

Diseño y montaje de un equipo para la extracción de aceites esenciales, a escala piloto

*Édison Gil Pavas **

Resumen

El presente estudio describe un método simple y económico para la extracción de aceites esenciales bajo la filosofía “cero emisiones”. Se presenta el diseño y funcionamiento del equipo. Los resultados mostraron la posibilidad de obtener un rendimiento de aceite esencial de cardamomo del 5%, dato que concuerda con el reportado por la literatura.

----- *Palabras clave:* Destilación por arrastre con vapor, aceites esenciales, semillas de cardamomo.

Abstract

This study describes a simple and economic method for the extraction of essential oils under “zero emissions” philosophy. The design and operation of the equipment is presented. The results showed the possibility of get a 5% yield of the essential oil of cardamom seeds, which is in agreement with the bibliography.

----- *Key words:* vapor dragging destillation, essential oils, cardamomus seeds.

* Departamento de Ingeniería de Procesos, Universidad EAFIT, egil@sigma.eafit.edu.co.

1. Introducción

Los aceites esenciales son una mezcla de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas. Las esencias son mezclas más o menos complejas en cuya composición entra una porción de hidrocarburos de la serie polimetilénica del grupo de los terpenos que responden a la fórmula $(C_5H_8)_n$ (*monoterpenos*, $n = 2$; *sesquiterpenos*, $n = 3$; *diterpenos*, $n = 4$; etc.) junto con otros compuestos casi siempre oxigenados (alcoholes, éteres, ésteres, aldehídos y compuestos fenólicos), que son los que transmiten a los aceites esenciales el aroma que los caracteriza.

Se les llama *aceites* por su apariencia física y por su consistencia, que es bastante parecida a los aceites grasos, pero se distinguen de ellos, porque al dejar caer unas gotas de esencia sobre el papel, éstas se volatilizan fácilmente sin dejar ninguna huella ni mancha grasosa.

Los aceites esenciales se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, especialmente en las fanerógamas, en las cuales se hallan repartidas en unas sesenta familias (*Compuestas*, *Labiadas*, *Laureáceas*, *Mirtáceas*, *Rosáceas*, *Rutáceas*, *Umbelíferas*, etc.). Se pueden encontrar localizados en diferentes partes de la planta, por ejemplo: en las hojas (*albahaca*, *mejorana*, *menta*, *romero*, *salvia*, etc.), en las raíces (*cálamo*, *valeriana*, *vetiver*, etc.), en la corteza (*canela*, *cedro*, *sándalo*, etc.), en las flores (*jazmín*, *rosa*, *ylang-ylang*, etc.), en la cáscara del fruto (*limón*, *mandarina*, *naranja*, etc.), en los frutos (*anís*, *cardamomo*, *eneldo*, *hinojo*, etc.).

En algunas ocasiones las diferentes partes de la misma planta suministran esencias distintas en su composición, como, por ejemplo, los aceites extraídos de la raíz, el tallo y las hojas del hinojo. La canela de Ceilán encierra en la corteza una esencia rica en el aldehído cinámico, mientras que en sus hojas y en las raíces predominan el eugenol y el alcanfor, respectivamente. La cantidad y composición del aceite varía de una especie a otra, y dentro de los mismos géneros de la planta [1].

El desarrollo del proyecto permitió profundizar en áreas de estudio como son la química orgánica, termodinámica, procesos químicos, optimización de procesos productivos, diseño y construcción de equipos, y desarrollar alternativas de uso y destino para los desechos. También estimuló la investigación por parte de los estudiantes de pregrado en el proyecto, en los cuales se aplica la filosofía cero emisiones.

De acuerdo con el diseño, al desarrollar este proceso de extracción de aceites esenciales de plantas nativas se plantea la posible diversificación de cultivos e incremento de la mano de obra en el campo. Además puede ofrecer un modelo de desarrollo autosostenible al aprovechar en su totalidad todos los desechos generados [4, 5]. Se demuestra que la extracción de aceites esenciales, además de ser un proceso con tecnologías limpias, brinda la posibilidad de utilizar el 100% de los desechos generados en el proceso lo cual contribuye a la conservación del medio ambiente.

