

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El uso de los aceites vegetales data de por lo menos 3500 años antes de Cristo, con fines curativos y mágico-rituales. El hombre primitivo desarrolla su intuición sensitiva para sobrevivir, de esta forma pudo diferenciar hierbas, frutos y raíces comestibles, a los que pronto descubrieron poderes medicinales y mágicos. Con el reconocimiento de las plantas encontraron que algunas causaban euforia o excitación, y otras podían inducir al sueño o a la meditación. (Gardens, 1985)

Lo egipcios son considerados los pioneros en el uso de aceites esenciales vegetales en aromaterapias, fueron los primeros en utilizar una forma primitiva de destilación para extraer los aceites esenciales de las plantas. Las plantas se calentaban en ollas de arcillas cuya boca era recubierta con filtros de lino. El vapor arrastraba consigo los aceites esenciales, estos se impregnaban en un filtro, el cual era estrujado para extraer el aceite esencial que era utilizado en medicina, en cosméticos y para rituales religiosos. (Gardens, 1985)

Los griegos tomaron las experiencias egipcias y, como grandes alquimistas mejoraron el sistema de destilación. Para los griegos las plantas aromáticas constituían una forma de vida que incorporaban a sus baños, alimentos y ritos de magia, etc. Los árabes, en el siglo XI, perfeccionaron el arte de la destilación para aislar los principios activos de los aceites de las plantas. Introdujeron el sistema de refrigeración en el proceso de destilación. Esto hizo que el proceso de extracción de aceites esenciales tuviera menos desperdicios y mayor pureza (Plazas.E.2011).

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles, que pueden ser alcoholes, acetonas, ésteres, aldehídos, compuestos azufrados. (VM, 2016)

Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad son extraíbles por destilación por arrastre de vapor, aunque existen otros métodos. En general son los responsables del olor de las plantas. (Delgado, AC: aceites esenciales, metodos extraccion, 2016).

La composición de un aceite esencial varia con el lugar de origen. también varía con el hábitat en que se desarrolle, el momento de recolección, el método de extracción, etc.

Se caracterizan por sus propiedades físicas, tales como la densidad, viscosidad, índice de refracción y actividad óptica. La mayoría de los aceites esenciales tienen una densidad menor que la del agua excepto los aceites de almendras amargas, mostaza, canela, clavo de olor, perejil. (Peredo, 2009).

Los aceites esenciales suelen tener aplicaciones en diferentes rubros de la industria y la ciencia, tales como la perfumería, alimentaria, medicina y aromaterapia. Por lo que el mercado para los aceites esenciales va creciendo a medida que pasan los años.

1.2 Dinámica del mercado de los aceites esenciales

Según datos del TRADEMAP las exportaciones mundiales de aceites esenciales para el 2016 fueron de 4.453.767 US\$. El principal exportador es la India 13.6% del mercado mundial, seguido por China 13.4%. EEUU 12.7%. Francia 8.2% Reino Unido 6% Brasil 5.1%.

En relación a las importaciones mundiales, para el 2014 acumularon un total de 4.078.483 US\$. De los cuales el principal importador es EEUU con el 20.7 % de participación mundial, seguido de Francia 9.2%, Alemania 7.6%, Reino Unido 7.5%, china 5.4%, Japón 4.2%.

Los países en desarrollo representan un fuerte proveedor del bloque comercial, pues representa el 37% del total de las importaciones (TRADEMAP. 2017).

Tabla I - 1 Principales países exportadores de aceites esenciales

Exportadores	2014		2015		2016	
	Toneladas	Miles US\$	Toneladas	Miles US\$	Toneladas	Miles US\$
India	25.403	665.355	31.233	725.826	28.183	606.221
China	14.942	222.094	23.899	366.234	39.979	549.871
EEUU	32.695	492.636	36.045	503.184	32.519	566.551
Francia	4.830	273.697	5.042	301.035	5.061	366.053
Reino Unido	7.354	194.997	9.203	227.866	8.932	267.655
Brasil	66.829	244.879	68.915	202.937	56.348	228.609
Alemania	7.883	149.522	7.916	156.554	7.800	173.876

FUENTE: Elaboración propia basado en datos de TRADEMAP. 2017.

Tabla I - 2 Principales países importadores de aceites esenciales

Importadores	2014		2015		2016	
	Toneladas	Miles US\$	Toneladas	Miles US\$	Toneladas	Miles US\$
EEUU	37.839	665.355	45.964	738.159	45.610	845.175
Francia	7.929	297.470	8.596	318.684	9.191	376.506
Alemania	20.139	284.902	19.350	284.876	21.319	308.413
Reino Unido	13.340	251.487	14.775	273.732	15.859	306.498
China	9.290	210.299	14.109	263.384	12.073	221.045
Japón	19.481	235.630	12.520	175.883	8.314	171.466
India	5.984	120.740	7.259	135.683	6.133	159.914

FUENTE: Elaboración propia basado en datos de (TRADEMAP. 2015)

En Bolivia según datos de TRADEMAP generó 3.544 US\$, exportando aceites esenciales. Su principal mercado es EEUU con un 77.9% de la producción de aceites esenciales de Bolivia, le siguen los países bajos con 20.6% y Francia con 1.4%.

Tabla I - 3 Países sudamericanos exportadores de aceites esenciales

Exportadores	Valor expresada en 2014	Valor expresada en 2015	Valor expresada en 2016	Valor expresada en 2017
Perú	11.118 US\$	9.419 US\$	10.880 US\$	15.507 US\$
Bolivia	1.487 US\$	1.045 US\$	2.787 US\$	3.544 US\$
Ecuador	663 US\$	274 US\$	326 US\$	1.846 US\$
Colombia	365 US\$	436 US\$	317 US\$	306 US\$

FUENTE: Elaboración propia basada en datos de (TRADEMAP. 2017).

1.3 Exportaciones e importaciones de la India país mayor productor de aceite esencial de cebolla

Los datos de valoración se muestran en las siguientes Tablas I – 4 y Tabla 1 – 5.

La India se muestra como el país con mayor producción de aceite esencial de cebolla así como los destinos a cual exporta.

Tabla I - 4 Exportaciones de aceite esencial de cebolla (La India).

EXPORTACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEBOLLA DE INDIA						
#	Fecha	Puerto Indio	Descripción	Valor US\$	Puerto de destino	País
1	11-Nov-2016	Cochin	Cebolla aceite secado por aspersión	1.932,50	Jakarta	Indonesia
2	25-Oct-2016	Cochin	aceite de cebolla	365,12	Bucharest, otopeni	Romania
3	17-Oct-2016	Cochin	Aceite de cebolla	8.814	London - Heathrow	United Kingdom
4	27-Sep-2016	Cochin	Cebolla, aceite secado por aspersión	23.415	Shanghai	China
5	19-Sep-2016	Cochin	Aceite de ceboll	1.932,50	Jakarta	Indonesia
6	19-Sep-2016	Cochin	Cebolla, aceite secado por aspersió	11.705	Shanghai	China
7	13-Sep-2016	Cochin	Aceite de cebolla en aeroso	24.675	Budapest,	Hungary
8	08-Sep-2016	Cochin	Cebolla de aceite de condimento	1.410,32	Guayaquil	Ecuador
9	26-Aug-2016	Cochin	Aceite de cebolla	2.898,75	Jakarta	Indonesia

Fuente: Elaboración propia basada en los datos de SEAIR Exim solution Information For Business 2019.

1.3.1 Importaciones de aceite esencial de cebolla (LA INDIA)

En la siguiente tabla se presenta las importaciones de aceite esencial de cebolla a la India

Tabla I - 5 Importaciones de aceite esencial de cebolla de la India

Importaciones de aceite esencial de cebolla de la India					
#	Fecha	Puesto Indio	Descripción	Valor US\$	Puerto de origen
1	17-Nov-2016	Nhava Sheva	Aceite de cebolla Aceite esencial	768,01	Netherlands
2	11-Nov-2016	Banglore	Aceite de cebolla soluble	58,74	United States
3	04-Nov-2016	Bombay	Aceite de cebolla	2.175,98	United States
4	01-Nov-2016	Chennai	Aceite de cebolla	707,34	Egypt
5	28-Oct-2016	Chennai	Aceite de cebolla Aceite utilizado para productos de perfumería	11,59	Indonesia
6	24-Oct-2016	Chennai	Aceite de cebolla	707,34	Egypt
7	21-Oct-2016	Nhava Sheva	Aceite de cebolla	935,08	United States
8	20-Oct-2016	Chennai	Mezcla de aceite de cebolla	46,89	Germany
9	17-Oct-2016	Chennai	Aceite de cebolla	707,34	Egypt
10	13-Oct-2016	Nhava sheva	Aceite de cebolla	768,01	China
11	13-Oct-2016	Chennai	Mezcla de aceite de cebolla	1.039.02	Germany
12	13-Oct-2016	Chennai	Aceite esencial sintético	21,92	Singapore
13	28-Sep-2016	Chennai	Aceite de cebolla	707,34	Egypt
14	07-Sep-2016	Chennai	Mezcla de aceite de cebolla	1.067,46	Germany
15	03-Sep-2016	Chennai	Aceite esencial sintético	23,82	Singapore
16	02-Sep-2016	Chennai	Aceite de cebolla	705,77	Egypt
17	02-Sep-2016	Chennai	Aceite de cebolla	705,77	Egypt
18	31-Aug-2016	Nhava sheva	Aceite de cebolla	768,02	Japan
19	24-Aug-2016	Chennai	Cebolla aroma- aceite	22,26	Singapore
20	08-Jul-2016	Nhava sheva	Aceite de cebolla	935,08	United States

Fuente: Elaboración propia base de SEAIR (Exim solution Information For Business) 2019.

1.4 Producción de aceite esencial de cebolla en Latinoamérica

La producción de aceite esencial de cebolla en Latinoamérica es demasiado baja por lo que la gente no lo consume mucho y por lo que lleva a concluir que no se cuenta con cifras significativas de producción, importación y exportación de aceite esencial de cebolla.

1.5 Producción de cebolla

1.5.1 Los principales productores de cebolla, a nivel internacional

Los principales productores internacionales de cebolla son los siguientes países que se muestra en la siguiente tabla I-6.

Tabla I-6 Los principales productores a nivel internacional.

Países productores (2006)	Producción (TM) Millones	Superficie (Hectáreas)
China	23.907.509	1.086.711
India	19.415.425	1.199.850
EEUU	3.025.700	53.650
Pakistán	1.739.054	135.912
Irán	2.345.768	61.809

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la FAO (2016).

La cebolla es la hortaliza de mayor consumo en Bolivia. El negocio de la cebolla como tal representa un movimiento anual de 105 mil toneladas, su comercialización genera un valor aproximado de 13 a 15 millones de dólares anuales.

1.5.2 Principales productores a nivel nacional

La producción de cebolla en Bolivia viene detallada en la siguiente Tabla I-7 detallada de forma ascendente por departamentos, superficie cultivada, producción y rendimiento.

Tabla I - 7 Principales productores a nivel nacional.

DESCRIPCIÓN	2006-2007	2007-2008	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013
SUPERFICIE CULTIVADA (Hectáreas)							
Chuquisaca	1.058	1.218	1.348	1.367	1.397	1.390	1.336
La Paz	950	889	827	839	861	874	837
Cochabamba	3.372	3.819	3.819	3.872	3.988	3.953	3.847
Tarija	880	979	872	884	906	906	907
Santa cruz	481	507	539	547	563	529	536
PRODUCCIÓN (Toneladas métricas)							
Chuquisaca	7.315	8.678	9.830	9.612	9.910	12.049	9.709
La Paz	4.275	3.689	3.140	3.073	3.181	4.082	3.708
Cochabamba	31.132	37.388	43.640	42.713	44.208	48.464	41.596
Tarija	5.997	6.522	6.998	6.849	7.054	8.151	8.310
Santa cruz	5.302	6.012	6.818	6.637	6.840	6.362	6.502
RENDIMIENTO (Toneladas/Hectáreas)							
Chuquisaca	6.914	7.125	7.292	7.038	7.094	8.668	7.267
La Paz	4.500	4.150	3.797	3.663	3.695	4.725	4.430
Cochabamba	9.233	10.368	11.427	11.031	11.085	12.260	10.813
Tarija	6.815	7.420	8.025	7.748	7.786	8.995	9.162
Santa cruz	11.023	11.858	12.649	12.199	12.149	12.026	12.131

Fuente: MDRyT; INE. (p) Cifras preliminares de cebolla.

1.5.3 Principales productores a nivel municipio Tarija

En el departamento de Tarija la producción de cebolla está dividida por provincias. La mayor producción es en la provincia Méndez, localidad El Puente como se muestra en la siguiente Tabla I-8.

Tabla I - 8 Principales productores a nivel municipio Tarija.

PROVINCIAS	MUNICIPIOS	SUPERFICIE CULTIVADA (HA)	RENDIMIENTO (TN/HA)	PRODUCCIÓN (TN)
Méndez	Tomayapo (El Puente)	380	4,78	1.816,40
Gran chaco	Carapari	305	5,00	1.525,00
O'Connor	Entre Ríos	140	4,77	667,80
Arce	Padcaya	130	4,77	620,10
Cercado	Tarija	80	5,00	400,00
Avilés	Yunchara	50	10,00	500,00
Avilés	Uriondo	50	4,50	225,00
Méndez	Villa San Lorenzo	40	4,77	190,80
Gran chaco	Villa Montes	30	4,77	143,10
TOTAL		1205		6.088,20

Fuente: Ministerio de desarrollo rural y tierras (2017).

1.2 Justificación del Proyecto.

1.2.1 Justificación Socio-económica

Se plantea este proyecto de obtención de aceite esencial de la cebolla con el fin de obtener un producto de calidad, que generará desarrollo económico, sustituirá parte de las importaciones de aceite esencial del exterior, cubrirá parte de la demanda con un producto local y nacional. Dando así nuevas fuentes de trabajo a la ciudad de Tarija.

Este proyecto abrirá las posibilidades de desarrollar nuevos productos, usando las grandes propiedades que tiene el aceite esencial de cebolla como en la elaboración de champús, mascarillas antiacné, cosméticos, alimenticios, etc. Dando valor agregado a la cebolla, ya que se usa como comestible ignorando las otras grandes cualidades que tiene, si se comienza a dar nuevos usos medicinales a la cebolla se fomenta la creación de nuevos productos cosméticos como pomadas, champús, jabones, etc.

1.2.2 Justificación Tecnológica

Existe la disponibilidad de tecnología, sin grandes inversiones para la producción de aceite esencial de la cebolla.

Se obtendrá un nuevo producto ya que el aceite esencial de cebolla tiene grandes aplicaciones beneficiosas para la salud, cosméticos, alimentos, etc.

Y como se pudo observar en la matriz de selección del proceso se cuenta con el equipamiento necesario sin necesidad de usar solventes lo que hará que los costos sean en menor cantidad, ya que se usará agua para la extracción.

1.2.3 Justificación Ambiental

Con este proyecto se reducirán posibles desechos orgánicos que se producirán, reduciendo de esta manera el impacto ambiental.

Los residuos que sobrarán una vez extraído el aceite esencial, pueden ser utilizados como fibra alimentaria para el ser humano debido al contenido de fibra que tiene la cebolla, para mejorar la flora intestinal, estreñimientos, etc.

1.2.4 Justificación Personal

La extracción de aceite esencial de cebolla es una excelente oportunidad para construir un extractor de aceites esencial por arrastre de vapor. Gracias a esto poder realizar extracciones de aceites de varios tipos de vegetales aplicando todo lo aprendido en Ingeniería y comenzar a comercializarlos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Extraer de forma experimental aceite esencial de cebolla (*Allium Cepa*), cultivada en el departamento de Tarija localidad El Puente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar la disponibilidad el tipo y calidad de la materia prima a procesar.
- Determinar el proceso tecnológico para la obtención experimental del aceite esencial de cebolla (*Allium cepa*) cultivada en el departamento de Tarija localidad El Puente.
- Describir la Taxonomía de la materia prima cebolla “morada” (*Allium cepa*) cultivada en el departamento de Tarija localidad El Puente.
- Diseñar la fase experimental del proceso óptimo para la obtención del aceite de cebolla (*Allium cepa*) cultivada en el departamento de Tarija.
- Determinar las variables de operación del proceso de extracción del aceite esencial de cebolla morada (*Allium cepa*).
- Caracterizar física y químicamente el producto obtenido experimentalmente del aceite esencial de cebolla.
- Realizar la estimación del costo de producción experimental de aceite esencial de cebolla.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 La cebolla

La cebolla es el bulbo subterráneo y comestible que crece en la planta del mismo nombre. Se trata de una hortaliza de origen asiático cultivada desde 6.000 a.C.

Desde Asia se extendió por Europa, de donde pasó a América. Actualmente existe una amplia gama de variedades, que pueden clasificarse en función del color del bulbo, forma, tamaño, usos, origen y precocidad. Tiene muchos usos culinarios, pudiendo usarse de distintas maneras, ya sea cruda o cocinada. Además, se le conocen distintas propiedades medicinales.

La cebolla pertenece a la familia de las Liliáceas, y su nombre científico es *Allium cepa*. Es uno de los cultivos más antiguos que se conocen, y ya era conocida por los sumerios 6.000 a.C. Su origen de Irán y Pakistán. La cebolla es un bulbo tunicado, lo que quiere decir que está formado por varias capas, como se puede observar al cortar una. Estas capas son hojas que se disponen unas sobre otras, que se engrosan y vuelven carnosas. Pueden ser de distintas formas, tamaños y colores, variando entre el blanco, amarillo y rojo. Existen una grande variedad de cebolla, que se clasifican en distintos tipos. Se pueden agrupar por su uso, sabor, color, forma o precocidad. (Interpresas media, sl. 2017).

2.2 Variedades producidas en Bolivia

- Blancas: Ica y Blanca.
- Amarillas dulces: Century, Yellow, Primavera, Mercedes, Ica y Sivan.
- Rojas: Arequipeña, Red Creole, Red Star, Chata de Italia y los ecotipos Cinteña, Mizqueña, Camaneja, Navideña, Globosa, Parotani, Viloma. (Chamorro, 2019)

2.3 Disponibilidad de la materia prima

En el municipio El Puente se produce 1.816,40 TN/año aproximadamente y de un muestreo aleatorio se determinó que tiene un 25% cebolla morada mayor a los 10 cm de diámetro.

