPIO DEL MÉTODO

Este método se basa en la medición cuantitativa de los sólidos y sales disueltas así como la cantidad de materia orgánica contenidos en aguas naturales y residuales, mediante la evaporación y calcinación de la muestra filtrada o no, en su caso, a temperaturas específicas, en donde los residuos son pesados y sirven de base para el cálculo del contenido de estos.

6.2 DISCUSIÓN GENERAL

Aplicabilidad: Éste método es aplicable para la determinación de sólidos tales como, sedimentos de ríos y lagos, lodos de plantas de tratamiento de aguas, etc.

Interferencias: La determinación de sólidos totales y volátiles en este tipo de substratos usualmente está sujeta a errores negativos debido a pérdidas de carbonato de amonio y materia orgánica volátil durante el secado. Se debe realizar el pesado de estos substratos de manera rápida ya que este tipo de muestras tienden a perder peso por evaporación. Después del secado estos residuos son muy higroscópicos y absorben rápidamente la humedad del ambiente.

6.3 EQUIPO

- Estufa eléctrica, para operar de 103°C a 105°C
- Balanza analítica con precisión de 0,1 mg
- Mufla eléctrica para operar a 500°C ± 50°C
- Hornillas eléctricas.

6.4 MATERIALES

- Cápsulas de evaporación (crisoles) adecuados al volumen de la muestra.
- Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido de humedad.

- Espátulas.
- Pipetas en caso las muestras sean líquidas.
- Pinzas.
- Guantes para protección del calor.

6.5 PROCEDIMIENTO

6.5.1 Preparación de los crisoles:

- a. Si se realizará la medición de sólidos volátiles, se debe someterlos a 550 °C durante 1 hora. Si sólo se realizará la medición de sólidos totales los crisoles deben someterse durante una hora a un horno que mantenga una temperatura entre 103 - 105 °C.
- b. Tomar los crisoles del horno o mufla e introducirlos en un desecador, este procedimiento se realizará con la ayuda de pinzas, por ningún motivo debe tocarse los crisoles con las manos.
- c. Registrar el peso de cada crisol (cada crisol debe tener un número en su base, para su identificación).

6.5.2 Análisis de las muestras:

Sólidos totales:

- d. Muestras líquidas-En caso las muestras sean líquidas y fáciles de homogenizar, entonces sólo será necesario invertir 5 veces el frasco que contiene la muestra.
- e. Muestras sólidas- Se deberá pulverizar la muestra con ayuda de un mortero o en caso la muestra sea semilíquida se debe realizar la homogenización de forma manual con la ayuda de guantes quirúrgicos.

- i. Introducir 25 g a 50 g dentro del crisol (esta cantidad dependerá del tipo de muestra).
- ii. Pesar el crisol más la muestra fresca.
- iii. Llevar los crisoles a un horno que mantenga la temperatura entre 103-105 °C. Dejarlos ahí por al menos 12 horas.
- iv. Tomar los crisoles del horno e introducirlos en un desecador para que éstos se enfríen.
- v. Una vez fríos, pesar cada crisol registrando cuatro decimales.
- vi. Repetir el paso # 2 hasta el paso # 5 hasta obtener una diferencia entre mediciones del 4 % o una diferencia de 50 mg. Se recomienda analizar cada muestra en triplicado.

Nota: Este análisis es sencillo, pero puede tomar por lo menos 2 días, ya que se debe repetir la introducción de los crisoles al horno, hasta que la muestra alcance un peso constante.

Sólidos volátiles:

- a) Someter los crisoles a ignición con ayuda de una hornilla eléctrica (Para evitar pérdidas de muestras dentro de la mufla, debido a la alta cantidad orgánica de cada crisol, en caso el crisol no contenga alta cantidad de muestra, puede ser introducido directamente a la mufla).
- b) Retirar los crisoles de la hornilla eléctrica con ayuda de pinzas.
- c) Introducir los crisoles dentro de la mufla, someterlos a una temperatura de 505 °C durante 1 hora.
- d) Apagar la mufla y esperar a que la temperatura disminuya antes de sacar las muestras.

- e) Una vez de que la mufla se encuentre fría, retirar los crisoles e introducirlos en un desecador.
- f) Pesar cada crisol, debidamente enumerado, y registrar el peso utilizando 4 decimales.



ANEXO 3. ANALISIS DEL BIOL OBTENIDO PARA VER LA CALIDAD DEL BIOABONO.-

ANEXO 4. PRECIOS EN EL MERCADO DE ACEITE ESENCIAL DE NARANJA.-

1)



Sanoflore Aceite Esencial Naranja Dulce, 10ml

€9,13



2)



Aceite Esencial Naranja

7.57 € (18 % IVA Incluido)

Estimula las secreciones bronquiales y los ácidos y estimulan la expectoración.

Presentación: Envase de 10ml.

3)



€3.70 tax incl.
Referencia: 5 ml
Cantidad: 1

4)



Aceite Esencial de Naranja - 5ml

6.90EUR

%B3n