2. Análisis del mercado

2.1. Mercado americano

Según las importaciones registradas en el período del año 1991 a 1995 se observa aumento en el consumo de aceites esenciales en América, esto como consecuencia del cambio de patrones en el consumo debido al uso de los productos naturales. En cuanto a los precios por kilogramo, se observan fluctuaciones drásticas de un período a otro debido a la dependencia en las cosechas de las plantas como materia prima y el aumento en el precio del petróleo, ya que gran parte de sus productores son pequeños agricultores de países en desarrollo, los cuales pretenden mantener mediante el aumento de precios el valor real de sus productos frente a la inflación en general.

Todas estas complicaciones han generado que los productores de mezclas obliguen a sus técnicos a disminuir la utilización de aceites esenciales, sustituyéndolos por productos de origen sintético y con un valor menor [6, 7].

2.2. Mercado colombiano

En las tablas 1 a 14 se muestran algunas de las importaciones y exportaciones colombianas des-

de 1992 a 1995, por tipo de aceite, país de origen, valor (en miles de dólares) y cantidad (en kilogramos).

Tabla 1 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

<i>Aceite esencial de bergamota</i>					
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	297	778	695	776
	Valor	7	20	26	22
Australia	Cantidad	73	13	50	14
	Valor	2	1	2	1
España	Cantidad	6.875	1.090	1.912	
	Valor	15	2	3	
Francia	Cantidad	20	70	27	
	Valor	0	3	1	
	Valor	13	36		
Panama	Cantidad	3			
	Valor	0			
Checoslovaquia	Cantidad	7	1	7	
	Valor	1	1	0	
Totales	Cantidad	7.268	868	2.382	3.553
	Valor	24	25	44	63

En cuanto a las exportaciones se ven comportamientos discontinuos, lo que significa que en un año se hicieron importaciones y al siguiente no. Otra característica que se observa es que independientemente de la discontinuidad de las importaciones, la cantidad importada es constante.

Las importaciones representan un comportamiento continuo y estable y se presentan pequeñas variaciones entre algunos períodos pero con una tendencia general al aumento.

Analizando las cifras anteriores se ve la viabilidad de producción de aceites esenciales en Colombia en primera instancia para la satisfacción del mercado local y posteriormente, por qué no,

para la satisfacción del mercado internacional, y de esta manera se aprovecha al máximo nuestra diversidad [8, 9, 10].

3. Extracción de aceites esenciales

Para la extracción de aceites esenciales se emplean diferentes técnicas de extracción, cuya descripción comparativa se observa en la tabla 15.

Tabla 2 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de naranja</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	32	1.590	12.646	8.509
	Valor	1	6	7	7
Australia	Cantidad				2
	Valor				0
Brasil	Cantidad	39.077	52.741	61.507	28.821
	Valor	68	87	104	125
Korea	Cantidad				1.614
	Valor				1
España	Cantidad	2		10.015	283
USA	Cantidad	5.133	11.443	39.527	42.757
	Valor	31	42	73	172
Francia	Cantidad	598	930	605	396
	Valor	3	6	10	4
Italia	Cantidad				4
	Valor				1
Japón	Cantidad			5.800	
	Valor			3	
México	Cantidad				11
	Valor				0
Holanda	Cantidad				15
	Valor				0
Checoslovaquia	Cantidad	2.909	9.435	3.156	4.536
	Valor	71	110	133	172
Venezuela	Cantidad	161			
	Valor	0			
Totales	Cantidad	47.912	76.139	133.321	88.689
	Valor	174	251	362	498

Tabla 3 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de limón</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	598	1.110	5.985	1.896
	Valor	10	21	16	30
Argentina	Cantidad	30	370	541	588
	Valor	10	113	164	169
Australia	Cantidad				7
	Valor				0
Brasil	Cantidad				31
	Valor				1
España	Cantidad	259	2.465	582	1.698
	Valor	8	19	14	34
USA	Cantidad	1.687	3.744	19.930	22.402
	Valor	64	65	133	198
Francia	Cantidad	4.500	1.085	1.390	52
	Valor	83	7	7	1
Irlanda	Cantidad			147	77
	Valor			12	7
Italia	Cantidad				23
	Valor				3
Holanda	Cantidad				1
	Valor				0
Peru	Cantidad		19	1.200	
	Valor		1	1	172
Checoslovaquia	Cantidad	612	2.106	1.225	2.567
	Valor	97	321	188	483
Totales	Cantidad	7.686	10.999	31.828	30.497
	Valor	272	566	548	939