Tabla II-1 Disponibilidad de la materia prima cebolla morada proveniente del Municipio El Puente

Cebolla	Municipio	Producción año	Producción cebolla morada mayor a los 10cm de diámetro
Morada	El Puente	1.816,40 TN	454,1 TN

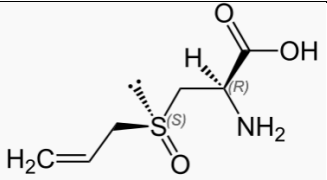
Fuente: Ministerio de desarrollo rural y tierras (2017).

2.4 Componentes de la cebolla

Los principios activos de la cebolla son la alicina y la aliina, que se encuentran en mayores cantidades. Estos componentes tienen propiedades para reducir la tensión arterial, antiinflamatoria, y antioxidantes y para favorecer la circulación. (Pérez, 2008)

La aliina es un aminoácido no proteico que se encuentra naturalmente en la cebolla. Es un derivado del aminoácido cisteína. Cuando se corta o machaca la cebolla, este compuesto entra en contacto con la enzima aliinasa y se convierte en alicina. (Ramírez, 2016)

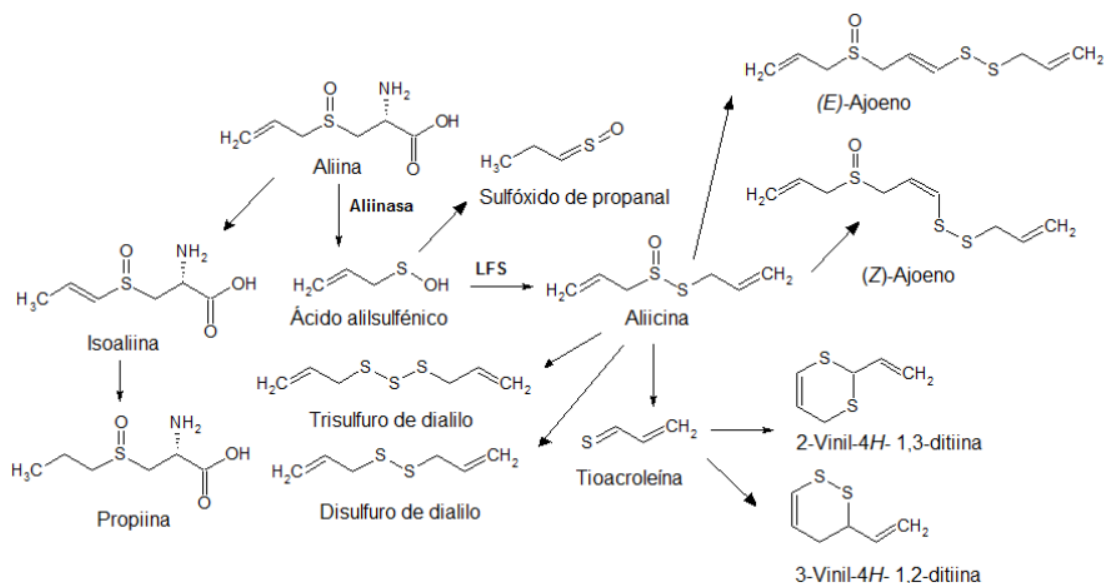
Tabla II - 2 La Aliina

Aliina		
	Formula	Propiedades
	$C_6H_{11}NO_3S$	Tiene efectos antioxidantes que refuerza el mecanismo de captación de radicales endógenos, aumentan la actividad de enzimas antioxidantes celulares, protegen las lipoproteínas de baja densidad de la oxidación por los radicales libres e inhiben la activación del factor nuclear Kappa B.

Fuente: 10 de abril Revista Científica-Estudiantil de ciencias médicas de Cuba. 2008.

También se forman metabolitos secundarios que se muestra a continuación. (Vargas, 2008)

Imagen II – 1 Metabolitos secundarios que forman a partir de la aliina



La alicina es el producto de la conversión de la aliina, que se encuentra en la cebolla, por intermedio de la catálisis de la enzima alinasa. Es un sulfoxido.

Tabla II - 3 La Alicina

Alicina			
Nombre IUPAC		Formula	Propiedades
S-Alil-2-propentiosulfonato		C ₆ H ₁₀ OS ₂	Posee características que son antibiótica idóneo para la inhibición del desarrollo de gérmenes patógenos sobre todo en agentes como <i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i>

Fuente: Luis Rodrigo Chalar Vargas; Función Antimicrobiana de la Alicina de Ajo en cultivos de *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Escherichia coli*. 2014.

Tabla II - 4 Componentes de la cebolla.

Componentes	Observación
Aminoácidos:	Ácido glutamínico, argenina, lisina, glicina principalmente
Minerales	Potasio, fósforo, calcio, magnesio, sodio, azufre y, en cantidades menores: hierro, manganeso, zinc cobre y selenio
Vitaminas:	Vitamina C, Ácido fólico, Vitamina E
Aceite esencial	Disulfuro de atilpropilo, metilaliína, cicloaliína...etc
Quercetina	Tratamiento de la debilidad capilar
Aliina	En menor cantidad que el ajo

Fuente: Botanical-online (1999-2017)

Tabla II - 59 Composición de la cebolla morada (por 100g).

Compuesto	Cantidad	Unidad
Agua (g)	89	g
Calorías (Kcal)	38	kcal
Grasas (g)	0.2	g
Carbohidratos (g)	8.6	g
Proteínas (g)	1.16	g
Fibra (g)	1.18	g
Potasio (mg)	157	mg
Azufre (mg)	70	mg
Fosforo (mg)	33	mg
Calcio (mg)	20	mg
Magnesio (mg)	10	mg
Hierro (mg)	0.22	mg
Vitamina C (mg)	6.4	mg
Vitamina E (mg)	0.26	mg
Vitamina B6 (mg)	0.116	mg
Ácido fólico (mcg)	19	mg
Ácido glutaminico (g)	0.118	g
Arginina (g)	0.156	g
Lisina (g)	0.055	g
Leucina (g)	0.041	g

Fuente: Botanical-online (1999-2017).

2.5 Aceite esencial de cebolla

El aceite esencial de cebolla es un producto derivado de cebolla, se obtiene principalmente por destilación en corriente de vapor de agua. Luego por diferencia de densidad, se puede obtener el aceite esencial y compuestos similares separándolos de la fase acuosa.

El aceite esencial de cebolla es un líquido de color amarillento con una densidad ligeramente mayor a la del agua, tiene un aroma distintivo de cebolla, tiene un olor de tipo sulfuroso y un olor fuerte y desagradable, pero resalta por sus propiedades antibacterianas, antisépticas, afrodisíacas e hipnóticas. (Brown, 27 August 2017).

Para el caso de la extracción de aceites esenciales, el de cebolla debe cumplir con muy pocas exigencias.

2.6 Beneficios del aceite esencial de cebolla

El aceite esencial puro de cebolla tiene un aroma distintivo de cebolla, es conocido por sus propiedades antibacterianas, antisépticas, afrodisíacas e hipnóticas. El aceite esencial de cebolla tiene un olor tipo sulfuroso y un olor fuerte y penetrante. (Villan, 2020).

Aunque no sea tan conocido, el aceite esencial de cebolla es utilizado incluso en algunas preparaciones farmacéuticas contra la tos o los resfriados, gracias a sus propiedades antisépticas y bactericidas.

2.7 Propiedades físicas del aceite esencial de cebolla

En la siguiente tabla II-6 se muestran algunas características del aceite de cebolla obtenido por arrastre de vapor.

Tabla II - 6 Propiedades físicas del aceite de cebolla obtenida por arrastre de vapor.

Nombre botánico	Allium Cepa
Solubilidad	Insoluble en agua
Gravedad específica	1,04 – 1,14
Rotación óptica	N/A
Índice de refracción	1,53 – 1,57
parte de la planta	Bulbo
Método de extracción	Destilación por arrastre de vapor

Fuente: (Hernandez-Molinar, 2017).

2.8 Principales componentes del aceite esencial de cebolla

La Composición química de los aceites esenciales se muestran en la Tabla II-7, se muestra los componentes químicos, el porcentaje relativo del área del cromatograma total según los compuestos totales y los índices de retención de los aceites esenciales de cebolla.

En la cebolla los componentes principales son disulfuro de dipropilo (30,92%), trisulfuro de dipropilo (17,10%), disulfuro de 1-propenilpropilo (7,26%) y trisulfuro de metilpropilo (5,20%). El disulfuro de dipropilo según Corzomartinez Mnayer es el compuesto principal presente, que está de acuerdo con nuestros resultados. (Mnayer, y otros, 2014).

Tabla II - 7 Composición química de los aceites esenciales de ajo, cebolla, puerro, cebolleta china, chalota y cebolleta.

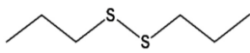
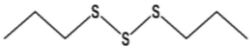
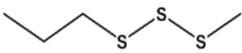
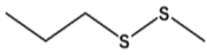
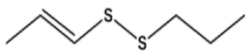
ACEITE ESENCIAL		
COMPONENTE	CEBOLLA	IDENTIFICACIÓN DEL MÉTODO
1-propenil propil disulfuro	7.26 ± 0.06	SM, LRI
3.5-dimetil-1,2,4- tritiolano	0.12 ± 0.01	SM, LRI
metil propil trisulfuro	5.20 ± 0.02	SM, LRI
Trisulfuro de metil 1-propenilo	0.34 ± 0.01	SM, LRI
Disulfuro de metil-1- (metiltio) etilo	0.47 ± 0.05	SM
tetrasulfuro de dimetilo	0.15 ± 0.01	SM, LRI, Std
3-etil 5-metil 1,2,4-tritiolano	0.16 ± 0.01	SM, LRI
1- (metiltiopropil) disulfuro de metilo	0.36 ± 0.04	SM, LRI
disulfuro de dipropilo	17.10 ± 0.28	SM, LRI
trisulfuro de di-1-propenilo	3.07 ± 0.01	SM, LRI
tetrasulfuro de dipropilo	0.55 ± 0.04	SM, LRI
alcohol isoamílico	0.13 ± 0.03	SM, LRI, Std
dimetil tiofeno	0.18 ± 0.01	SM, LRI
disulfuro de metilo propilo	2.11 ± 0.16	SM, LRI
metil 1-propenil disulfuro	0.51 ± 0.04	SM, LRI
trisulfuro de dimetilo	0.30 ± 0.01	SM, LRI, Std
disulfuro de dipropilo	30.92 ± 0.03	SM, LRI

Fuente: Artículo Composición química, actividades antibacterianas y antioxidantes de seis aceites esenciales de la familia Alliaceae Dima Mnayer, Anne-Sylvie Fabiano-Tixier, Emmanuel Petitcolas, Tayssir Hamieh, Nancy Nehme, Christine Ferrant, Xavier Fernández y Farid Chemat (2014).

2.9 Estructura de los principales compuestos del aceite esencial de la cebolla

La estructura de los principales compuestos del aceite esencial de cebolla se presentan en la siguiente Tabla II-8.

Tabla II - 8 Principales componentes del aceite esencial de cebolla

Disulfuro de dipropilo		Este compuesto organosulfurado de la cebolla son capaces de inhibir, o al menos de reducir, el efecto genotóxico causado por las N-nitrosaminas (Morales, 2010)
Trisulfuro de dipropilo		Compuesto organosulfurado para el tratamiento de enfermedades relacionadas con la inflamación a través de diferentes mecanismos que incluyen la inhibición de enzimas y subexpresión de ciertos genes relacionados con la inflamación (Guillamón, Efecto de compuestos fitoquímicos del género Allium sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria, 2020)
Metil propil de trisulfuro		Proporcionan su olor y sabor característicos y algunas de las propiedades beneficiosas como ser prevenir los efectos clastagénicos de la intoxicación con arseniato crómico y evita la elevación de el colesterol del suero en la sangre(Guillamón, Efecto de compuestos fitoquímicos del género Allium sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria, 2020)
Metil propil de disulfuro		Tiene un efecto protector frente a determinados tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares. Asimismo, se ha demostrado que pueden contribuir a disminuir niveles de colesterol, estimular el sistema inmunitario y presentar una actividad antibacteriana (Griffiths et al., 2002)
1-propenil propil disulfuro		Los extractos de cebolla ejercen una fuerte actividad antifúngica, antibacteriana, antiparasitaria y antiviral (Corzo-Martínez y col., 2007), siendo los compuestos azufrados los principales agentes antimicrobianos (Rose y col., 2005), aunque algunas proteínas, saponinas y compuestos fenólicos también podrían contribuir a esta actividad (Griffiths y col., 2002)

Fuente: Artículo Composición química, actividades antibacterianas y antioxidantes de seis aceites esenciales de la familia Alliaceae Dima Mnayer, Anne-Sylvie Fabiano-Tixier, Emmanuel Petitcolas, Tayssir Hamieh, Nancy Nehme, Christine Ferrant, Xavier Fernandez y Farid Chemat (2014).

2.10 Métodos de extracción

Los aceites esenciales se pueden extraer mediante diferentes métodos como: destilación por arrastre de vapor de agua, hidrodestilación, extracción con solventes volátiles, enfleurage y con fluidos supercríticos. (Rodríguez A. M. Alcazar, M. L., Real, C. S. M., 2012).

2.10.1 Destilación por arrastre de vapor

Como lo indica este título del presente trabajo de grado, la operación de destilación consiste en hacer pasar una corriente de vapor por el material previamente molido. El fenómeno físico que ocurre es una desorción, es decir, el fenómeno opuesto a la absorción que ocurre cuando un componente es incorporado en un sólido. Desde el sólido, entonces, se separa por este fenómeno físico, el aceite volátil de cebolla, es decir, el conjunto de componentes que se caracterizan por su naturaleza esencial.

Para llevar a cabo esta operación, se debe contar con un equipo compuesto fundamentalmente por cuatro componentes:

La retorta o estanque de destilación que es la que contiene el material sólido previamente molido.

Un condensador, que se encarga de convertir en líquido el vapor de arrastre y todos los aceites que contiene. Este es un equipo tradicional, de serpentín o multitubular.

Un separador, cuya función es separar según la densidad los aceites de la matriz de agua que los contiene. Esta unidad debe permitir la separación de aceites más livianos o más densos que el agua con el objeto de usarla unos varios tipos de productos.

Una caldera productora de vapor, cuya función es abastecer del suficiente vapor para calentar la masa de producto y al mismo tiempo, de la corriente de vapor, para producir la desorción del aceite volátil de la mezcla. (Industrialización de la cebolla por Fernando Figueroa R).

2.10.2 Hidrodestilación

Consiste en poner a hervir agua, bien sea por fuego directo, camisa de vapor o camisa de aceite, en la cual se ha sumergido previamente el material vegetal, preferiblemente en polvo,

con el objeto de que el vapor de agua ejerza su acción en el mayor número posible de partículas vegetales.

Similar al arrastre con vapor, el vapor producido arrastra los aceites esenciales hasta otro recipiente donde se condensan y se separan.

Este sistema de extracción tiene el inconveniente de que la temperatura que se emplea provoca que algunos compuestos presentes en las plantas se degraden y se pierdan.

El material vegetal aromático siempre debe encontrarse en contacto con el agua, para evitar el sobrecalentamiento y la carbonización del mismo, debe mantenerse en constante agitación para evitar que se aglomere o sedimente al adherirse a las paredes del recipiente, lo cual puede provocar también su degradación térmica.

Dado que generalmente no es posible colocar suficiente agua para sostener todo el ciclo de destilación, se han diseñado equipos que presentan un tubo de cohobación lateral que permite el retorno de agua hacia el recipiente de destilación. (Chávez, 2007)

2.10.3 Extracción con solventes volátiles

Se basa en la facilidad de los disolventes orgánicos para penetrar en el material vegetal y disolver sus aceites volátiles, debido a las diferencias de punto de ebullición entre el aceite esencial y el solvente. Tiene la ventaja de trabajar a temperaturas bajas, por lo que no provoca la termo destrucción ni alteración química de los componentes del aceite. Además, ofrece la posibilidad de separar componentes individuales y/o presentes en poca cantidad. Se utiliza a escala de laboratorio pues a escala industrial resulta costoso por el valor comercial de los solventes. Se obtienen esencias impurificadas con otras sustancias (algunas veces tóxicas). La muestra seca y molida se pone en contacto con solventes tales como éter de petróleo, pentano, éter etílico, alcohol, cloroformo. Estos solventes extraen ácidos grasos, ceras y pigmentos, que se pueden separar por destilación controlada. (SUSSETY, 2016)

2.10.4 Extracción por Fluidos Supercríticos (EFS)

Consiste en utilizar como material de arrastre sustancias químicas en condiciones especiales de temperatura y presión. El material vegetal se corta en trozos pequeños, se licua y se

empaca en una cámara de acero inoxidable por donde se hace circular un líquido supercrítico. Los aceites esenciales se solubilizan y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente. Finalmente se obtiene un aceite puro de todos los solventes supercríticos, el dióxido de carbono es el más utilizado, debido a que no es un elemento tóxico ni inflamable, no perjudica la naturaleza y no requiere de un equipo demasiado sofisticado para cumplir su misión de arrastre de aceites esenciales. El CO₂ presenta propiedades fisicoquímicas propias de los gases y los líquidas, lo que lo convierte en un solvente muy versátil en procesos de separación; es posible realizar extracciones selectivas a temperaturas menores de 20 °C y presiones fluctuantes entre 60 y 350 bar. Los extractos supercríticos de especias naturales son innovación que repercute favorablemente en el binomio calidad/costo de los alimentos, siendo por tanto de gran utilidad en la industria alimentaria. (Prado, 2020)

2.10.5 Enfloración o Enfleurage

Se emplea para la extracción de esencias de flores delicadas, sensibles al calor y costosas como: rosa, jazmín, azahar, acacia, violeta, y resinas como la mirra. Los pétalos frescos se ponen en contacto con una delgada capa de grasa y el perfume emitido por las flores se absorbe. Después de dos o tres meses, muchas capas de grasa se saturan con las moléculas perfumadas del aceite de la flor, el cual se trata con alcohol y luego se destila para obtener la esencia. Es un procedimiento muy costoso por la mano de obra. Generalmente se sustituye por la extracción con hexano ligero como solvente. Este método tiene sus ventajas debido a que la extracción de algunas plantas tiene bajo contenido intrínseco del aceite esencial, y otros métodos destruirían estas frágiles esencias. (Villario, 2018)

2.11.- Selección del proceso para la extracción del aceite esencial de la cebolla (*allium cepa*)

Para la selección del proceso de extracción se realiza una comparación entre las ventajas y desventajas de los métodos existentes. La materia prima debe ser seleccionada ya que se utilizará cebolla madura y en buen estado para poder obtener un mayor rendimiento de obtención de aceite esencial, por tanto, se elabora la siguiente matriz de decisión.

Tabla II - 9 Selección del método para la extracción del aceite esencial de la cebolla (Allium Cepa).

Proceso	Viabilidad	Ventajas	Desventajas
Destilación por arrastre de vapor	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - Es un método que tiene una mayor cantidad de extracción de aceite esencial en comparación a la extracción con solvente. - Tiene bajos costos de operación. - Se cuenta con el equipo de extracción para este método. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es más propenso a haber pérdidas si es que no se tiene cuidado en el ensamblaje del equipo - Tiempo de extracción mayor.
Hidrodestilación	Poco viable	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de producción - Bajo precio de solvente (agua). 	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento demasiado bajo.
Extracción por solventes	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - Permite una buena extracción de aceite esencial. - Menor tiempo de extracción - Alto costo de los solventes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los solventes son sustancias controladas y no es de fácil accesibilidad para el estudiante.
Extracción por Fluidos Supercríticos (EFS)	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - Buen rendimiento de extracción. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se cuenta con el equipo para su aplicación. - Proceso demasiado caro. - Reactivos muy caros.
Disolución en grasa enfleurage	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento promedio. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de extracción demasiado largo.

Fuente: Elaboración propia 2019.

En vista al número de técnicas aplicables y las más utilizadas en la extracción de aceites esenciales para la selección del método se elabora la siguiente matriz de decisión:

En la siguiente Tabla II- 10 se presenta en base a la selección del método presentado en la Tabla II-9 los mejores procesos para la matriz de decisión para la extracción de aceite esencial de cebolla (*allium cepa*).

Los rangos de valores empleados en la matriz de decisión de la tabla son los siguientes:

Costo de operación: Muy alto = 0; Medio = 4; Bajo = 6; Muy bajo = 8; Sin costo = 10

Calidad del aceite esencial obtenido: Pésima = 0; Mala = 2; Regular = 4; Buena = 6; Buena = 6; Muy buena = 8; Excelente = 10

Rangos de presión y temperatura accesibles: Si = 10; No = 0

El cálculo de la puntuación para cada mérito en la matriz de decisión se calcula multiplicando el valor que se da a cada necesidad por el porcentaje de importancia que tiene cada necesidad y posteriormente se suman los resultados de la multiplicación; por ejemplo:

Multiplicando para costo se tiene $40 \times 6 = 240$

Multiplicando para calidad de aceite obtenido $30 \times 8 = 240$

Multiplicando para rangos de temperatura y presión $30 \times 10 = 300$

Sumando $240 + 240 + 300 = 780$

En base a los parámetros y los resultados de la matriz de decisión, el método seleccionado para el proceso de extracción es por destilación por arrastre de vapor, con una puntuación de 780, debido a las grandes ventajas que presenta, más que todo por el buen rendimiento de obtención del aceite esencial y por un buen grado de pureza obtenida de la misma, además este método es muy utilizado a nivel industrial y es de bajos costos. Las temperaturas de operación y presión son moderadas y accesibles. (Echart, 2014)

Tabla II - 10 Matriz de decisión de extracción de aceite esencial de la cebolla.

Factores/Criterio esenciales	Destilación por arrastre de vapor de agua			Extracción con disolventes orgánicos		Disolución en grasa Enfleurage	
Aplicabilidad a la materia vegetal (cebolla)	Si			Si		Si	
Costo de operación	40%	Bajo	6	Medio	4	Muy alto	0
Calidad del aceite obtenido	30%	Muy buena	8	Buena	6	Muy buena	8
Rangos de P y T accesibles	30%	Si	10	si	10	No	0
TOTAL	100%		780		640		240

Fuente: Elaboración propia 2020.

CAPÍTULO III

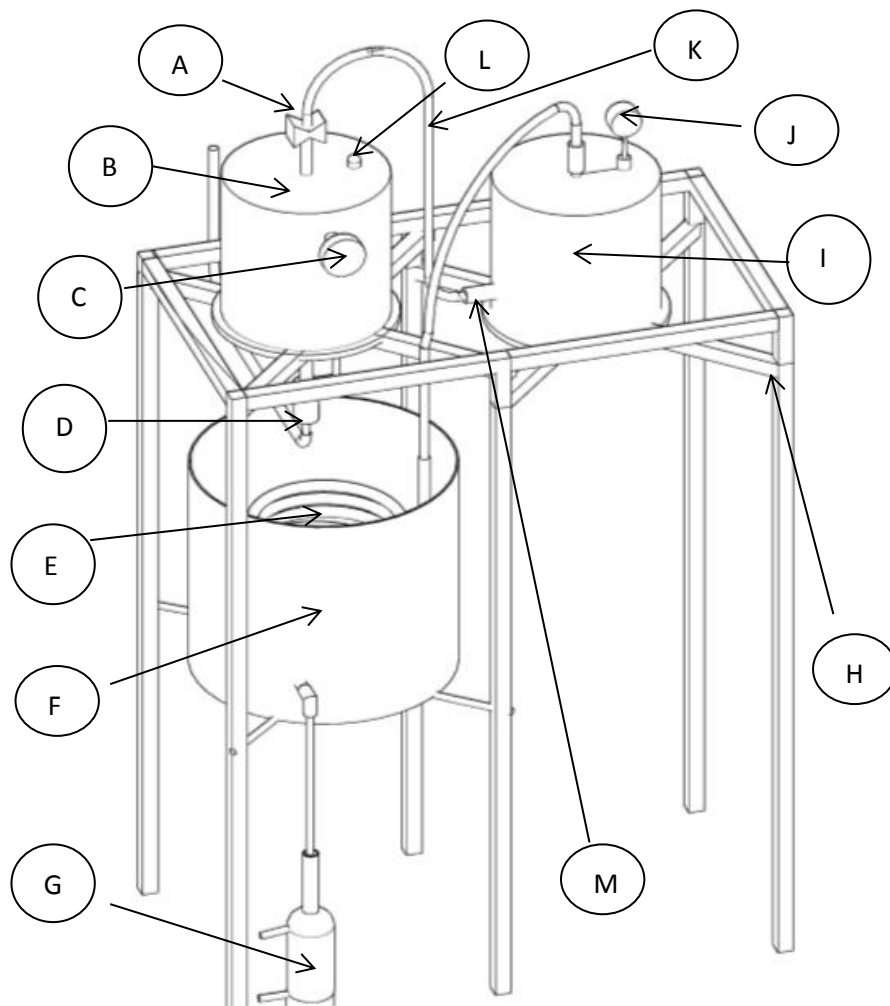
PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Selección del diseño para el equipo de destilación por arrastre de vapor

Se tomó en cuenta tres diseños que se analizan a continuación en base a pruebas preliminares experimentales y resultados.

Se parte de un primer modelo y en base al funcionamiento se realizan las mejoras y planteándose un segundo modelo y en base a su funcionamiento se realiza el tercer modelo que si se utiliza para la extracción del aceite esencial de cebolla.

Imagen III-1 Propuesta de Diseño del primer equipo de destilación.



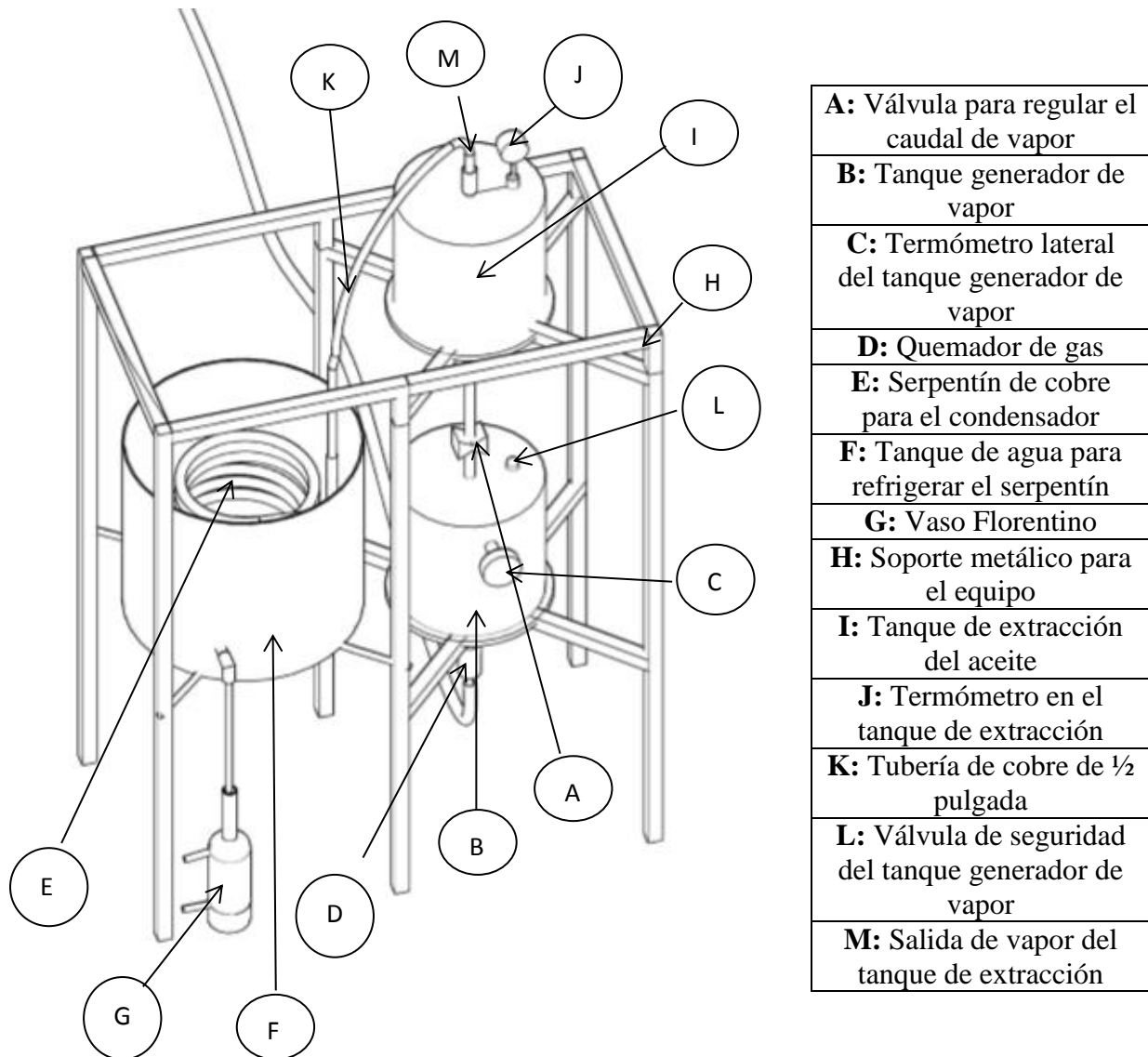
A: Válvula para regular el caudal de vapor
B: Tanque generador de vapor
C: Termómetro lateral en el tanque generador de vapor
D: Quemador de gas
E: Serpentín de cobre para el condensador
F: Tanque de agua para refrigerar el serpentín
G: Vaso Florentino
H: Soporte metálico para el equipo
I: Tanque de extracción del aceite
J: Termómetro en el tanque de extracción
K: Tubería de cobre de ½ pulgada
L: Válvula de seguridad del tanque generador de vapor
M: Entrada de vapor al tanque de extracción

Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2020

El primer modelo permitió determinar las variables de operación, y se obtuvo aceite esencial muy debajo del rendimiento esperado rendimiento del aceite esencial obtenido 0.035% y rendimiento bibliográfico 0.087%.

En base a estos resultados se optó por modificar algunas partes del equipo, lo que dio lugar a un segundo modelo que se presenta a continuación.

Imagen III - 2 Propuesta de diseño del segundo equipo de destilación.

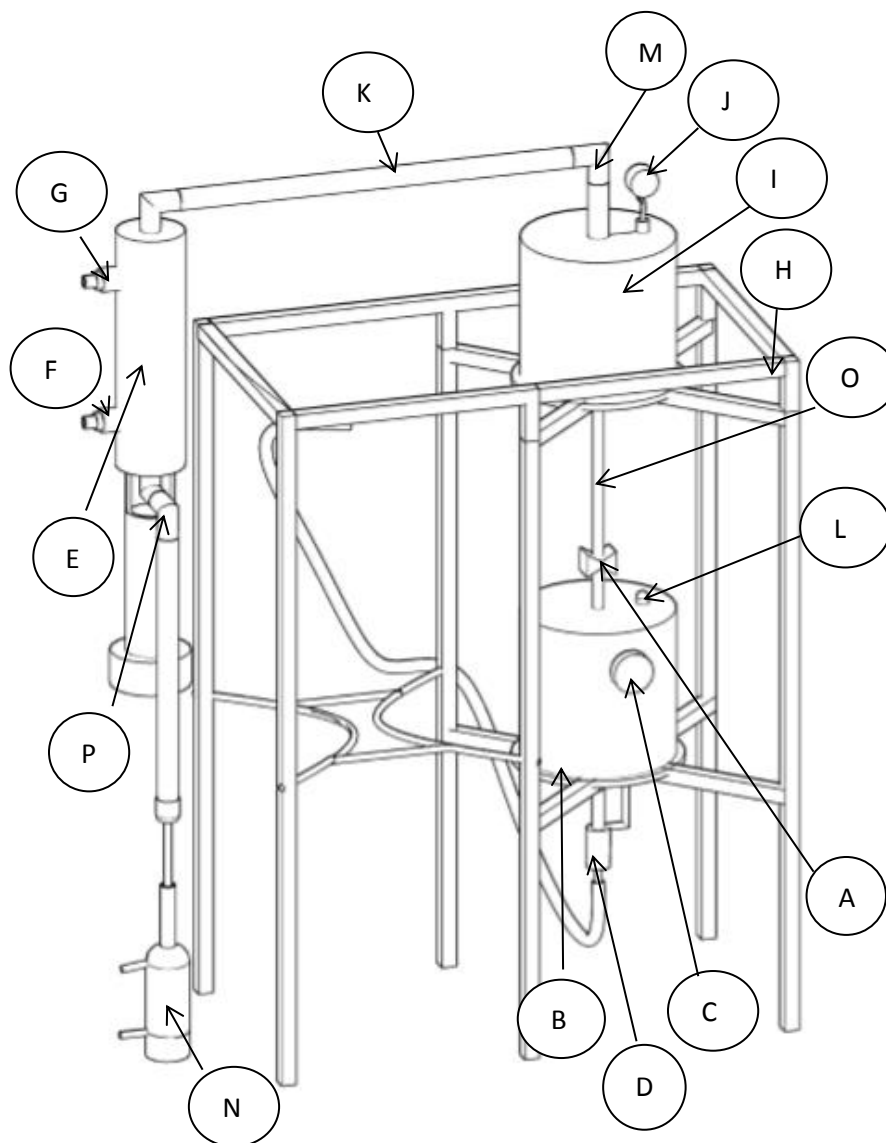


Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2020

El segundo modelo mejora el rendimiento de aceite esencial obtenido 0.058% y rendimiento bibliográfico 0.087%.

En base a que el rendimiento aún es menor a lo esperado se opta por modificar otras partes del equipo para aumentar el rendimiento, esto da lugar al tercer modelo, que se utiliza para extracción del aceite esencial de cebolla.

Imagen III - 3 Propuesta de diseño del tercer equipo de destilación.



Fuente: Elaboración propia en AutoCAD 2020

A: Válvula para regular el caudal de vapor
B: Tanque generador de vapor
C: Termómetro lateral del tanque generador de vapor
D: Quemador de gas
E: Condensador con serpentín de cobre
F: Entrada del refrigerante (agua)
G: Salida del refrigerante (agua)
H: Soporte metálico para el equipo
I: Tanque de extracción del aceite
J: Termómetro en el tanque de extracción
K: Tubería de cobre de 1 1/2 pulgada
L: Válvula de seguridad del tanque generador de vapor
M: Salida de vapor del tanque de extracción
N: Vaso Florentino
O: Tubería de 1/2 pulgada
P: Salida de condensado agua-aceite

En base a estos diseños se realizó una tabla comparativa de ventajas y desventajas para poder determinar y elegir el diseño más conveniente para realizar la parte experimental de la extracción de aceite esencial de cebolla.

Tabla III - 1 Ventajas y Desventajas de los de los diseños de los equipos para la destilación por arrastre de vapor.

Equipo	Ventajas	Desventajas
Diseño N°1	<ul style="list-style-type: none"> - La estructura de soporte no necesita ninguna modificación. - Se inyecta vapor a mayor temperatura para reducir el tiempo de extracción. 	<ul style="list-style-type: none"> - El trayecto que recorre el vapor es demasiado largo por lo que habría mucha pérdida de presión. - El agua de enfriamiento en el condensador se calienta mucho. - La entrada de inyección de vapor al ser lateral no distribuye bien el vapor.
Diseño N°2	<ul style="list-style-type: none"> - Menor trayectoria en las tuberías de la mini caldera hacia el tanque de extracción. - Se inyectará vapor a mayor temperatura para reducir el tiempo de extracción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Salida de vapor en el tanque de extracción es demasiado pequeña - La materia prima se quema en el tanque de extracción. - El agua de enfriamiento en el condensador se calienta mucho.
Diseño N°3	<ul style="list-style-type: none"> - La trayectoria del vapor de la mini caldera hacia el tanque de extracción se reduce. - Aumento del diámetro de la salida del tanque de extracción para que el vapor no se quede acumulado en su interior y queme la materia prima. - Se adapta otro condensador donde circula constantemente agua fría. 	<ul style="list-style-type: none"> - Al no contar con un sistema de reflujo por el enfriamiento del agua, este es vertida al sistema de alcantarillado.