Tabla 4 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de los demás aceites esenciales de agríos</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	9	74	105	253
	Valor	0	2	3	7
Argentina	Cantidad			13.700	4.680
	Valor			186	61
Brasil	Cantidad	40.120	3.775	55.815	24.621
	Valor	53	3	84	42
España	Cantidad	627	361	1.302	2.778
	Valor	28	17	15	46
Usa	Cantidad	1.712	45.014	2.019	7.592
	Valor	36	152	45	157
Francia	Cantidad	80	2.493	4.190	3.071
	Valor	0	15	39	45
Grecia	Cantidad		156		
	Valor		4		
Italia	Cantidad			57	
	Valor			3	
Mexico	Cantidad				23
	Valor				1
Rusia	Cantidad		1.297	93	257
	Valor		3	2	10
Holanda	Cantidad				73
	Valor				2
Gran Bretaña	Cantidad	1.060	52	330	154
	Valor	23	4	25	8
Checoslovaquia	Cantidad	224	153	1.754	1.637
	Valor	7	8	70	121
Totales	Cantidad	43.832	53.375	79.365	45.139
	Valor	147	208	472	500
	Valor	1	2	16	15

Tabla 5 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de lavanda</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	5	378	283	256
	Valor	0	11	9	6
Australia	Cantidad				1
	Valor				0
España	Cantidad	61	31	32	58
	Valor	1	1	1	3
Usa	Cantidad	253	8.775	4.322	5.120
	Valor	0	29	22	7
Francia	Cantidad	520	1.873	1.640	2.419
	Valor	8	31	28	35
Rusia	Cantidad			81	30
	Valor			2	4
Checoslovaquia	Cantidad	2.170	2.000	3.840	1.456
	Valor	42	55	90	30
<i>Totales</i>	Cantidad	3.009	13.057	10.198	9.340
	Valor	21	127	152	85

Tabla 6 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

<i>Aceite esencial de menta piperita</i>					
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	304	438	4.736	167
	Valor	4	5	8	2
Chile	Cantidad				220
	Valor				0
China	Cantidad			5.950	
	Valor		39		
España	Cantidad	123	60		79
	Valor	3	1		1
Usa	Cantidad	4.225	3.464	7.618	7.431
	Valor	76	63	138	153
Francia	Cantidad	5.988	9.997	4.334	14.831
	Valor	135	232	108	355
Irlanda	Cantidad	25	12	51	48
	Valor	2	1	2	3
Mexico	Cantidad			410	
	Valor			9	
Rusia	Cantidad			166	193
	Valor			2	3
Gran Bretaña	Cantidad		1.100		656
	Valor		11		6
Checoslovaquia	Cantidad	5			2.448
	Valor	0			37
Totales	Cantidad	10.670	23.171	17.315	26.073
	Valor	220	378	267	560

Tabla 7 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de las demás mentas</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	2.733	3.736	370	29
	Valor	20	43	14	1
Australia	Cantidad				5
	Valor				0
Brasil	Cantidad				750
	Valor				26
España	Cantidad		10	15	29
	Valor		1	1	1
Usa	Cantidad	12.187	10.086	45.747	24.150
	Valor	632	505	984	1.063
Francia	Cantidad	1.800	310	1.300	342
	Valor	18	4	7	5
Mexico	Cantidad	45		900	
	Valor	3		18	
Otros	Cantidad	301	352	1.169	1.375
	Valor	4	5	26	21
<i>Totales</i>	Cantidad	17.066	14.494	49.501	26.680
	Valor	677	558	1.050	1.145

Tabla 8 Importaciones en Colombia de aceites esenciales

<i>Aceite esencial excepto los agrios</i>					
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Alemania	Cantidad	7.597	6.510	4.853	4.028
	Valor	126	173	154	151
Australia	Cantidad				44
	Valor				1
Brasil	Cantidad		4.241	3.910	16.226
	Valor		20	21	120
Canada	Cantidad			181	
	Valor			14	
Chile	Cantidad		200	28	
	Valor		3	1	
China	Cantidad			50	33.807
	Valor			3	311
	Valor		5		
Ecuador	Cantidad		1.000		224
	Valor		5		19
España	Cantidad	6.967	3.385	4.688	4.836
	Valor	134	180	250	233
Francia	Cantidad	9.569	7.873	13.968	10.969
	Valor	277	146	220	177
Dinamarca	Cantidad			726	200
	Valor			10	2
Italia	Cantidad	2.510	25	1.925	1.209
	Valor	16	7	16	17
Japon	Cantidad			4.500	98.713
	Valor			2	
Mexico	Cantidad	410	14.648	727	350
	Valor	3	92	38	13
Rusia	Cantidad			2.101	3.069
	Valor			96	112
Peru	Cantidad		487		
	Valor		10		
Gran Bretaña	Cantidad	16.025	10.030	9.741	7.750
	Valor	91	71	74	107
Checoslovaquia	Cantidad	6.073	12.940	26.104	41.187
	Valor	108	208	360	409
Venezuela	Cantidad			1.080	
	Valor			5	
Totales	Cantidad	256.912	448.340	128.567	321.424
	Valor	1.134	1.328	1.786	2.081

Tabla 9 Exportaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de bergamota</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Panama	Cantidad		1.234		538
	Valor		5		1
Peru	Cantidad				216
	Valor				1
<i>Totales</i>	Cantidad	0	1.234	0	810
	Valor	0	5	0	2

Tabla 10 Exportaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de limón</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
España	Cantidad	126			
	Valor	4			
Peru	Cantidad			180	
	Valor			4	
Venezuela	Cantidad				368
	Valor				4
<i>Total</i>	Cantidad	126	0	180	368
	Valor	4	0	4	4

Tabla 11 Exportaciones en Colombia de aceites esenciales

		<i>Aceite esencial de los demás aceites esenciales de agrios</i>			
<i>País</i>		<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>
Panama	Cantidad			237	
	Valor			4	
<i>Total</i>	Cantidad			237	
	Valor			4	

Tabla 12 Exportaciones en Colombia de aceites esenciales

		Aceite esencial de menta piperita			
País		1992	1993	1994	1995
Venezuela	Cantidad		624		20
	Valor		27		1
Total	Cantidad		624	0	20
	Valor		27	0	1

Tabla 13 Exportaciones en Colombia de aceites esenciales

		Aceite esencial de las demás mentas			
País		1992	1993	1994	1995
Argentina	Cantidad				25
	Valor				1
Ecuador	Cantidad	12	250		
	Valor	1	4		
Total	Cantidad	12	250	0	25
	Valor	1	4	0	1

Tabla 14 Exportaciones en Colombia de aceites esenciales

		Aceite esencial excepto los agrios			
País		1992	1993	1994	1995
Alemania	Cantidad		5.510		
	Valor		33		
Ecuador	Cantidad	6	29	50	280
	Valor		1	3	3
Usa	Cantidad		312		
	Valor		4		
Peru	Cantidad			20	
	Valor			2	
Venezuela	Cantidad		200		876
	Valor		2		9
Total	Cantidad	6	6.051	70	1.156
	Valor	0	40	5	12

Tabla 15 Análisis comparativo de los principales métodos de extracción de aceites esenciales

Método de extracción	Ventajas	Limitaciones
Destilación con vapor	Método industrial y de laboratorio. Buenos rendimientos en aceite extraído. Obtención del aceite puro, libre de solvente. Bajo costo; tecnología no sofisticada.	Procesos colaterales como polimerización y resinificación de los terpenos; hidrólisis de ésteres; destrucción térmica de algunos componentes; no es aplicable a flores.
Extracción con solventes volátiles (éter de petróleo, pentano, hexano, etc.)	Uso de temperaturas bajas. No provoca termodestrucción ni alteración química de los componentes del aceite. Posibilidad de separación de componentes individuales.	Costoso, contaminante del ambiente, riesgo de incendio y explosión. Difícil separar completamente el solvente sin alterar la composición el aceite. Coextracción de ácidos grasos, ceras, pigmentos.
Extracción con CO₂ supercrítico	Alto rendimiento. Ecológicamente limpio. Fácil retiro y reciclaje del solvente. Bajas temperaturas de extracción. No hay alteración química del aceite. Cambiando parámetros operacionales se puede variar la composición del aceite.	Ácidos grasos, pigmentos y ceras también pueden ser extraídos junto con el aceite esencial. <i>Alta inversión inicial</i>
Maceración con solventes no volátiles y enfleurage	Uso de bajas temperaturas. Ausencia de destrucción térmica y deterioro químico de los componentes del aceite. Extracción de esencias de flores delicadas (rosa, jazmín, azahar, etc.)	Operación costosa, demorada. Poco rendimiento del aceite. Difícil separación del solvente (aceites vegetales)