Fuente: Elaboración propia 2020.

Del análisis de la anterior tabla III-1 comparativa se puede concluir que el Diseño N° 3 será el utilizado para consideraciones y desarrollo experimental del proceso y permitirá tener el diseño de equipo de destilación adaptado a los requerimientos del producto a obtener.

3.2 Diseño del equipo de destilación

3.2.1 Tanque de extracción diseñado

Teniendo en cuenta los cálculos de balance de materia, se pretende procesar 1 kilo de materia prima seca para la extracción. Para esta carga de materia prima la columna debe presentar un volumen adecuado. Las variables a considerar para el dimensionamiento de la columna son la altura y el diámetro interior.

Para la columna es necesario establecer el material de construcción y sus especificaciones:

Material: Acero inoxidable 304

Diámetro nominal: 0,35m

Espesor nominal: 1×10^{-3} m

Largo estándar: 0,265 m

Se calcula el volumen necesario para 1 kg de materia prima

$$V_{CC} = \frac{\pi * d^2 h_C}{4}$$

$$V_{CT} = \frac{\pi * h_b^2}{3} \left(\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_1 d_2}{4} \right)$$

Donde:

V_{CC} = volumen del cuerpo cilíndrico de la columna, cm^3

V_{BC} = volumen de la base cónica truncada de la columna, cm^3

d_1 y d_2 = diámetros internos, parte superior e inferior de la columna respectivamente, cm.

h_C y h_b : altura de la parte cilíndrica y base cónica respectivamente, cm.

Tenemos en cuenta que la materia se coloca dentro del cuerpo cilíndrico como un lecho fijo.

Para ello, los valores asignados a h_a y h_e , son 10 y 3 cm respectivamente, que son espacios que se consideran para el diseño.

Se realiza el cálculo de h_f para un volumen (V_{CTE}) de $0,0255 \text{ m}^3 = V_{CC}$, necesarios para colocar 1 kg de materia prima.

$$V_{CC} = \frac{\pi * d^2 h_c}{4} \rightarrow h_c = \frac{V_{CC} * 4}{\pi * d^2}$$

$$h_c = \frac{0,0255 \text{ m}^3 * 4}{\pi * (0,35\text{m} - (2 * (1 \times 10^{-3}\text{m}))^2)}$$

$$h_c = 0,27\text{m}$$

$$V_{CC} = \frac{\pi * (0,35 - (2 * 1 \times 10^{-3}))^2 * 0,27\text{m}}{4}$$

$$V_{CC} = 0,0257\text{m}^3$$

Por tanto, la altura de la parte cilíndrica de la columna será:

$$h_c = h_f + h_a + h_e = 0,27\text{m}$$

Considerando la altura de la base (h_b), y el diámetro de entrada por la parte inferior (d_2) que irá acoplada a una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada = $1,27\text{cm} = 0,0127\text{m}$:

$$V_{BC} = \frac{\pi * h_b^2}{3} \left(\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_1 d_2}{4} \right)$$

$$h_b = 2\text{cm} = 0,02\text{m}$$

$$d_2 = 0,0127\text{m}$$

$$d_1 = 0,35\text{m} - 2(1 \times 10^{-3})\text{m} = 0,348$$

$$V_{BC} = \frac{\pi * 0,02^2}{3} \left(\frac{0,348^2 + 0,0127^2 + (0,348 * 0,0127)}{4} \right) = 1,34 \times 10^{-5} \text{m}^3$$

$$V_{CT} = V_{CC} + V_{BC}$$

$$V_{CT} = 0,0257\text{m}^3 + 1,34 \times 10^{-5}\text{m}^3$$

$$V_{CT} = 0,0257134\text{m}^3$$

3.2.2 Generador de vapor diseñado

3.2.2.1 Cálculo presión de trabajo

Se inicia con la asignación de la presión de diseño, a partir de la presión de operación, basado en las sugerencias del código ASME sección VII.

Presión de diseño

$$P_o > 300\text{Psi} ; P = 1,1P_o$$

$$P_o < 300\text{Psi} ; P = P_o + 30\text{psi}$$

Donde:

P_o: Presión de operación, psi

P: Presión de diseño, psi

Se trabajará con una presión de operación de 1.38 bar (20.08 psi), y se calcula la presión de diseño:

$$P = P_o + 30\text{psi}$$

$$P = 20,08 \text{ psi} + 30\text{psi}$$

$$P = 50,08\text{psi} = 3,45\text{bar} \rightarrow \text{se trabajará con 4 bar}$$

Se considera trabajar con una presión de diseño de 4 bar.

Para los cálculos posteriores de esta sección se considera trabajar con tubería de acero

inoxidable de 1/5 pulgada = 0,0127m de diámetro nominal

3.2.2.2 Cálculo de espesor de cuerpo cilíndrico

Según Megyesy (1992), la fórmula para el cálculo del espesor (esp) es:

$$esp = \frac{PR}{SE - 0,6P} + C * A$$

Donde:

P: presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, psi, lb/pulg²

R: radio interior, 0,35m = 13,78 pulg.

S : valor del esfuerzo del material, 18.750 psi, lb/pulg²

E: eficiencia de la junta, adimensional = 85%

C.A.: margen por corrosión, 0,125 pulg

$$esp = \frac{50,08 * \frac{13,78}{2}}{18750 * 0,85 - 0,6 * (50,08)} + C * A = 0,0216 + C * A$$

$$esp = 0,0216 + 0,125$$

$$esp = 0,146 \text{ pulgadas}$$

3.2.2.3 Cálculo de espesor de cabeza semiesférica

Según Megyesy (1992), la fórmula para el cálculo del espesor para cabeza semiesférica es:

$$esp_{\text{cabeza semiesférica}} = \frac{PR}{2 * S * E - 0,2 * P} + C$$

Donde:

P: presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, psi, lb/pulg²

R: radio interior, 0,35m = 13,78 pulg

S : valor del esfuerzo del material, 18.750 psi, lb/pulg²

E: eficiencia de la junta, adimensional = 85%

C.A.: margen por corrosión, 0,125 pulg

$$esp_{cabeza\ semiesférica} = \frac{50,08 * \frac{13,78}{2}}{18750 * 0,85 - 0,2 * (50,08)} + C * A = 0,0216 + C * A$$

$$esp_{cabeza\ semiesférica} = 0,216 + 0,25$$

$$esp_{cabeza\ semiesférica} = 0,1466\ pulgadas$$

3.2.2.4 Cálculo de longitud del tanque

$$V_{tanque} = V_{tapa} + V_{base} + V_{cilindro}$$

$$V_{cilindro} = \pi * r^2 * h_{cilindro}$$

$$V_{esfera} = V_{base} + V_{tapa} = \frac{4}{3} * \pi * r^3$$

Donde:

r: radio, 13,78 pulg = 35,00cm

h_{cilindro} : altura o longitud, 0,265m = 10,43 pulg = 26,49cm

V_{tanque} = 101.945,467 cm³

Por tanto

$$V_{esfera} = \frac{4}{3} * \pi * r^3 = \frac{4}{3} * \pi * (35cm)^3$$

$$V_{esfera} = 179.594,38cm^3$$

$$Longitud\ del\ tanque = h_{cilindro} = \frac{V_{tanque} - V_{esfera}}{\pi * r^2}$$

$$h_{cilindro} = \frac{101.945,467 - 179.594,38}{\pi * 35^2}$$

$$h_{cilindro} = 21,82\text{cm}$$

3.3 Taxonomía de la materia prima cebolla morada *Allium Cepa*

A continuación, se muestra la taxonomía realizada a la cebolla morada procedente de la localidad El Puente de la provincia Méndez del departamento de Tarija.

Imagen III - 4 Cebolla morada



Fuente: Elaboración propia 2020

Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales

Herbario Universitario (T.B.)

Solicitante: Rubén Morales Rocha

Carrera: Ing. Química - PRQ 056

Informe Virtual de Taxonomía: Cebolla Morada

Responsable: Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza

Fecha: Tarija 21/ 08/ 20

Reino: Vegetal

Phylum: Telemophytæ

División: Tracheophytae

Sub división: Anthophyta

Clase: Angiospermae

Sub clase: Monocotyledoneae

Orden: Liliflorales

Familia: Liliaceae

Nombre científico: *Allium cepa* L.

Nombre común: Cebolla

Fuente: (Herbario Universitario, 2020)



Ing.MSc. Ismael Acosta Galarza

ENCARGADO

3.4 Caracterización de la materia prima: Cebolla morada (*Allium Cepa*, Liliaceae)

Se selecciona como materia prima la cebolla procedente del municipio El Puente de la provincia Méndez ya que esta es la zona que cuenta con muy buenas condiciones climáticas y porque es la zona con mayor producción de dicha hortaliza en el departamento de Tarija.

El tamaño de la cebolla morada para la extracción de aceite esencial de cebolla está determinado en función de la especie y los requisitos observados en las pruebas preliminares como:

Tamaño aproximado de 10cm de diámetro especificada en la tabla III-3. Esto debido a que las cebollas de mayor tamaño no son muy utilizadas en la cocina, por lo tanto, estas cebollas de mayor tamaño tienden a echarse a perder por lo cual al utilizarlas en extracción de aceite esencial habrá menos cantidad de cebolla desechada.

Se selecciona cebolla morada en estado fresco para así aprovechar todos sus componentes y obtener mayor cantidad de aceite esencial.

El color de la cebolla morada es muy importante ya que al tener cebollas moradas con un color intenso quiere decir que hay más cantidad de aceite esencial de cebolla.

Se procede a determinar el contenido de humedad de la cebolla procedente del Municipio El Puento de la provincia Méndez.

Se realiza el análisis mediante el equipo de secado infrarrojo Sartorius del Laboratorio de Operaciones Unitarias para determinar la humedad de la materia prima, dicho análisis mostró el siguiente resultado que se muestra en la tabla III-2.

Imagen III - 5 Secador Infrarrojo Sartorius.



Fuente: Elaboración propia 2020.

**Tabla III - 2 Contenido de humedad de la cebolla procedente del municipio del
Puente.**

Muestra	Humedad	Tiempo del equipo (h)
Cebolla morada	88.015%	3.5

Fuente: Elaboración propia, 2020

Para la determinación de humedad la muestra (cebolla) debe ser lavada y picada a un tamaño de 0,5cm² el tiempo que llevó a cabo esta operación es de aproximadamente 3,5 horas, dando como resultado un contenido de humedad de 88,015%.

En la siguiente tabla III-3 está un resumen de las especificaciones que se toman en cuenta al seleccionar la materia prima para así tener mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de cebolla morada.

Tabla III - 3 Especificaciones de la cebolla para el proceso de extracción de aceite esencial antes de ser deshidratada

Cebolla	Morada
Tamaño	10 cm
Peso	180 g
Color	Morado fuerte intenso
Estado	Fresco
Humedad	88.015%
Cantidad de cascara de cebolla morada	0.045%

Fuente: Elaboración propia 2020.

3.5 Descripción del proceso experimental de extracción de aceite esencial de cebolla

3.5.1 Recepción de la materia prima

Se realiza la recepción de la materia prima verificando que la cebolla se encuentre en buen estado y buen color, que no esté maltratada ni dañada, para tener una buena extracción.

3.5.2 Acondicionamiento de la materia prima

En la siguiente Tabla III-4 se presenta el contenido de cáscara desechada en el proceso de acondicionamiento:

Tabla III - 4 Características de la cebolla en el acondicionamiento

Cebolla	Morada
Cantidad de cebolla (g)	4.000
Cantidad de cáscara cebolla pelada (g)	268
Cantidad de cebolla que entra al proceso de deshidratación (g)	3.900
Área de cebolla picada cm² promedio	0,5cm ²

Fuente: Elaboración propia 2020.

La cebolla debe ser pelada, lavada y picada, para lo cual se utiliza una picadora de cocina para acelerar el proceso de picado. Los tamaños de las partículas de cebolla son de aproximadamente 0,5cm².

Imagen III - 6 Cebolla en el proceso de picado.



Fuente: Elaboración propia 2020.

3.5.3 Deshidratación de la cebolla

Aprovechando el calor dentro del laboratorio donde se encuentra un calefón instalado como se muestra en las imágenes III-7, III-8, III-9, III-10, se aprovecha el calor que este desprende para construir un pequeño secador con dimensiones de $110 \times 110 \text{cm}^2$.

Imagen III - 7 Calefón instalado al secador.



Imagen III-8 Secador de bandejas.



Fuente: Elaboración propia 2020.

Fuente: Elaboración propia 2020.

Se coloca la cebolla en bandejas para proceder a su deshidratado aproximadamente 12 horas. La temperatura dentro de secador es de 45°C , porque esa es la máxima temperatura alcanzada en el cuarto donde se deshidrata la materia prima; además si se somete la materia prima a un secado con temperaturas elevadas mayores a 60°C se corre riesgo de degradar los aceites esenciales que tiene.

Imágenes III – 9 - 10 Cebolla en las bandejas dentro del secador.



Fuente: Elaboración propia 2020.



Fuente: Elaboración propia 2020.

Imagen III-11 Cebolla deshidratada.



Fuente: Elaboración propia 2020.

3.5.4 Extracción del aceite esencial de cebolla

El método utilizado en la extracción es arrastre de vapor en el equipo de destilación construido.

Para la extracción del aceite esencial de cebolla se realizan varias pruebas donde se presenta el volumen del aceite esencial obtenido como la variable respuesta, dependiendo de la masa, tiempo de extracción y la temperatura del vapor inyectado en el proceso de extracción.

Para la extracción del aceite esencial se hace uso de los siguientes equipos:

- Equipo de destilación.
- Soplete a gas natural.

3.5.4.1 Soplete a gas natural

Se utiliza un soplete que está conectado al gas natural; también se puede utilizar una garrafa a GLP (gas licuado de petróleo).

El soplete se encarga de suministrar el calor necesario al tanque generador de vapor para que el vapor alcance la temperatura adecuada para la extracción del aceite.

Imagen III - 12 Soplete conectado a gas natural.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.5.4.2 Equipo de destilación

El equipo de destilación es donde se realiza la extracción del aceite esencial de la cebolla deshidratada.

El equipo diseñado por mi persona en casa donde se realizó los experimentos, consta de tres partes importantes:

- Tanque generador de vapor.
- Tanque de extracción.
- El condensador.

3.5.4.2.1 *Tanque generador de vapor*

Es un tanque donde se carga el agua para la extracción, del aceite. En este tanque se logra gracias a un soplete a gas natural la temperatura adecuada para la extracción que en este caso es de 110°C, tiene un termómetro adaptado para verificar la temperatura adecuada en la extracción. En la parte superior está conectado una válvula para regular el flujo de vapor necesario que entra al tanque de extracción.

Imagen III - 13 Tanque generador de vapor



Fuente: Elaboración propia 2020

3.5.4.2.2 Tanque de extracción

Del tanque generador de vapor viene una conexión hasta el tanque de extracción, que tiene una malla donde va la materia vegetal a destilar (en este caso es la cebolla deshidratada). El tanque de extracción está recubierto por lana de vidrio de un espesor de 1,5cm en todo el tanque.

Imagen III - 14 Tanque de extracción



Fuente: Elaboración propia 2020

3.5.4.2.3 Condensador

Del tanque extracción de la parte superior sale un tubo de aproximadamente 3,5cm de diámetro que va conectado al condensador donde circula agua fría para poder lograr la condensación necesaria para obtener el aceite esencial y el hidrolato de cebolla.

Imagen III - 15 Condensador



Fuente: Elaboración propia 2020

3.5.5 Condensación

Una vez que el vapor alcanza la temperatura adecuada dentro del tanque de generación de vapor pasa al tanque de extracción donde se encuentra la cebolla, y sale por su parte superior y pasa al condensador.

Para la condensación se hace uso del refrigerante universal que es agua.

El fluido refrigerante está conectado con mangueras, una de entrada donde ingresa el agua fría y otra de salida donde sale el líquido refrigerante a una temperatura mayor que a la entrada, se hace uso del agua de pila común.

Imagen III - 16 Condensación



Fuente: Elaboración propia 2020

3.5.6 Decantación

La mezcla condensada que sale del condensador se recolecta en un envase Florentino (Vea imagen III-12). Dicho envase consta de una botella de vidrio transparente con dos orificios uno en la parte superior donde se recupera el aceite esencial de cebolla y otro en la parte inferior donde se deposita el hidrolato de la cebolla.

Imagen III - 17 Aceite esencial de cebolla



Fuente: Elaboración propia 2020.