Métodos directos

- Compresión de cáscara
- Raspado de cáscara
- Lesiones mecánicas de la corteza

Métodos indirectos

Destilación

- Destilación con agua (*hidrodestilación*)
- Destilación con agua y vapor
- Destilación con vapor seco
- Destilación-extracción con solvente simultánea

Extracción (maceración)

- Con solventes volátiles
- Con solventes no volátiles (aceites vegetales)
- Con fluidos supercríticos

Enfleurage

- Adsorción sólido-líquido y/o sólido-gas.

Los métodos directos se aplican principalmente a los cítricos. La técnica de enfleurage se utiliza para extracción de sustancias volátiles de flores delicadas (jazmín, rosa), que a veces siguen metabolizando el aceite varios días después de su recolección [11].

Por su sencillez, bajo costo y altos rendimientos, el arrastre con vapor es la técnica más usada en la industria de aceites esenciales. Varias farmacopeas la recomiendan como el método óptimo de obtención de esencias. Durante la extracción por arrastre con vapor pueden ocurrir procesos colaterales, tales como polimerización y resinificación de los terpenos, hidrólisis de ésteres y formación de algunas sustancias “extrañas” debido al empleo de temperaturas elevadas.

La técnica de extracción con solventes (éter de petróleo, pentano, éter etílico, etc.) permite evitar estos inconvenientes, al trabajar a temperaturas bajas sin alterar la composición “original” del aceite. Sin embargo, esta técnica es costosa, contaminante, presenta dificultades en aislamiento completo del solvente y además algunas sustancias como ácidos grasos, ceras, pigmentos y otros pueden ser coextraídos con el aceite. Frecuentemente la maceración con solventes orgánicos se usa particularmente para la obtención de los componentes individuales, y más a menudo, como etapa previa a la de arrastre con vapor.

El creciente interés por las extracciones utilizando fluidos supercríticos se debe a diversas ventajas tanto económicas, como operacionales que esta técnica presenta sobre los métodos de extracción convencionales.

El método de extracción con fluidos supercríticos presenta múltiples ventajas (alto rendimiento, ecológicamente limpio, fácil retiro y reciclaje del solvente, bajas temperaturas de extracción, sin alteración química del aceite).

El método se basa en que los aceites esenciales son completamente miscibles con el CO₂ líquido y su solubilidad es variable dentro de la región supercrítica. La extracción con fluidos supercríticos presenta muchas opciones para lograr y controlar la selectividad deseada, la cual es bastante sensible a variaciones en la presión, la temperatura y el tipo de solvente (CO₂, propano). El extracto queda prácticamente libre de solvente y se puede recuperar con pérdidas mínimas por el calentamiento isobárico o descomposición isotérmica. La extracción de aceites con fluidos supercríticos ha cobrado especial interés durante la última década. Entre las “limitaciones” de esta técnica figura el alto costo en la inversión inicial [11].

Un equipo de extracción para este método consta básicamente de un sistema de compresión, una cámara de extracción en donde se pone en contacto a una temperatura controlada el material vegetal y el gas comprimido, una cámara de expansión donde el gas se separa para volver a la etapa inicial, dejando un extracto libre de solvente. Esta última característica cobra más importancia a medida que se hacen más exigentes las normas internacionales con respecto a la presencia de trazas de solventes orgánicos en artículos para el consumo humano. Por su disponibilidad y bajo costo, el CO₂ es el gas más empleado para este tipo de extracciones, las cuales encuentran creciente aplicación en el ámbito industrial, como lo atestigua el gran número de patentes otorgadas.

Como se mencionó anteriormente, la gran versatilidad de esta técnica surge de la solubilidad de una sustancia orgánica en un solvente, y está relacionada con la densidad de este último, que en el caso de los fluidos supercríticos puede variarse continuamente sobre un amplio rango de temperaturas y presiones. Otras ventajas so-

bre las técnicas de extracción convencionales son el bajo riesgo de incendio y la baja contaminación ambiental.

Dentro de las desventajas figuran el alto costo de la inversión inicial y la extracción preferencial de sustancias oxigenadas. Tal como en las otras técnicas de extracción es preciso optimizar las variables operacionales con el fin de lograr mejores resultados, pero el número de variables es mayor (temperatura, presión, tiempo de contacto), así como el intervalo de valores. Para el caso del CO₂ las temperaturas y presiones de interés están por encima de 32 °C y 82 atms, respectivamente [12].

En general, para describir más completamente la composición de los metabolitos secundarios volátiles y semivolátiles de plantas, es menester combinar varias técnicas de aislamiento. Así, los métodos de arrastre con vapor y destilación-extracción simultánea con solventes recuperan con mayor eficiencia monoterpenos y sus derivados oxigenados. La extracción con solventes, asistida por la radiación de microondas y la extracción con fluidos supercríticos “enfocan” el aislamiento de metabolitos secundarios hacia productos más pesados: sesquiterpenoides, hidrocarburos mayores de C₂₀ y diterpenos, como se observa en la Salvia negra (*Lepechinia schiedeana*).

4. Diseño del equipo de extracción de aceites esenciales a escala piloto

4.1. Diseño y montaje

Los aceites esenciales se pueden obtener básicamente por cuatro métodos, a saber:

- a. Destilación con vapor o arrastre con vapor.
- b. Extracción con solventes.
- c. Extracción con fluidos supercríticos.
- d. Extracción en forma mecánica.

El método elegido en este trabajo fue el de arrastre con vapor, debido a que es una práctica simple, económica y versátil. Para tal decisión nos apoyamos en ensayos preliminares realizados a escala de laboratorio y de trabajos relacionados encontrados en la literatura [12].

Para el diseño se simuló cada una de las variables termodinámicas del proceso, como son: temperatura, presión, composición, flujos y tiempo de extracción. Las variables que se tuvieron en cuenta para el diseño final fueron la presión del vapor en un intervalo de 10-15 psi, el tiempo de extracción en un intervalo de 45 a 120 minutos y el flujo de agua de refrigeración de 0,3 a 0,8 m³/hr y como variable de respuesta la concentración del aceite esencial. Para encontrar el valor adecuado de las variables y proceder al diseño del equipo se realizó un diseño de experimentos tipo Box-Wilson. En la figura 1 se muestra el equipo, el cual consiste en una cámara, parte superior del esquema, donde se deposita el material vegetal, la cámara está recubierta por un material aislante para evitar pérdidas térmicas y por razones de seguridad. Por la tubería de la parte inferior de la cámara entra el vapor saturado y por la parte superior sale el aceite esencial en su estado de vapor, el cual ingresa a un intercambiador de calor de tubos y coraza, donde es refrigerado con agua y pasa del estado de vapor al estado líquido. El aceite esencial líquido es recogido en un recipiente y posteriormente sometido a un proceso de separación, el cual se efectúa en un embudo de separación o vaso florentino, luego el aceite es filtrado, con el fin de eliminar las partículas en suspensión y secado, empleando algún agente secante para eliminar la humedad que aún prevalece en el aceite. Finalmente se envasa el aceite. Es muy importante tener las siguientes precauciones antes de almacenar el aceite esencial:

- a. El aceite debe ser clarificado y completamente seco.
- b. El aceite debe ser almacenado en recipientes de vidrio protegidos de la luz y del aire [13].