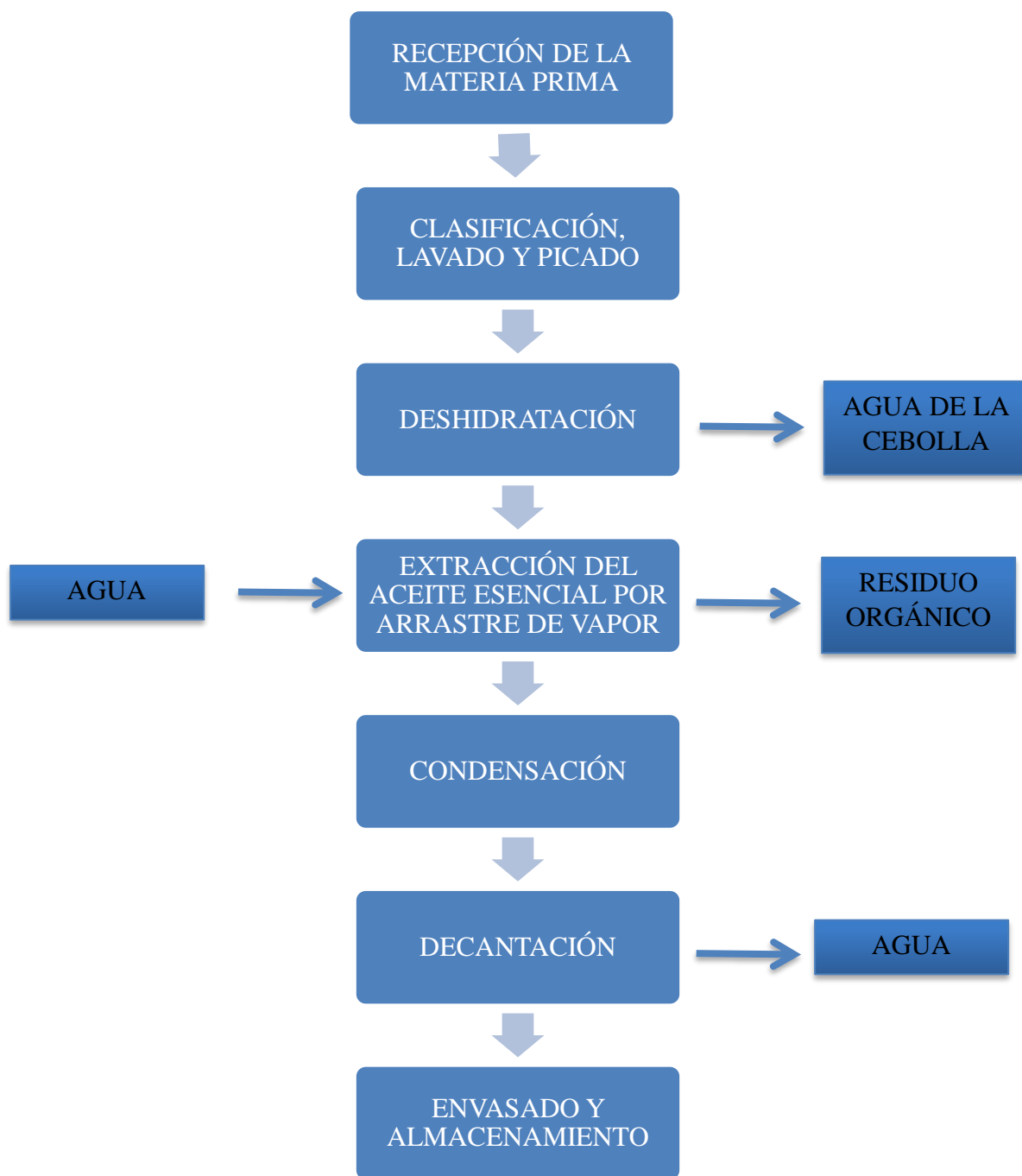
3.5.7 Envasado y almacenado

El aceite esencial obtenido es muy volátil, sensible a la luz, aire, calor, igual que otros aceites esenciales para su envasado se usa un frasco de vidrio oscuro color ámbar y una tapa hermética a rosca, y debe ser almacenado en un lugar fresco y oscuro.

El proceso de extracción de aceite esencial de cebolla empleado en el presente trabajo se presenta en el siguiente diagrama de bloques.

3.6 Diagrama de bloque del proceso de extracción del aceite esencial de cebolla

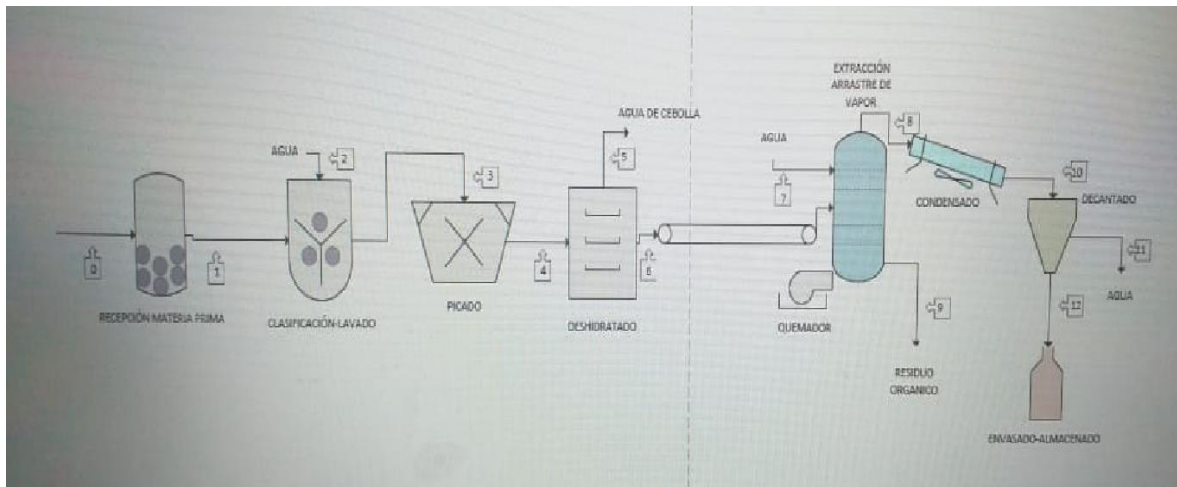
Diagrama de Bloque III-1.



Fuente: Elaboración propia. 2020

3.7 Diagrama de flujo del proceso de extracción del aceite esencial de cebolla

Imagen III - 18 Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial de cebolla



Fuente: Elaboración propia 2020.

Las corrientes están indicadas con números como se muestra en el diagrama

0 = Recepción de la materia prima: Se partió de 4 kg.

1 = materia prima seleccionada 3,9kg.

2 = agua para lavar la cebolla.

3 = materia prima lavada 3,9 kg.

4 = materia prima picada 3,9 kg.

5 = agua deshidratada de la materia prima 3.441,165g.

6 = materia prima deshidratada 450g.

7 = agua cargada en el generador de vapor (caldera) 6 litros = 5.976 g.

8 = vapor mezcla agua-aceite que va al condensador.

9 = residuos orgánicos luego de la destilación: 555.7g.

10 = mezcla agua-aceite condensada = 1.683,41g.

11 = agua separada en la decantación = 1.683,029g.

12 = aceite separado en la decantación = 0,381g.

3.8 Diseño factorial

En muchos experimentos interviene el estudio de los efectos de dos o más factores. En general, los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de experimentos. Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o réplica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. (Delgado, AC Aceites a)

Para optimizar procesos de fabricación, condiciones de reacción y métodos de análisis entre otros, es necesario conocer qué variables influyen significativamente en el sistema y cómo afectan. A menudo esta información no está disponible y se genera experimentando. Primero se recogen en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta. A continuación, se realizan una serie de experimentos en los cuales se fijan las variables que no interesa modificar, se anota el valor de las que no se pueden controlar, y se varían las restantes. Finalmente, se obtiene la información comparando la variación de la respuesta entre experimentos. (Delgado, AC Aceites a)

El elevado coste de la experimentación y las limitaciones de tiempo obligan a ejecutar sólo los experimentos imprescindibles. Y el método tradicional de variar un factor cada vez no suele ser la mejor opción. Puede implicar más experimentos de los necesarios y, a pesar de ello, proporcionar sólo información parcial. Por ejemplo, no mostrará si existe interacción entre factores. Las interacciones suelen ser muy corrientes y a veces son los efectos más importantes, por lo que conocerlas es imprescindible para comprender el comportamiento de muchos sistemas. (Delgado, AC Aceites a)

En el presente trabajo se utiliza el diseño factorial completo 2^k para determinar el número de experimentos elementales que se realizaran en función a los factores o variables independientes controlables (x) que pueden influir en las variables dependientes o respuestas

(y) de la extracción de aceite esencial de cebolla y que se deben controlar para garantizar la calidad del producto final.

La variable de interés que mediremos como consecuencia de la experimentación, es la respuesta.

3.8.1 Construcción de un diseño factorial completo 2^k

En este diseño, cada factor se estudia a solo dos niveles y sus experimentos contemplan todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores. La matriz comprende 2^k filas ($2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$) y k columnas, que corresponden a las k variables en estudio.

3.8.2 Factores o Variables

Temperatura (°C): En la extracción por arrastre de vapor, la temperatura de vapor para la extracción juega un papel importante ya que este afectará el rendimiento y en el tiempo de extracción.

Tiempo de extracción (min): El tiempo de extracción es importante en el proceso con el objetivo de obtener un mayor rendimiento de aceite; la cual dependerá de la cantidad de masa.

Masa (g): La cantidad de masa influye en la transferencia de calor del vapor hacia la materia (cebolla); por lo tanto, el desprendimiento de los aceites esenciales.

Para este caso se consideran 3 factores (variables independientes), a 2 niveles (variables dependientes) cada uno, con 2 repeticiones (A y B); dando como resultado el siguiente diseño factorial:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ corridas/prueba}$$

Los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

- Temperatura (X) = 2 niveles
- Tiempo (Y) = 2 niveles
- Masa (Z) = 2 niveles

3.8.3 Niveles

En la tabla III-5, se muestran los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior), a ser aplicado en la etapa de concentración, conformado por tres variables: Temperatura, tiempo y masa.

Tabla III - 5 Niveles para el diseño factorial.

Factores	Dominio Experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
X: Temperatura	110 °C	120°C
Y: Tiempo	30 min	60 min
Z: Masa de cebolla	350 g	450 g

Fuente: Elaboración Propia. 2020.

Dando como resultado 2 niveles.

3.8.4 Variable respuesta

La variable respuesta es el rendimiento cantidad de aceite obtenido en la extracción de aceite esencial.

$$Y_i = \text{ml}$$

3.8.5 Número de Combinaciones

Al ser el diseño factorial: 2^k

El número de experiencias es $2^3 = 8$

Considerando dos replicas:

Número de experimentos: $2^3 = 8 * 2 = 16$ experimentos

En la tabla III-6, se muestra la matriz del diseño experimental a ser aplicado en la etapa de extracción, conformado por tres variables: temperatura, tiempo y masa.

3.8.6 Diseño factorial de la matriz de variables para el proceso de Extracción

Tabla III - 6 Matriz de variables para el proceso de extracción.

Combinación de tratamientos	Factores			Interacciones				Total	
	X	Y	Z	XY	XZ	YZ	XY Z	Y _i	Y _i
(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁	Y ₁
A	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂	Y ₂
B	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃	Y ₃
Ab	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄	Y ₄
C	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅	Y ₅
ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆	Y ₆
bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇	Y ₇
abc	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈	Y ₈

Fuente: Elaboración propia. 2020.

Donde:

Y_i = variable respuesta

Tabla III - 7 Diseño factorial variables para la extracción

N° Experimento	VARIABLES		
	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Masa (g)
1	110	30	350
2	120	30	350
3	110	60	350
4	120	60	350
5	110	30	450
6	120	30	450
7	110	60	450
8	120	60	450
9	110	30	350
10	120	30	350
11	110	60	350
12	120	60	350
13	110	30	450
14	120	30	450
15	110	60	450
16	120	60	450

Fuente: Elaboración propia. 2020

3.9 Caracterización del tipo y calidad del producto obtenido Aceite esencial de cebolla (Allium Cepa)

Los análisis y controles de calidad que se realiza al producto obtenido son el organoléptico, las propiedades físicas y el cromatográfico, las cuales se detallan en el Capítulo IV del presente trabajo.

3.10 Características organolépticas del aceite esencial de cebolla.

Entre las características organolépticas a evaluar son las siguientes:

- Color.
- Olor.
- Aspecto.

3.11 Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de cebolla (*Allium Cepa*)

Las propiedades fisicoquímicas a determinar al aceite esencial de cebolla son: Densidad, índice de refracción y análisis cromatográfico.

3.11.1 Determinación de la densidad

La densidad del aceite esencial de cebolla se determina en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, perteneciente a la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para lo cual se detalla el procedimiento:

Pesar una probeta de 5 ml en una balanza analítica y tarar la probeta.

Introducir un volumen de 5 ml de aceite esencial.

Pesar el aceite introducido.

Calcular la densidad del aceite esencial de cebolla (*Allium Cepa*) usando la siguiente relación masa y volumen para determinar la densidad. (Vea tabla IV-11)

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

3.11.2 Determinación del índice de refracción

El índice de refracción es la relación de los senos de los ángulos de incidencia y refracción, al cual se le expresa un valor numérico. Para la determinación del índice de refracción se hace uso del refractómetro tipo ABBE perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química. (Vea tabla IV-12)

3.11.3 Análisis cromatográfico

La Cromatografía de Gases es una técnica de identificación de exigencia farmacopeica que puede lograr la más alta resolución de la composición química de los aceites esenciales. Esta se basa principalmente en los fenómenos de partición entre una fase móvil gaseosa (helio, argón, hidrógeno, nitrógeno), y una fase estacionaria, la cual está constituida por un líquido muy viscoso que será retenido en el interior de una columna de cromatografía. Al llevar a cabo una separación cromatográfica de gases, la muestra se deberá inyectar en la cabeza de una columna para ser vaporizada. La elución se realiza mediante el flujo de una fase móvil de gas inerte, indiferentemente de la mayoría de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas presentes del analito, ya que la única función es transportar este último a través de la columna. (Vea tabla IV-13 y Anexo D) (Gil & V, 2000)

3.12 Costos

Para el presente trabajo de investigación se hace la evaluación de los costos directos para producción de aceite esencial de cebolla del trabajo.

Las siguientes tablas muestran el detalle de los costos directos.

3.12.1 Detalle de costos de materia prima, solvente y materiales

Los costos de materia prima y materiales que se utilizaron en el presente trabajo de investigación se detallan en la siguiente tabla III-8.

Tabla III - 8 Detalle de costos de materia prima, solvente y materiales.

Descripción	Peso (Kg)	costo unitario (Bs)	costo total (Bs)
Materia prima			
Cebolla morada	11,34	12	136,08
Solvente	Volumen (l)	Costo unitario (Bs)	costo total (Bs)
Vapor de agua	6	0,5	3
Materiales para armar el destilador	Cantidad (unidad)	Costo unitario (Bs)	costo total (Bs)
Ollas de presión	2	500	1.000
Válvula de vapor	1	35	35
Niples y uniones	6	30	180
Cañería de cobre	2	120	240
Cañería de plástico	1	20	20
Termopares	2	150	300
Alambre galvanizado	1	10	10
Quemador	1	30	30
Manguera de gas	1	10	10
Estructura metálica	1	150	150
Materiales para la destilación	Cantidad (unidad)	Costo unitario (Bs)	costo total (Bs)
Cortadora de cebolla	1	50	50
Vaso Florentino	1	3	3
Utensilios	1	30	30
Envases ámbar de 5ml	4	3	12
Pipetas de 1ml	2	25	50
Subtotal (a)			2.259,08

Fuente: Elaboración propia 2020.

3.12.2 Detalle de costos de análisis

Se refiere a los servicios de laboratorio realizados.

Análisis cromatográfico se detalla en la siguiente Tabla III-9.

Tabla III - 9 Detalle de costo de análisis cromatográfico

Tipo de análisis	Costo del análisis (Bs)
Cromatográfico	1.500
Transporte	50
Subtotal (b)	1.550

Fuente: Elaboración propia 2020.

3.12.3 Detalle de costos de mano de obra, material de escritorio

Se refiere al detalle de los costos de mano de obra, material de escritorio se muestra en la siguiente Tabla III-10

Tabla III - 10 Detalle de costos de Material de Escritorio y mano de obra

Descripción	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Mano de obra	6 meses de trabajo	1.000	6.000
Papel	resma 1	30	30
Tinta	1	100	100
Anillado	6	5	30
Empastado	3	50	150
Subtotal (c)			6.310

Fuente: Elaboración propia 2020.

3.12.4 Detalle de costos totales

Una vez estimado todos los aspectos referidos a los diferentes costos, se realizó un detalle de los mismos en la siguiente tabla III-11

Tabla III - 11 Resumen de costos

Descripción	Costo total (Bs)
a) Costos de materia prima, solvente y materiales	2.259,08
b) Costos de servicios de evaluación fisicoquímica	1.550
c) Costos de mano de obra y materiales de escritorio	6.310
Total	10.119,08bs

Fuente: Elaboración propia 2020.

El costo total de la investigación será 10.119,08bs

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de la materia prima

4.1.1 Determinación de humedad de la materia prima

Se determina la humedad de la cebolla que es la materia prima recién recolectada y también se la determina en estado seco. Para el cálculo del porcentaje de humedad se utiliza la siguiente ecuación.

$$\%H = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) * 100$$

Donde:

m_i = masa inicial de la muestra.

m_f = masa final de la muestra.

4.1.1.1 Deshidratación de la cebolla morada (*Allium cepa*)

En la siguiente Tabla IV-1 se muestra el secado de la materia prima cebolla morada respecto al tiempo de secado. Dicho secado se realizó en un secador casero (Vea anexo B)

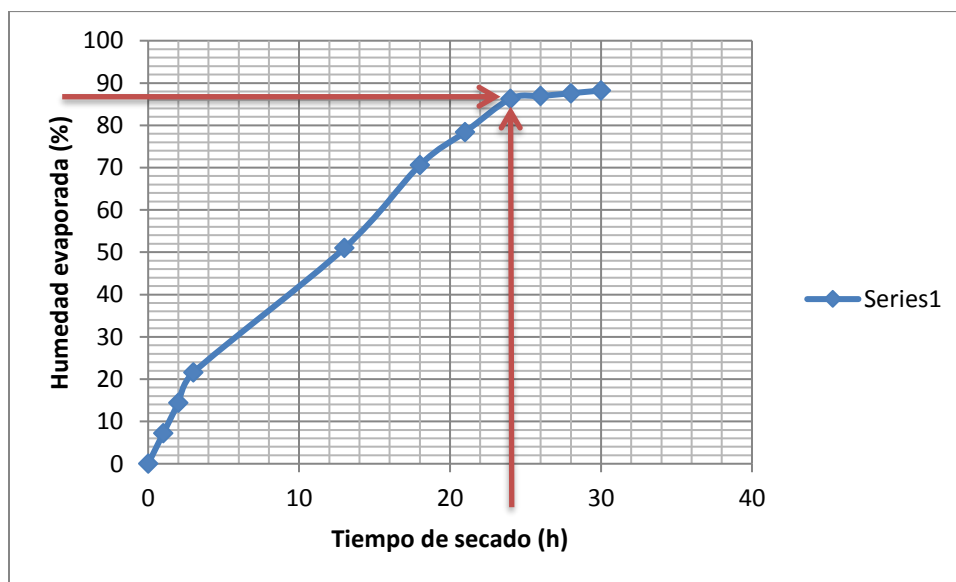
Tabla IV - 1 Porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de secado.

Tiempo de secado (h)	Humedad evaporada (%)
0	0
1	7,19
2	14,38
3	21,57
13	50,98
18	70,59
21	78,43
24	86,27
26	86,92
28	87,58
30	88,235

Fuente: Elaboración Propia 2020.

En el siguiente gráfico IV-1 se presenta la curva de secado.

Gráfico IV-1 Humedad evaporada Vs Tiempo de secado.



Fuente: Elaboración propia 2020.

De acuerdo a la gráfica obtenida se determinó que la humedad adecuada para la extracción del aceite esencial de cebolla, es cuando dicha materia prima alcance una humedad de 13%, que se da a las 24 horas de secado.

4.2 Resultados obtenidos en la fase experimental

El diseño factorial ayuda a encontrar las variables más significativas para llevar a cabo el proceso de extracción y el tratamiento que da los mejores resultados.

Para el diseño realizado se toma como rendimiento el volumen obtenido como variable respuesta de cada combinación (masa, temperatura y tiempo).

En la tabla IV-2 se muestran los resultados de las variables del proceso de extracción, tomando en cuenta como variable respuesta el volumen obtenido.

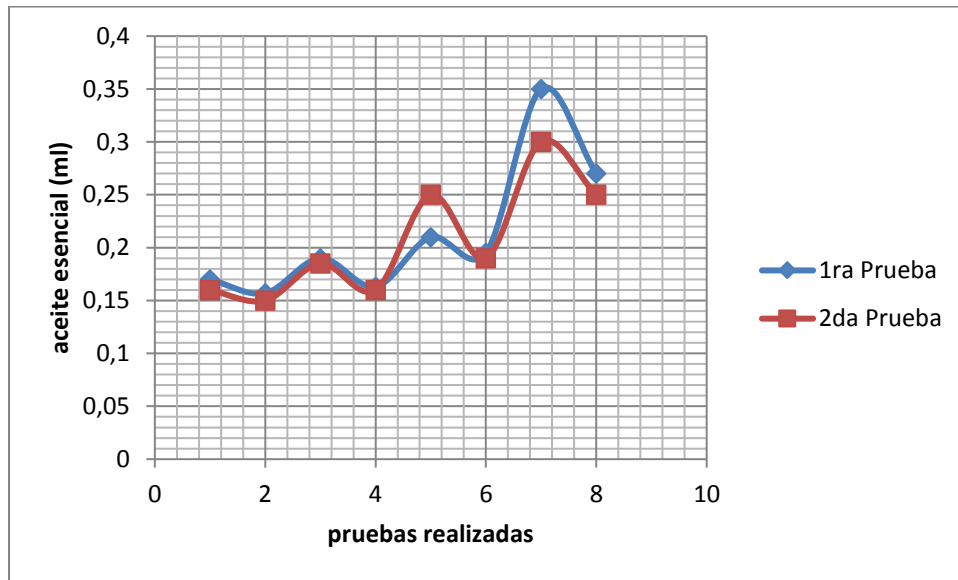
Tabla IV - 2 Resultados obtenidos en la fase experimental.

PRUEBA	TEMPERATURA (g)	TIEMPO DE EXTRACCIÓN (min)	M (°g)	VARIABLE RESPUESTA
				VOLUMEN (ml)
1	110	30	350	0,17
2	120	30	350	0,157
3	110	60	350	0,19
4	120	60	350	0,163
5	110	30	450	0,21
6	120	30	450	0,195
7	110	60	450	0,35
8	120	60	450	0,27
REPLICA				
9	110	30	350	0,16
10	120	30	350	0,15
11	110	60	350	0,185
12	120	60	350	0,16
13	110	30	450	0,25
14	120	30	450	0,19
15	110	60	450	0,3
16	120	60	450	0,25

Fuente: Elaboración propia 2020.

En el siguiente Gráfico IV-2 se presenta las oscilaciones que se obtienen en el proceso de extracción para las distintas variables del diseño factorial con respecto al factor o variable respuesta Volumen (ml).

Gráfico IV- 2 Resultados obtenidos de la fase experimental.



Fuente: Elaboración propia 2020.

4.3 Análisis estadístico del diseño experimental

Procedimiento para la resolución del diseño factorial 2^3 .

4.3.1 Algoritmo de Yates para un diseño 2^k

Una técnica muy eficiente para calcular la estimación de los efectos y las correspondientes sumas de cuadrados en un diseño factorial 2^K fue propuesta por Yates (1937), el cual se procede a elaborar un cuadro de algoritmo de la siguiente manera.

Tabla IV - 3 algoritmo de Yates para un diseño 2^k .

Combinación de tratamientos	Res p (Y _i)		Column a I		Column a II		Column a III	Efectos
1	Y ₁	Y ₁₊ Y ₂	Y ₉	Y ₉₊ Y ₁₀	Y ₁₇	Y ₁₇₊ Y ₁₈	∑Y _i	
a	Y ₂	Y ₃₊ Y ₄	Y ₁₀	Y ₁₁₊ Y ₁₂	Y ₁₈	Y ₁₀₊ Y ₂₀	Y ₂₆	Y _{26/n2^{k-1}}
b	Y ₃	Y ₅₊ Y ₆	Y ₁₁	Y ₁₃₊ Y ₁₄	Y ₁₉	Y ₂₁₊ Y ₂₂	Y ₂₇	Y _{27/n2^{k-1}}
ab	Y ₄	Y ₇₊ Y ₈	Y ₁₂	Y ₁₅₊ Y ₁₆	Y ₂₀	Y ₂₃₊ Y ₂₄	Y ₂₈	Y _{28/n2^{k-1}}
c	Y ₅	Y ₂₋ Y ₁	Y ₁₃	Y ₁₀₋ Y ₉	Y ₂₃	Y ₁₈₋ Y ₁₇	Y ₂₉	Y _{29/n2^{k-1}}
ac	Y ₆	Y ₄₋ Y ₃	Y ₁₄	Y ₁₂₋ Y ₁₁	Y ₂₂	Y ₂₀₋ Y ₁₉	Y ₃₀	Y _{30/n2^{k-1}}
bc	Y ₇	Y ₆₋ Y ₅	Y ₁₅	Y ₁₄₋ Y ₁₃	Y ₂₃	Y ₂₂₋ Y ₂₁	Y ₃₁	Y _{31/n2^{k-1}}
abc	Y ₈	Y ₈₋ Y ₇	Y ₁₆	Y ₁₆₋ Y ₁₅	Y ₂₄	Y ₂₄₋ Y ₂₃	Y ₃₂	Y _{32/n2^{k-1}}
	∑Y _i							

Fuente: Elaboración Propia 2020.

Por lo general para un diseño factorial 2^k deben construirse K columnas de este tipo, por lo tanto, la columna K es el contraste del efecto representado por la letra minúscula al comienzo del reglón.

- Para obtener la estimación del efecto se dividen los valores de la columna K por $n2^{k-1}$ y se crea esta columna.
- Se obtiene la columna de la suma de cuadrados de los efectos elevando al cuadrado los

valores de la columna K, y dividiendo por $n2^{k-1}$.

4.3.2 Representación del análisis de varianza (Anova) en el diseño 2^3

En la siguiente tabla IV-4, se muestra la tabla de análisis de varianza (ANOVA) para un diseño factorial de 2^3 , en base a la aplicación de la prueba de Fisher.

Tabla IV - 4 Análisis varianza ANOVA.

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fisher calculado (Fcal)	Fisher tabulado (Ftab)
Total	SS(T)	$n2^3-1$			
Factor A	SS(A)	(a-1)	$CM(A) = \frac{SS(A)}{(a-1)}$	$\frac{CM(A)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(A)}}{GL_{SS(E)}}$
Factor B	SS(B)	(b-1)	$CM(B) = \frac{SS(B)}{(b-1)}$	$\frac{CM(B)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(B)}}{GL_{SS(E)}}$
Factor C	SS(C)	(c-1)	$CM(C) = \frac{SS(C)}{(c-1)}$	$\frac{CM(C)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(C)}}{GL_{SS(E)}}$
Interacción AB	SS(AB)	(a-1)(b-1)	$CM(AB) = \frac{SS(AB)}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{CM(AB)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(AB)}}{GL_{SS(E)}}$
Interacción AC	SS(AC)	(a-1)(c-1)	$CM(AC) = \frac{SS(AC)}{(a-1)(c-1)}$	$\frac{CM(AC)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(AC)}}{GL_{SS(E)}}$
Interacción BC	SS(BC)	(b-1)(c-1)	$CM(BC) = \frac{SS(BC)}{(b-1)(c-1)}$	$\frac{CM(BC)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(BC)}}{GL_{SS(E)}}$
Interacción ABC	SS(ABC)	(a-1)(b-1)(c-1)	$CM(ABC) = \frac{SS(ABC)}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$\frac{CM(ABC)}{CM(E)}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{GL_{SS(ABC)}}{GL_{SS(E)}}$
Error	SS(E)	$(n2^{k-1})$	$CM(E) = \frac{SS(E)}{(n2^{k-1})}$		

Fuente: Elaboración propia 2020.

En la tabla IV-5 se observa el arreglo matricial y resultados del diseño factorial 2^3 de las variables independientes: temperatura, tiempo y masa.

Tabla IV – 5 Arreglo matricial y resultado del diseño factorial en el proceso de extracción.

Corridas	Combinación de tratamientos	Factores			Replica I	Replica II
		T (°C)	t (min)	Masa (g)		
1	1	110	30	350	0,17	0,16
2	a	120	30	350	0,157	0,15
3	b	110	60	350	0,19	0,185
4	ab	120	60	350	0,163	0,16
5	c	110	30	450	0,21	0,25
6	ac	120	30	450	0,195	0,19
7	bc	110	60	450	0,35	0,3
8	abc	120	60	450	0,27	0,25

Fuente: Elaboración propia. 2020.

Aplicando la matriz del algoritmo de Yates, se tiene:

Tabla IV - 6 Matriz de algoritmos de Yates y Resultados.

Combinación de tratamientos	Resp. Yi		Columna I		Columna II		Columna III	Suma de cuadrados
1	0,33	0,33+0,307	0,637	0,637+0,698	1,335	1,335+2,015	3,35	
T	0,307	0,343+0,323	0,698	0,845+1,17	2,015	-0,075+-0,205	-0,28	0,0049
t	0,375	0,46+0,385	0,845	-0,023+-0,052	-0,075	0,061+0,325	0,386	0,00931225
R	0,323	0,65+0,52	1,17	-0,075+-0,13	-0,205	-0,029+-0,055	-0,084	0,000441
Tt	0,46	0,307-0,33	-0,023	0,698-0,637	0,061	2,015-1,335	0,68	0,0289
TR	0,385	0,323-0,375	-0,052	1,17-0,845	0,325	-0,205--0,075	-0,13	0,00105625
tR	0,65	0,385-0,46	-0,075	-0,052--0,023	-0,029	0,325-0,061	0,264	0,004356
TtR	0,52	0,52-0,65	-0,13	-0,13--0,075	-0,055	-0,055--0,029	-0,026	4,225E-05
	3,35							

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Forma de elaborar la columna de las sumas de los cuadrados; se obtiene elevando al cuadrado los valores de la columna (3) luego dividirlos por $n2^k = 2 \times 2^3 = 16$. Así mismo la suma de la variable respuesta $\sum Y_i = 3.35$, debe ser igual al primer valor (**3.35**) de la columna III.

La suma de cuadrados del total de los factores T.

$$SS(T) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 Y_{ijkl}^2 - \frac{T^2}{8n}$$

$$SS(T) = 0.17^2 + 0.16^2 + 0.157^2 + 0.15^2 + 0.19^2 + 0.185^2 + 0.163^2 + 0.160^2 + 0.21^2 + 0.25^2 + 0.195^2 + 0.190^2 + 0.35^2 + 0.3^2 + 0.27^2 + 0.25^2 - \frac{3,35^2}{8 \times 2}$$

$$SS(T) = 0.753 - 0.701$$

$$SS(T) = 0,0514$$

La suma de cuadrados de error de los factores E:

$$SS(E) = SS(T) - SS(A) - SS(B) - SS(C) - SS(AB) - SS(AC) - SS(BC) - SS(ABC)$$

$$SS(E) = 0,0514 - 0,0049 - 0,0093 - 0,00044 - 0,0289 - 0,00105625 - 0,004356 - 4,225E-05$$

$$SS(E) = 0,0023$$

En la tabla IV-7, se muestra la tabla de análisis de varianza (ANOVA) de la prueba estadística de Fisher.

Tabla IV - 7 (ANOVA) para el diseño factorial 2³.

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fisher Cal	Fisher Tab
Total	0,0049	16 - 1 = 15			
Temperatura	0,00931225	2 - 1 = 1	3,42x10 ⁻⁴	16,6525064	11,259
tiempo	0,000441	2 - 1 = 1	9x10 ⁻⁶	31,6474087	11,259
Masa	0,0289	2 - 1 = 1	1,6x10 ⁻⁵	1,49872557	11,259
Temperatura-tiempo	0,00105625	2 - 1 = 1	5.11x10 ⁻³	98,2158029	11,259
Temperatura-masa	0,004356	2 - 1 = 1	7.22x10 ⁻⁵	3,58963466	11,259
tiempo-masa	4,225E-05	2 - 1 = 1	4x10 ⁻⁴	14,8037383	11,259
Temperatura-tiempo - masa	0,0049	2 - 1 = 1	1.96x10 ⁻⁴	0,14358539	11,259
Error	0.0023	2 ³ -8	0.000294		

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.4 Cálculo del rendimiento de obtención del aceite esencial de cebolla

Para el cálculo del rendimiento del aceite esencial de cebolla se aplica la siguiente expresión:

$$R = \frac{\text{masa}_{\text{aceite esencial}}}{\text{masa}_{\text{cebolla deshidratada}}} * 100$$

Para el cálculo del rendimiento se toma en cuenta la mejor extracción del aceite esencial de cebolla obtenida la cual se presenta en la Tabla IV-8 siguiente.

Tabla IV - 8 Datos para el cálculo de rendimiento de extracción del aceite esencial de cebolla.

Masa (g)	Densidad del aceite (g/ml)	Volumen de aceite obtenido (ml)
450	1,09	0,35

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Con estos datos se obtiene la masa del aceite esencial obtenida con la siguiente relación:

$$m = \rho * V = (1,09\text{g/ml} * 0,35\text{ml}) = 0,3815\text{g}$$

Con el dato de masa de aceite esencial se procederá al cálculo del rendimiento

$$R = \frac{\text{masa}_{\text{aceite esencial}}}{\text{masa}_{\text{cebolla deshidratada}}} * 100 \% \quad (\text{Rendimiento masa/masa})$$

$$R = \frac{0,3815}{450} * 100 = 0,085\%$$

$$R = 0,085 \%$$

En la siguiente Tabla IV-9 se muestra el rendimiento de aceite esencial de cebolla obtenido de otro autor haciendo una comparación con lo obtenido.

Tabla IV - 9 Comparación de resultados de rendimiento obtenido con el rendimiento bibliográfico

Autores	Morales R. R., 2020 (Tarija-Bolivia)	Rodríguez H.B.,1998 (México)
Rendimiento	0,085 %	0,087%

Fuente: Elaboración propia en comparación con datos de la Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de biotecnología Aceite esencial de cebolla y ajo obtenidos por arrastre de vapor México. 2020

4.5 Resultados analíticos del producto obtenido

4.5.1 Análisis organoléptico

En la siguiente Tabla IV-10 se presenta los resultados organolépticos del aceite esencial de cebolla obtenidos en el proceso de extracción.

Tabla IV - 10 Análisis organoléptico.

Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Resultado
Color	Sensorial	Amarillo ámbar
Olor	Sensorial	Muy penetrante
Aspecto	Sensorial	Limpio cristalino

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.5.2 Análisis fisicoquímico

En las Tablas IV-11, IV-12 se muestran los datos del análisis fisicoquímico del aceite esencial.

Tabla IV - 11 Densidad.

Densidad			
Parámetro	Unidad	Relación de calculo	Resultado
Densidad	g/ml	$\rho = m/V$	1,089
			1,088
			1,089
			1,091
Promedio			1,090

Fuente: Elaboración propia 2020.

Tabla IV - 12 Índice de refracción.

Índice de refracción			
Parámetro	Unidad	Lecturas	Resultado Promedio
Índice de refracción a 25°C	---	4	1,3475

Fuente: Elaboración propia, 2020.