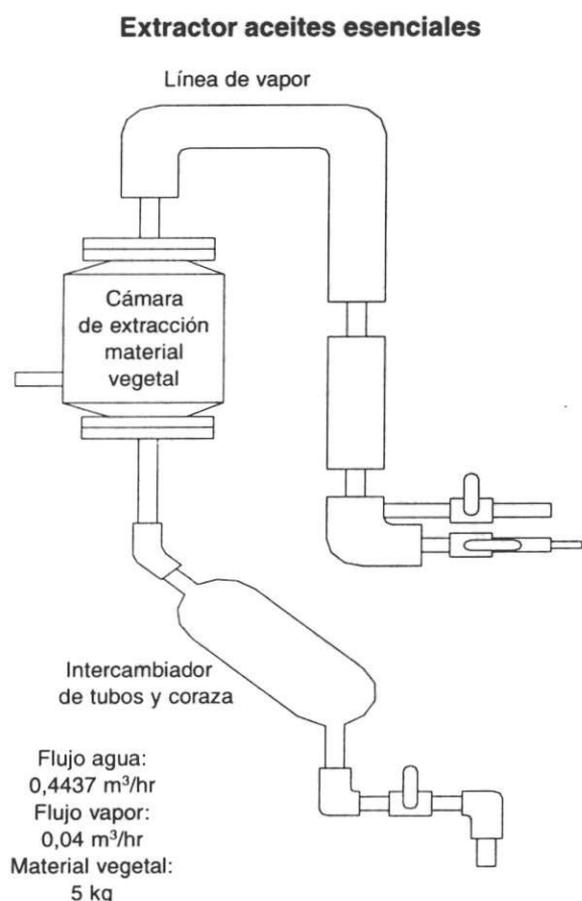


Figura 1 Equipo de extracción de aceites esenciales

4.2. Condiciones de operación

- Presión: 12 psi
- Temperatura: 114,89 °C
- Tiempo de extracción: 1 hora
- Flujo de agua de refrigeración: 0,4437 m³/hr
- Flujo de vapor: 0,040 m³/hr
- Flujo de ACPM: 0,02271 m³/hr
- Cantidad de semillas de cardamomo: 5 kg
- Material de construcción: acero inoxidable 304.

El suministro de vapor es realizado con una caldera tipo pirotubular de 20 BHP de potencia, con una capacidad de 314 kg de vapor/hr.

4.3 Características del extractor de aceites esenciales

a. Cámara de extracción

Altura: 74 cm
 Diámetro: 10 cm
 Espesor: 1/8 de pulgada
 Aislamiento: en lana de vidrio, 1,5 cm de espesor
 Material: acero inoxidable 304

b. Intercambiador de tubos y coraza

Sistema 1-1, es decir un paso del fluido por los tubos y un paso por la coraza
 Diámetro de la coraza: 25 cm
 Espesor coraza: 1/8 de pulgada
 Número de tubos: 20
 Longitud de los tubos: 78 cm
 Diámetro de los tubos: 0,9 cm
 Número de baffles o tabiques: 5
 Material: acero inoxidable 304
 Tubería: en acero inoxidable, 1/2 pulgada NPT, aislamiento en lana de vidrio

5. Procedimiento experimental

De acuerdo con el diseño del equipo para la obtención de aceites esenciales, los ensayos preliminares realizados en el mismo y considerando factores de degradación térmica, se seleccionaron las condiciones de operación, temperatura, presión, flujos y tiempo de duración del proceso de extracción [6, 7].

El material empleado para la extracción del aceite fueron semillas de cardamomo, las que previamente se molieron, con el fin de incrementar el área superficial del material y por ende la transferencia de masa, posteriormente este material se deposita en talegas de tela porosa, las cuales se colocan en la cámara de extracción. La cámara se sella por la parte superior y se procede a realizar la extracción.

6. Resultados

Al aceite obtenido se le evaluaron las propiedades fisicoquímicas y su composición se determinó por cromatografía. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Rendimiento de la extracción: 5 %
- Gravedad específica: 0,9251
- Rotación óptica: + 61,85°
- Índice de refracción: 1,4632
- Punto de ebullición: 36 °C
- Número de acidez: 0,58905
- Color: amarillo claro
- Insoluble en agua
- Soluble en etanol.