4.6 Análisis cromatográfico

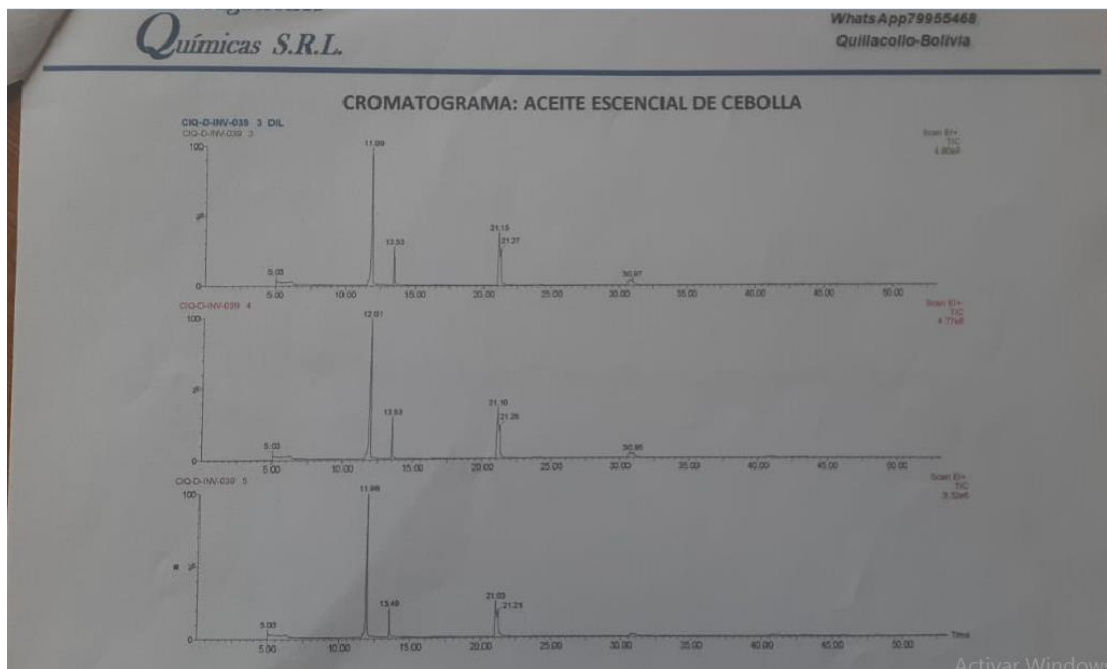
En la siguiente Tabla IV-13 se muestra los componentes mayoritarios del aceite esencial de cebolla. O véase el anexo D (informa de resultado de análisis de laboratorio)

Tabla IV - 13 Componentes mayoritarios del aceite esencial de cebolla morada

Ítem	Picos	Compuesto
1	Pico 1	disulfuro de dipropilo
2	Pico 2	metil propil trisulfuro
3	Pico 3	dipropil trisulfuro
4	Pico 4	alil propil trisulfuro

Fuente: Elaboración propia, 2020.

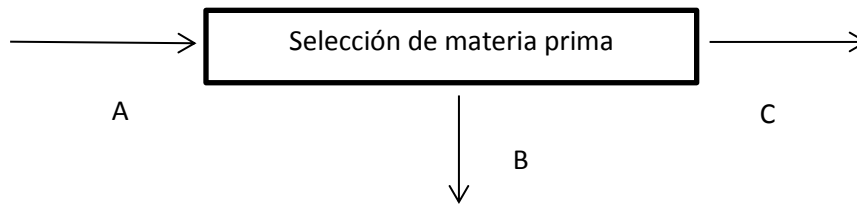
Imagen IV - 1 Análisis cromatográfico del aceite esencial de cebolla



Fuente: Centro de Investigaciones Químicas S.R.L 2020

4.7 BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEBOLLA (*ALLIUM CEPA*).

4.7.1 Balance de materia en la recepción de materia prima



Se selecciona la materia prima cebolla morada grandes de 10cm de alto

A = Cebolla de todo tamaño

B = Descarte de cebolla morada

C = Cebolla seleccionada

$$A = B + C$$

$$A = 5.000g$$

$$C = 4.500g$$

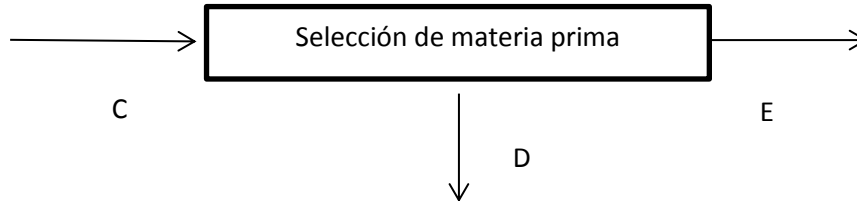
$$B = A - C$$

$$B = 5.000g - 4.500g$$

$$B = 500g$$

4.7.2 Balance de materia en el picado de cebolla morada

Se procede al pelado y picado de la cebolla morada, hasta tener un tamaño de $0,5\text{cm}^2$.



C= cebolla seleccionada

D= Descartes y pérdidas (Cáscara de cebolla y pérdidas en el picado)

E= Cebolla morada picada $0,2\text{cm}^2$

$$C = D + E$$

$$C = 4.500\text{g}$$

$$E = 3.900\text{g}$$

$$D = C - E$$

$$D = 4.500\text{g} - 3.900\text{g}$$

$$D = 600\text{g de descarte}$$

4.7.3 Balance de materia en el secador

4.7.3.1 Contenido de humedad en base húmeda

Porcentaje de humedad en base húmeda de la cebolla morada

La humedad en base húmeda de la cebolla morada está expresada de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de humedad} = X_h = \frac{m_i - m_s}{m_i} * 100$$

Donde:

m_s = masa del sólido seco

m_i = masa inicial

En la siguiente Tabla IV-14 se muestra el porcentaje de humedad de la cebolla morada en base húmeda

Tabla IV - 14 Contenido de humedad de la cebolla morada en base húmeda

Tiempo de secado (h)	Humedad evaporada X_h (%)	Masa de agua evaporada (g)	Masa sólido restante al secar (g)
0	0	0	3.900
1	7,19	287,6	3.712,4
2	14,38	575,2	3.424,8
3	21,57	862,8	3.137,2
13	50,98	2.039,2	1.960,8
18	70,59	2.823,6	1.176,4
21	78,43	3.137,7	862,3
24	86,27	3.450,8	549,2
26	86,92	3.476,8	523,2
28	87,58	3.503,2	496,8
30	88,75	3.529,2	450,19

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.7.3.2 Contenido de humedad en base seca

El cálculo de humedad en base seca se determina en base a los resultados obtenidos en el laboratorio de la pérdida de humedad del peso de la cebolla morada y según la siguiente ecuación:

$$X_s = \frac{m_i - m_s}{m_s}$$

Para este caso viene dado de la siguiente manera:

Para una temperatura de 45°C se tiene:

$m_i = 3.900\text{g}$ para un tiempo de 0 min

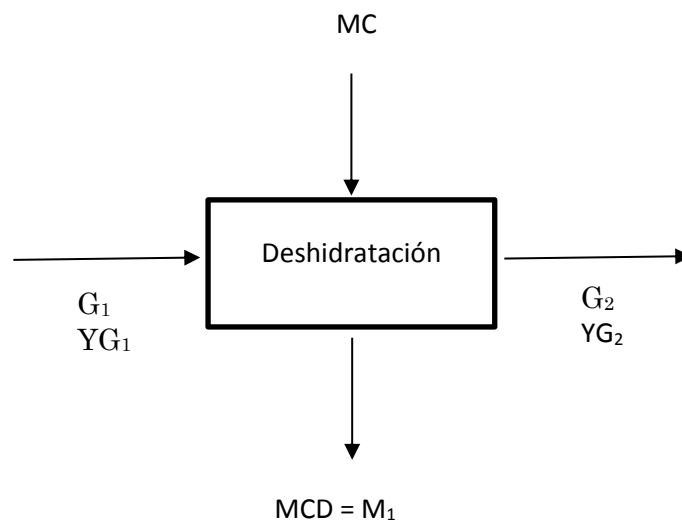
$m_s = 450\text{g}$ para un tiempo de 1.800 min = 30h

$$X_s = \frac{3.900 - 450}{450} = 7,66 \frac{\text{g } H_2O}{\text{g } SS}$$

$$X_s = \text{Humedad en base seca} \left(\frac{\text{Kg } H_2O}{\text{Kg de solido seco}} \right)$$

$$X_s = 7,66 \frac{\text{g } H_2O}{\text{g } SS} * \left(\frac{1\text{Kg } H_2O}{1.000\text{g } H_2O} \right) * \left(\frac{1.000\text{g } SS}{1 \text{Kg } SS} \right) = 7,66 \left(\frac{\text{Kg } H_2O}{\text{Kg } SS} \right) = \left(\frac{\text{g } H_2O}{\text{g } SS} \right)$$

4.7.3.3 Balance de materia en el secado



Donde:

G_1 = Cantidad de aire caliente

MC = cebolla picada = 3.900g

MCD = Cebolla deshidratada = 450g

G_2 = Cantidad de aire húmedo

Balance general

$$G_1 + MC = G_2 + MCD$$

Balance parcial en base seca en el proceso de deshidratación

$$G_1 \cdot Y_{G1} + MC \cdot X_{MC} = G_2 \cdot Y_{G2} + MCD \cdot X_{MCD}$$

Considerando un sistema abierto

$$G_1 = G_2 = G$$

Donde:

$$MC = MCD = SS$$

SS= Cantidad del producto seco

Reordenando la ecuación

$$G \cdot Y_{G1} + SS \cdot X_{MC} = G \cdot Y_{G2} + SS \cdot X_{MCD}$$

$$SS(X_{MC} - X_{MCD}) = G(Y_{G2} - Y_{G1})$$

En la Tabla IV-15 se muestran los resultados obtenidos de las propiedades psicométricas del aire de entrada y salida del secador en base a las temperaturas de bulbo seco (Tbs) y temperatura del bulbo húmedo (Tbh), las cuales fueron realizadas utilizando un software Akton de psicometría (Martinez-Arnold, 1996), según las condiciones de presión 610,05 mmHg y altura 2.000 msnm de la ciudad de Tarija.

Tabla IV - 15 Propiedades psicométricas del aire a la entrada y salida del secador

Propiedades	Aire de entrada	Aire salida
Tbs °C	26	43
Tbh °C	19	35
HR%	58	61
Y (Kg de agua/ Kg de aire)	0,0135	0,040
V _c (m ³ /Kg)	0,835	0,89

Fuente: Elaboración propia 2020.

Donde:

HR = Humedad relativa (%).

Y= Humedad absoluta (Kg agua/Kg aire).

Ve= Volumen específico (m^3/Kg).

Se calcula la cantidad de sólido seco de la muestra tomando en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$SS=SS_1(1 - W_{SS_1}^{H_2O})$$

Donde:

SS= Cantidad de producto seco.

SS_1 = Cantidad de alimento húmedo.

$W_{SS_1}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad de la muestra.

Reemplazamos datos en la ecuación

$$SS=3.900g (1-0,8844) =\mathbf{450,8g}$$

Calculamos la cantidad de agua evaporada en el secador; se utiliza la siguiente expresión matemática

$$WE=SS(W_2 - W_1)$$

Donde:

WE= Cantidad de agua evaporada

W_2 =Contenido de humedad en base seca de la muestra.

W_1 = Contenido de humedad seco del producto deshidratado

Reordenamos la ecuación en función del contenido de humedad de la muestra

$$WE=SS(X_{MC} - X_{MCD})$$

Donde:

X_{MC} =7,66g agua/g sólido seco

$X_{MCD}=0,015\text{g agua/g sólido seco, extraído}$

Reemplazamos datos a la ecuación

$$WE=450,8\text{g}(7,66 -0,015) =3.440,8616\text{g}$$

Despejamos G de la ecuación, se calcula la cantidad el caudal de aire utilizado, tomando en cuenta el tiempo de secado de la cebolla morada.

$$G = \frac{SS(X_{MC} - X_{MCD})}{(Y_{G2} - Y_{G1})}$$

$$G = \frac{450,8\text{g}(7.66 - 0,015)}{(0,04 - 0,0135)} = 127.550,9736\text{g aire seco}$$

$$G = \frac{127.550,9736\text{g aire seco}}{30\text{h}} = 4.251,699\text{g aire seco/h}$$

Para calcular la cantidad de caudal de aire se toma en cuenta la expresión matemática citado por Valiente, (1994). El volumen específico del aire a la salida del secador es $0,001255\text{ m}^3/\text{g}$

$$G_2 = G \cdot V_e$$

$$G_2 = 4.251,699\text{ g/h} \left(0,001255\text{ m}^3/\text{g}\right) = 5,33\text{ m}^3/\text{h}$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida del secador, se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$m_{\text{aire}} = \frac{WE}{(Y_2 - Y_1)t_s}$$

Donde:

$m_{\text{aire}} = \text{Caudal másico del aire}$

$WE = \text{Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado}$

$Y_2 = \text{Cantidad de humedad absoluta a la salida del secador}$

$Y_1 = \text{Contenido de humedad a la entrada del secador}$

$t_s =$ Tiempo de secado de la cebolla

Reemplazamos datos en la ecuación

$$m_{aire} = \frac{3.440,8616g}{(0,04 - 0,0135)30h} = 4.328,13 g/h = 4,328 Kg/h$$

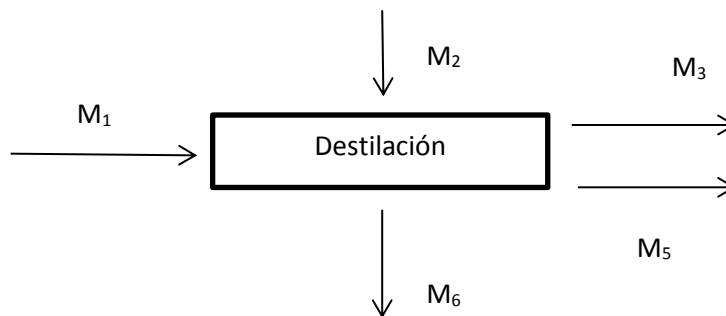
Para calcular la velocidad volumétrica de aire en la entrada del secador, se toma en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$G_1 = m_{aire} \cdot Ve$$

$$G_1 = 4,328 Kg/h * 1,091 m^3/Kg = 3,614 m^3/h$$

4.7.4 Balance de materia en el destilador.

Para la masa de cebolla de entrada se utiliza la corriente MCD = $M_1 = 450g$ que es la masa de cebolla morada deshidratada.



Donde:

M_1 = Masa de agua inicial cargado en el tanque generador de vapor.

M_2 = Masa del bulbo de cebolla cargado en el tanque de extracción.

M_3 = Masa residual del bulbo de cebolla.

MR = Masa de agua retenida en los residuos.

M_5 = Masa de agua residual en el tanque generador de vapor.

M_6 = Masa de Vapor y Aceite.

M_7 = Masa del condensado (agua + aceite esencial).

M_8 = Masa de agua condensada.

M_9 = Masa del aceite esencial condensado.

Balance global.

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_5 + M_6$$

Masa de agua inicial cargada en el generador de vapor.

$$M_{\text{agua cargado en el generador de vapor}} = V_{\text{agua cargada en el generador de vapor}} * \rho_{\text{agua}} = 6.000 \text{ ml} * 0,996 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$M_{\text{agua cargado en el generador de vapor}} = 6.000 \text{ ml} * 0,996 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 5.976\text{g}$$

Masa de agua condensada.

$$\text{Masa de agua condensada} = V_{\text{agua condensada}} * \rho_{\text{agua}} = 1.745 \text{ ml} * 0,996 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\text{Masa de agua condensada} = 1.745\text{ml} * 0,996 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1.738,02 \text{ g}$$

Masa de aceite esencial condensado.

$$m_{\text{aceite esencial condensado}} = V_{\text{aceite esencial condensado}} * \rho_{\text{aceite esencial}} = 0,35 \text{ ml} * 1,09 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$m_{\text{aceite esencial condensado}} = 0,35 \text{ ml} * 1,09 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 0,381 \text{ g}$$

Por diferencia de las masas se puede obtener la masa de agua que queda al final de la destilación en el equipo de destilación.

$$M_1 = M_5 + M_8 + M_9 + MR$$

MR = Masa de agua retenida en el residuo luego del proceso de destilación.

$$MR = 105,7\text{g}$$

$$M_5 = M_1 - M_8 - M_9 - MR$$

$$M_5 = 5.976g - 1.738,02g - 0,381g - 50,7g$$

$$M_5 = 4.186,89g$$

M_3 = masa residual después del destilado.

$$M_3 = MR + M_2$$

$$M_3 = 105,7g + 450g$$

$$M_3 = 555,7g$$

$$M_6 = M_1 + M_2 - M_3 - M_5$$

$$M_6 = 5.976g + 450g - 555,7g - 4.186,89g$$

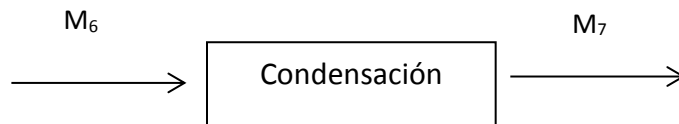
$$M_6 = 1.683,41g$$

Masa de vapor y aceite esencial a la salida de la torre de destilación.

$$M_6 = 1.683,41g$$

4.7.5 Balance de materia en el condensador.

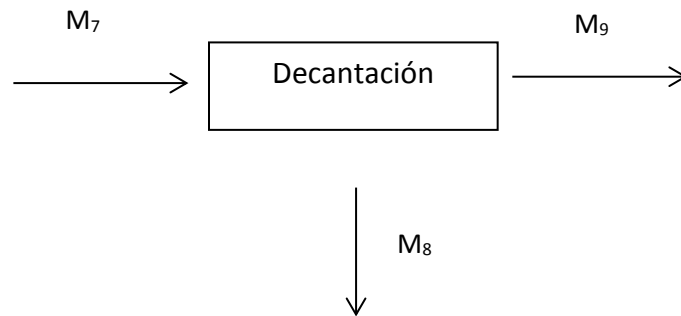
Diagrama de bloque en el condensador.



Como no hay transferencia de masa se deduce que $M_6 = M_7$

$$M_6 = M_7 = 1.683,41g$$

4.7.6 Balance de materia en el decantador.



Balance global:

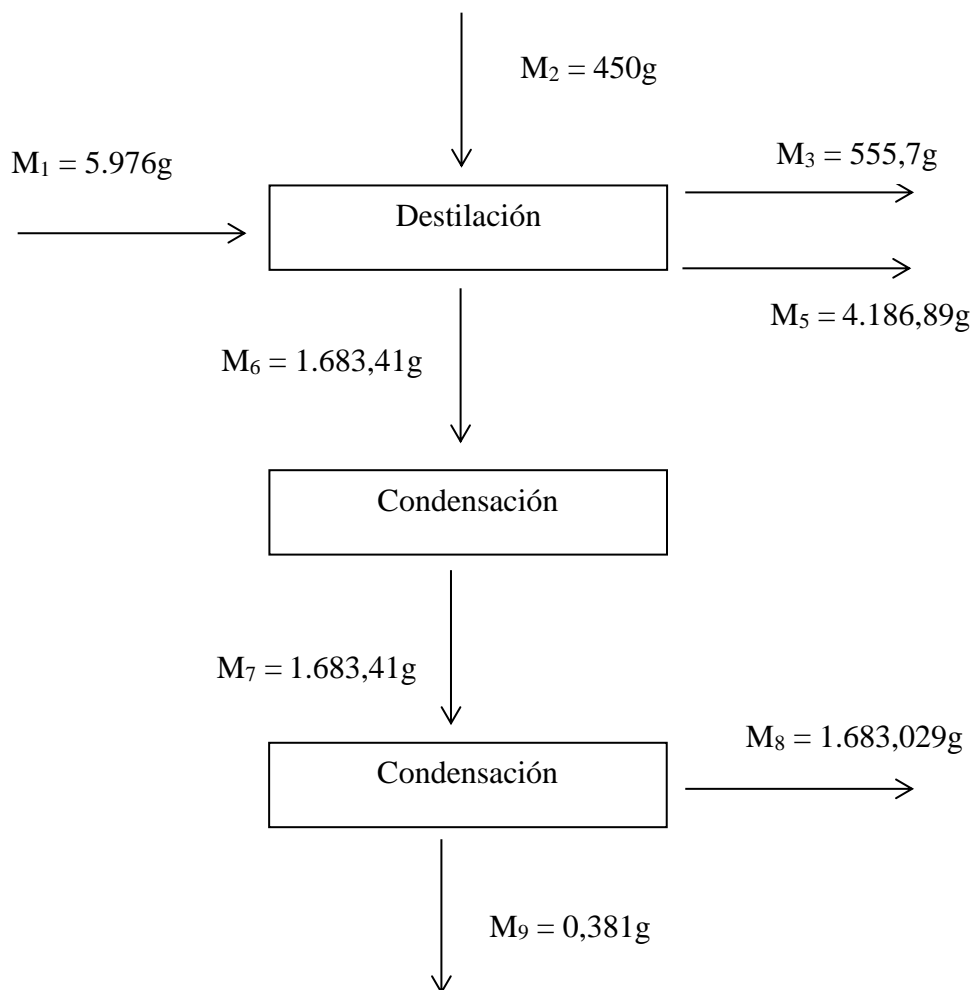
$$M_7 = M_8 + M_9$$

Masa de agua condensada proveniente de la destilación donde se da la separación aceite-agua

$$M_8 = M_7 - M_9 = 1.683,41\text{g} - 0,381\text{g}$$

$$M_8 = 1.683,029\text{g}$$

En el siguiente diagrama se muestra representado el resumen del balance de materia de la obtención de aceite esencial de cebolla (Allium Cepa).



Fuente: Elaboración propia 2020.

Masa de vapor generado en el tanque generador de vapor con un tiempo de operación de 60 minutos es el siguiente:

$$V_{\text{vapor}} = V_{\text{agua inicial cargado tanque de generador de vapor}} - V_{\text{agua residual en el tanque de generador de vapor}}$$

$$V_{\text{agua residual en el tanque generador de vapor}} = \frac{m_{\text{agua residual en el generador de vapor}}}{\rho_{\text{agua}}} = \frac{4.186,89\text{g}}{1,09\text{g/ml}}$$

$$V_{\text{agua residual en el tanque generador de vapor}} = \frac{4.186,89\text{g}}{0,996\text{g/ml}} = 4.203,50\text{ml}$$

$$V_{\text{vapor}} = 6.000 \text{ ml} - 4.203,50\text{ml} = 1.796,5\text{ml}$$

$$m_{\text{vapor}} = V_{\text{vapor}} * \rho_{\text{agua}} = 1.796,5\text{ml} * 0,996 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 1.789,31\text{g}$$

$$m_{\text{vapor}} = 1.789,31\text{g} = 1,79\text{kg}$$

El flujo de vapor inyectado al tanque de extracción es el siguiente

$$F_{\text{vapor inyectado}} = \frac{m_{\text{vapor}}}{t}$$

$$F_{\text{vapor inyectado}} = \frac{1,79\text{kg}}{60\text{min}} = 0,028\text{kg/min}$$

4.8 BALANCE DE ENERGÍA EN LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEBOLLA.

En la extracción de aceite esencial de cebolla existen tres etapas: la de calentamiento, generación de vapor y la de condensación a las que se realiza un balance de energía.

Balance de energía en el equipo de destilación.

Etapas de precalentamiento.

En esta etapa existe solamente calor sensible, por lo que no hay un cambio de fase

$$Q_{\text{sensible}} = m_{\text{agua cargada en el tanque de generador de vapor}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{vapor}} - T_{\text{inicial}})$$

$$Q_{\text{sensible}} = 5,976\text{kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (94^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{sensible}} = 436,248\text{kcal}$$

Como se llega a una temperatura de 110°C

De tabla se saca que el calor latente a 110°C = 532,1 kcal/kg

m vapor de agua = 1,79 kg

$$Q_{\text{latente}} = m * \lambda$$

$$Q_{\text{latente}} = 1,79 \text{ kg} * 532,1 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_{\text{latente}} = 952,459 \text{ kcal}$$

Entonces el calor total en la etapa de precalentamiento será:

$$Q_{\text{precalentamiento}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{precalentamiento}} = 436,248 \text{ kcal} + 952,459 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{precalentamiento}} = 1388,707 \text{ kcal}$$

Etapas para la generación de vapor.

Se realiza el cálculo para la potencia térmica del calentador a gas natural.

$$W_{\text{térmica}} = \frac{Q_{\text{precalentamiento}}}{t_{\text{acondicionamiento}}}$$

$$W_{\text{térmica}} = \frac{1.388,707 \text{ kcal}}{23 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}$$

$$W_{\text{térmica}} = 3.622,714 \text{ kcal/h}$$

Calor latente para la generación de vapor.

$$Q_{\text{latente}} = W_{\text{térmica}} * \text{tiempo}_{\text{extracción}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 3.622,714 \text{ kcal/h} * 1 \text{ h}$$

$$Q_{\text{latente}} = 3.622,714 \text{ kcal/h}$$

Calor total requerido en la destilación para la extracción.

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{total}} = 1.388,707 \text{ kcal} + 3.622,714 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{total}} = 5.011,420 \text{ kcal}$$

Calor latente de vaporización del agua a 110°C.

$$\lambda_{\text{vaporización}} = \frac{Q_{\text{latente}}}{m_{\text{vapor}}}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = \frac{3.622,714 \text{ kcal}}{1,79 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = 2.023,86 \text{ kcal/kg}$$

Balance de energía en el condensador.**Volumen de agua refrigerante.**

$$V_{\text{agua refrigerante}} = \varphi_{\text{agua refrigerante}} * t_{\text{extracción}}$$

$$V_{\text{agua refrigerante}} = 112,5 \frac{\text{ml}}{\text{s}} * 60 \text{ min} * \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 405.000 \text{ ml}$$

Masa de agua refrigerante.

$$m_{\text{agua refrigerante}} = V_{\text{agua refrigerante}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$m_{\text{agua refrigerante}} = 405.000 \text{ ml} * 0,996 \text{ g/ml}$$

$$m_{\text{agua refrigerante}} = 403.3380 \text{ ml} = 403,38 \text{ kg}$$

Calor cedido.

Es el calor que cede la mezcla de vapores de agua y aceite esencial al agua de refrigeración en la etapa de condensación, esto es, la suma del calor latente y sensible.

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{latente}} + Q_{\text{sensible}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vaporización}} + m_{\text{vapor}} * C_{p_{\text{agua}}} * (T_{\text{condensado}} - T_{\text{vapor}})$$

$$Q_{\text{cedido}} = 1,79\text{kg} * 783,83\text{kcal/kg} + 1,79\text{kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (25 - 110) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{cedido}} = 1.250,90\text{kcal}$$

Calor ganado.

El calor ganado por el agua de refrigeración, es el calor sensible debido a que no existe un cambio de fase, solo de temperatura.

$$Q_{\text{ganado}} = m_{\text{agua refrigerante}} * C_{p\text{agua}} * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = 403,38\text{kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} * (23 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ganado}} = 1.210,14\text{kcal}$$

% de transferencia de calor:

$$\% \text{ de transferencia de calor} = \frac{Q_{\text{ganado}}}{Q_{\text{cedido}}} * 100$$

$$\% \text{ de transferencia de calor} = \frac{1,210,14\text{kcal}}{1.250,90\text{kcal}} * 100$$

$$\% \text{ de transferencia de calor} = 96,74\%$$

Pérdida de calor en el tanque de extracción.

Diámetro del tanque = 0,35m

Altura del tanque = 26,5cm

Área del tanque = $2 * \pi * \text{Radio} * (\text{Altura} + \text{Radio}) = 2 * \pi * 13,5\text{cm} * (26,5\text{cm} + 13,5\text{cm})$ Área del tanque = $3392\text{cm}^2 = 0,3392\text{m}^2$

X_a = Espesor del tanque = 1mm = $1 * 10^{-3}\text{m}$

X_b = Espesor de la fibra de vidrio = 1,5cm = 0,015m

k_a = conductividad térmica del tanque (acero inoxidable) = 16,3 W/m*°K

k_b = conductividad térmica de la lana de vidrio = 0,04 W/m*°K

T_a = temperatura del vapor = $110^\circ\text{C} = 383,15^\circ\text{K}$

T_b = temperatura del medio ambiente = $21^\circ\text{C} = 296,15^\circ\text{K}$

Aplicando la ley de Fourier se calcula pérdida de calor:

$$Q = \frac{T_a - T_b}{\frac{x_a}{k_a * A} + \frac{x_b}{k_b * A} + \frac{x_a}{k_a * A}}$$

$$Q = \frac{383,15^\circ\text{K} - 296,15^\circ\text{K}}{\frac{1 \times 10^{-3} \text{m}}{16,3 \text{ W/m}^\circ\text{K} * 0,3392 \text{m}^2} + \frac{0,015 \text{m}}{0,04 \text{ W/m}^\circ\text{K} * 0,3392 \text{m}^2} + \frac{1 \times 10^{-3} \text{m}}{16,3 \text{ W/m}^\circ\text{K} * 0,3392 \text{m}^2}}$$

$$Q = 78,668 \text{W/h} = 67,642 \text{kcal/h}$$

Volumen de combustible consumido.

Poder calorífico del gas natural = 9.300kcal/m^3 .

$$t_{\text{total}} = t_{\text{calentamiento}} + t_{\text{extracción}}$$

$$t_{\text{total}} = 23 \text{min} + 60 \text{min} = 83 \text{min} = 1,38 \text{h}$$

$$V_{\text{combustible}} = \frac{P_{\text{termica}} * t_{\text{total}}}{\text{poder calorifico}}$$

$$V_{\text{combustible}} = \frac{1.403,06 \text{kcal/h} * 1,38 \text{h}}{9.300 \text{kcal/m}^3} = 1.403,06 \text{kcal}$$

$$V_{\text{combustible}} = 0,21 \text{m}^3$$

Resultados del balance de energía.

Se presentan los resultados del balance de energía en la tabla IV-16:

Tabla IV - 16 Resultados del balance de energía.

RESULTADOS DEL BALANCE DE ENERGÍA		
DATOS	VALOR	UNIDAD
calor sensible	537,84	Kcal
calor latente	1.403,06	Kcal
calor total	1.940,90	Kcal
calor latente de vaporización del agua a 110°C	783,83	kcal/kg
calor cedido	1.250,90	Kcal
calor ganado	1.210,14	Kcal
%de transferencia de calor	96,74	%
pérdida de calor en la torre de destilación	67,642	kcal/h
potencia térmica	1.403,06	kcal/h
volumen de combustible consumido en la extracción del aceite esencial de cebolla	0,2	m3

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.9 Resumen matriz del balance de materia y energía

A continuación, se presenta un resumen del balance de materia y energía:

4.9.1 Balance de materia

Tabla IV - 17 Resumen balance de materia

Entrada	Proceso	Salida
M2=450g cebolla M1=5.976g agua	Destilación	M ₃ = 555,7g M ₅ = 4.186,89g M ₆ = 1.683,41g
M ₆ = 1.683,41g	Condensación	M ₇ = 1.683,41g
M ₇ = 1.683,41g	Decantación	M ₈ = 1.683,029g M ₉ = 0,381g

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.9.2 Balance de energía

Tabla IV - 18 Resumen de balance de energía.

Entrada	Proceso	Salida
M1=5976g agua $V_{\text{combustible consumido}} = 0,21\text{m}^3$	Calentamiento	$Q_{\text{sensible}} = 537,84\text{kcal}$ $P_{\text{termica}} = 1.403,06\text{kcal/h}$ $Q_{\text{latente}} = 1.403,06\text{kcal}$ $Q_{\text{total}} = 1.940,90\text{kcal}$ $\lambda_{\text{vaporización}} = 783,83\text{kcal/kg}$
$m_{\text{agua refrigerante}} = 288,64 \text{ kg}$	Condensador	$Q_{\text{cedido}} = 1.250,90\text{kcal}$ $Q_{\text{ganado}} = 1.210,14\text{kcal}$ % de transferencia de calor = 96,74% $Q_{\text{perdido en el tanque de extracción}} = 67,642\text{kcal/h}$

Fuente: Elaboración propia 2020.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- La cebolla tiene como parte de sus constituyentes químicos la aliina y alicina, que presentan acción biológica con propiedades antioxidantes para el caso de la aliina) y antimicrobiano con la alicina.
- La materia prima utilizada en el proceso es la cebolla morada (*Allium Cepa*), procedente del departamento de Tarija localidad El Puente de la provincia Méndez. Ingresado al proceso solo se utilizó los bulbos de cebolla grandes de 10cm de diametro aproximadamente.
- Se determinó que la humedad de la cebolla morada que se comercializa es de 88,015%.
- La cebolla morada deshidratada experimentalmente alcanza una humedad promedio en base seca de $7,66 \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg de Solido Seco}}$
- Las variables de operación para la extracción del aceite esencial de cebolla por el método de arrastre por vapor de agua son:

Tabla V - 1 Variables de operación

Temperatura del vapor (°C)	Masa de la cebolla deshidratada (g)	Tiempo de extracción (min)
110 - 120	350 - 450	30 – 60

Fuente: Elaboración propia 2020.

- De las pruebas realizadas con el diseño factorial, se tomó en cuenta los siguientes datos mostrados en la siguiente Tabla V-2.

Tabla V - 2 Variables seleccionadas para el proceso de extracción de aceite esencial de cebolla

Mayor volumen obtenido	0,35 ml
Masa	450 g
Tiempo de extracción	60 min
Temperatura	110 °C

Fuente: Elaboración propia 2020.

- El rendimiento obtenido en la extracción de aceite esencial de cebolla morada procedente del municipio El Puente es del 0.085%, en comparación en el rendimiento bibliográfico que es de 0.087%. (Vea tabla IV-9).
- Evaluando las propiedades físicas del aceite esencial de cebolla obtenido con datos bibliográficos, se establece que:
 - ❖ La densidad (1,09g/ml) está dentro del rango indicado por la bibliografía.(1,04-1,14)g/ml.
 - ❖ El índice de refracción de 1,35 es menor al valor inferior de Tabla IV-12, (1,53) en un 11.7%.
- Comparación Física del aceite esencial de cebolla respecto a bibliografía:

Tabla V - 3 Tabla comparativa de propiedades físicas con respecto a bibliografía

Aceite esencial de cebolla	En la extracción	Por bibliografía
Densidad g/ml	1,09	1,04 – 1,14
Índice de refracción	1,35	1,53 – 1,57

Fuente: Elaboración propia.

- El control de calidad realizado en el Centro de Investigación Química (CIQ-Cochabamba) en relación a la composición del aceite esencial de cebolla, indican que se tiene como componentes benéficos mayoritarios al:
 - ❖ Disulfuro de dipropil con un 51,99%, con efecto antiinflamatorio.
 - ❖ Alil propil trisulfuro con 21,6% inhibidor a nivel enzimático antiinflamatorio.
 - ❖ Metil propil trisulfuro con un 8,45% con efecto desintoxicante e incrementa el numero de los glóbulos blancos.

❖ Alil propil trisulfuro con un 2,49% con efecto antiinflamatorio.

Se mandó al CIQ Centro de Investigaciones Química del departamento de Cochabamba y los componentes mayoritarios en base a los resultados obtenidos y bibliográficos son:

Tabla V - 4 Componentes químicos mayoritarios en el aceite esencial de cebolla analizado por el CIQ

Ítem	Picos	Compuesto	Beneficios	% relativo
1	Pico 1	disulfuro de dipropil	- Este efecto antiinflamatorio ha sido confirmado en ensayos que apuntan a una mejora de la respuesta inmune porcina	51,99
2	Pico 2	metil propil trisulfuro	- Incrementa el número de glóbulos blancos sanguíneos y el título de anticuerpos - Desintoxicante	8,45
3	Pico 3	dipropil trisulfuro	- Hipocolesterolemiante, previene la arterosclerosis, antitumoral	26,75
4	Pico 4	alil propil trisulfuro	- Tratamiento de enfermedades relacionadas con la inflamación a través de diferentes mecanismos que incluyen la inhibición de enzimas y subexpresión de ciertos genes relacionados con la inflamación	2,49

Fuente: (Guillamón, Efecto de compuestos fitoquímicos del género Allium sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria, 19-Oct-2020) y (Betancur, 2010)

6 Recomendaciones

Se presentan a continuación las siguientes recomendaciones a tomar en cuenta a toda persona interesada en el tema:

- Se recomienda verificar que en la extracción del aceite esencial no hayan fugas de vapor ya que esto afectará de forma directa en el rendimiento del proceso.
- Trabajar con temperaturas menores a la del ambiente en el caso de la entrada de agua al condensador para que no existan pérdidas en dicha etapa.
- En la etapa de condensación se usa mucha agua, para poder darle solución es posible tener un tanque de agua adaptado a una bomba para que el agua recircule constantemente y no exista un uso excesivo de agua en el proceso de condensación.
- Realizar un estudio de costos y factibilidad para la implementación de una planta piloto de extracción de aceites esenciales.
- Realizar una comparación con extracción por solvente u otro método de extracción para poder comparar el rendimiento.
- Seguir investigando en temas parecidos al presente trabajo.