El análisis cromatográfico fue realizado en un cromatógrafo tipo GC-MS Perkin Elmer Autosystem-Qmass 910, con las siguientes condiciones de operación:

- Gas de arrastre: helio
- Flujo de helio: 45,5 ml/min
- Tipo de inyección: Split
- Rampa de calentamiento.
- Temperatura inicial: 50 °C (permanece ahí durante 5 minutos)
- Se calienta a 10 °C/min. hasta 150 °C
- En 150 °C permanece 0 minutos
- Se calienta a 15 °C/min. hasta 220 °C
- En 220 °C permanece durante 5 minutos y finaliza la corrida.
- Temperatura del inyector: 220 °C
- Temperatura del detector: 220 °C
- Presión: 16 psi
- Columna capilar carbowax.

Los resultados se muestran en la tabla 16.

Tabla 16 Composición del aceite esencial de cardamomo obtenido

<i>Componente</i>	<i>Composición % Peso</i>
α-Pineno	2,234*10 ⁻³
β- Felandreno	0,0144
β- Pineno	2,49*10 ⁻³
Eucaliptol	0,2492
3-Careno	0,08
α- Terpenil acetato	0,6409
2,6 Octadienal, 3,7 dimetil	8,8*10 ⁻³
1 Benzociclohepteno	2,1*10 ⁻³

7. Conclusiones

- Para Colombia, país agroindustrial la implementación de este sistema de extracción de aceite esencial de cardamomo a escala de pequeños y medianos agricultores se constituye en una buena alternativa para obtener un producto con mayor valor agregado, siempre y cuando se haga un exhaustivo análisis de mercado de este aceite en particular.
- El método empleado para la extracción del aceite es factible técnica y económicamente.
- A pesar de la extensa revisión bibliográfica, no se encontró el movimiento del aceite esencial de cardamomo en exportaciones e importaciones en el ámbito colombiano ni mundial, lo que nos impide asegurar categóricamente el éxito de una empresa dedicada a la obtención de aceite esencial de cardamomo.
- Se sugiere para la obtención de aceites esenciales de cítricos y plantas como el eucalipto y el limoncillo implementar otras técnicas de extracción como hidrodestilación, por ejemplo, ya que el arrastre con vapor directo que se utilizó presentó con estas especies muy bajo rendimiento y en el caso de los cítricos presentó además contaminación, posiblemente pectinas arrastradas.

8. Cero emisiones

- Se sugiere mezclar el agua condensada (luego de separar el aceite), con detergentes para el lavado de pisos y baños [8].
- En la utilización de la torta de cardamomo se sugiere el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, añadiéndole 0,6% de urea para incrementar el nitrógeno en el sustrato a un 1% aproximadamente, y para el cultivo de champiñones se debe incrementar el nitrógeno hasta un 2% [9].
- Este proyecto debe continuarse, utilizando sistemas de extracción que se puedan adaptar e implementar fácilmente al equipo como una marmita para realizar hidrodestilaciones.

9. Referencias

1. Zuluaga, Olga y Velázquez Eliana. *Diseño de un proceso industrial para la obtención de aceites esenciales de dos especies nativas colombianas*. Tesis de grado. Universidad Eafit, 1997.
2. Instituto de Comercio Exterior, Incomex. *Banco de Datos de Comercio Exterior-BACEX*. 6 de Junio de 1997.
3. Cruz C., Gabriel. El cultivo del cardamomo: una alternativa de producción y diversificación para Caldas. En: *Revista Agronomía*. Manizales. Vol. 1, No. 2. pp. 34-36. 1987.
4. National Trade Data Bank 1996. Importaciones y exportaciones de aceite de cardamomo. Cámara de Comercio Colombo Americana.
5. Pauli, Gunter. *Avances*, Editorial Universidad Eafit, Medellín. Colombia. 1996.
6. Aceites Esenciales y Oleoresinas, estudio de distintos productores y de mercados importantes. Centro de Comercio Internacional UNCTAC/GATT. Ginebra. 1986.
7. Cabra Rojas Elizabeth. "Los aceites esenciales. Panorama Internacional y del mercado Colombiano". *Revista Tecnología*. No. 175. 1995. pp. 5-23.
8. WWW.incomex.gov.co.
9. WWW.INTAL.gov.co.
10. WWW.elsalvadortrade.com.
11. Stashenko Elena E. *Aceites esenciales: Técnicas de extracción y análisis*. Universidad Industrial de Santander, 1998.
12. Meyer-warnod B. y colaboradores. "Natural essential oil." *Technical and Comercial Developments in Parfumery Materials*, April-May, 1984.