



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

## **Instituto Tecnológico Superior De Tierra Blanca**

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS  
Y BIOTECNOLOGÍA**

**TESIS**

**Diseño e implementación de un equipo de microondas para la  
obtención de extractos naturales**

**PRESENTA:**

**IBT Mario Alberto Colmenero Antonio**

**Comité de tesis:**

**Directora de tesis: Dra. Karina Bustos Ramírez**

**Asesoras: Dra. Elizabeth del Carmen Varela Santos**

**Dra. Karen Aylin Vargas García**

---

## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Tierra Blanca Veracruz el día 20 del mes de julio del año 2021 el (la) que suscribe Mario Alberto Colmenero Antonio del programa de Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología del TecNM/Superior de Tierra Blanca, manifiesta que es el autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dra. Karina Bustos Ramírez y cede los derechos del trabajo titulado “Diseño e implementación de un equipo de microondas para la obtención de extractos naturales” al Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo.



**MARIO ALBERTO COLMENERO ANTONIO**  
Nombre Completo

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD DE LA TESIS

C Mario Alberto Colmenero Antonio estudiante en el programa de Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología del Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, como autor(a) de la tesis presentada y registrada para la obtención del título de Maestro en Ciencias con el título: “Diseño e implementación de un equipo de microondas para la obtención de extractos naturales”

Dirigida por: Dra. Karina Bustos Ramírez

### **Declaro que:**

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con lo establecido por el artículo 168 de la ley federal de derechos de autor.

Del mismo modo, asumo frente al TecNM/Superior de Tierra Blanca cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis.

Tierra Blanca, Veracruz, a 20 de julio de 2021



**MARIO ALBERTO COLMENERO ANTONIO**

Nombre Completo



**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TIERRA BLANCA**

**ORDEN DE IMPRESIÓN**

FECHA: 7 DE JULIO 2021  
DEPENDENCIA: SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
OFICIO NÚM: ITSTB/SPEI/000  
ASUNTO: ORDEN DE IMPRESIÓN

**C. MARIO ALBERTO COLMENERO ANTONIO**  
**CANDIDATO (A) A TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS**  
**Y BIOTECNOLOGIA**  
**PRESENTE**

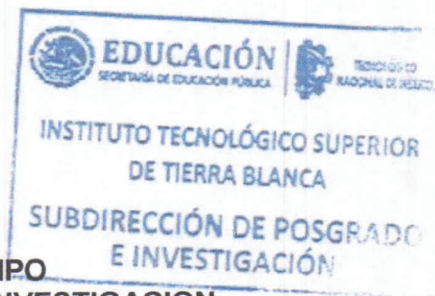
De acuerdo con los requisitos para la obtención de grado de los lineamientos para la operación de los estudios de posgrado de los Institutos Tecnológicos, dependientes del Tecnológico Nacional de México y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la comisión revisora le hizo a su respecto a su trabajo profesional titulado:

**“Diseño e implementación de un equipo de microondas para la obtención de extractos naturales”**

Comunico a Usted, que tiene la autorización para que proceda a la impresión de su trabajo de tesis

**ATENTAMENTE**

  
**MTRO. ELVIS JAVIER RECIO OCAMPO**  
**SUBDIRECTOR DE POSGRADO E INVESTIGACION**



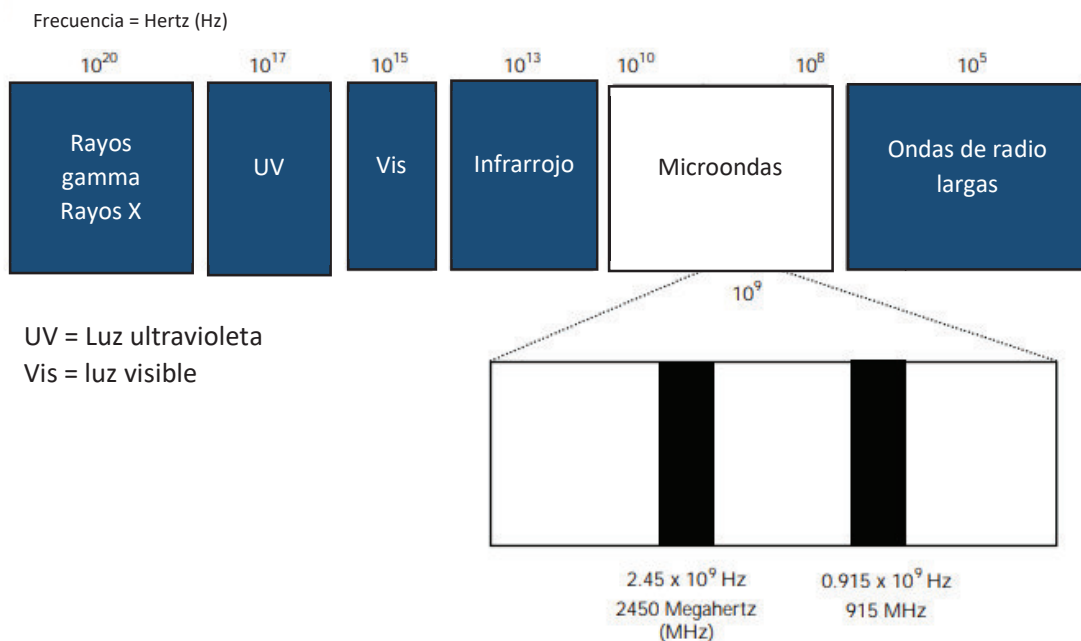
c.c.p. Coordinación de Posgrado. Maestría en Ciencias de los Alimentos y Biotecnología  
c.c.p. Archivo

## Contenido

1	Introducción .....	2
2	Marco teórico .....	5
2.1	Extractos naturales .....	14
2.1.1	<i>Parte de las plantas utilizadas en la extracción .....</i>	<i>14</i>
2.1.2	<i>Métodos de extracción .....</i>	<i>15</i>
2.1.3	<i>Vainilla (Vanilla planifolia).....</i>	<i>17</i>
3	Justificación .....	21
4	Objetivo General .....	22
4.1	Objetivos particulares.....	22
5	Hipótesis.....	23
6	Diseño Experimental.....	23
7	Metodología .....	25
7.1	Diseño y ensamblado del microondas .....	25
7.2	Materia prima.....	29
7.3	Explosión por vapor .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
7.4	Eficiencia de extracción (vainilla sin explotar) .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
7.4.1	<i>Color .....</i>	<i>33</i>
7.4.2	<i>Recuperado de solvente y solvente tratado.....</i>	<i><b>¡Error! Marcador no definido.</b></i>
7.4.3	<i>Vainillina.....</i>	<i>34</i>
8	Resultados .....	41
8.1	Ensamblado .....	41
8.1.1	<i>Operatividad .....</i>	<i>41</i>
8.1.2	<i>Eficiencia de extracción y recuperado de solvente.....</i>	<i>42</i>
8.2	Explosión por vapor .....	43
8.3	Color .....	43
8.4	Vainillina .....	44
6.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	47
7.	Bibliografía .....	48

## 1 Introducción

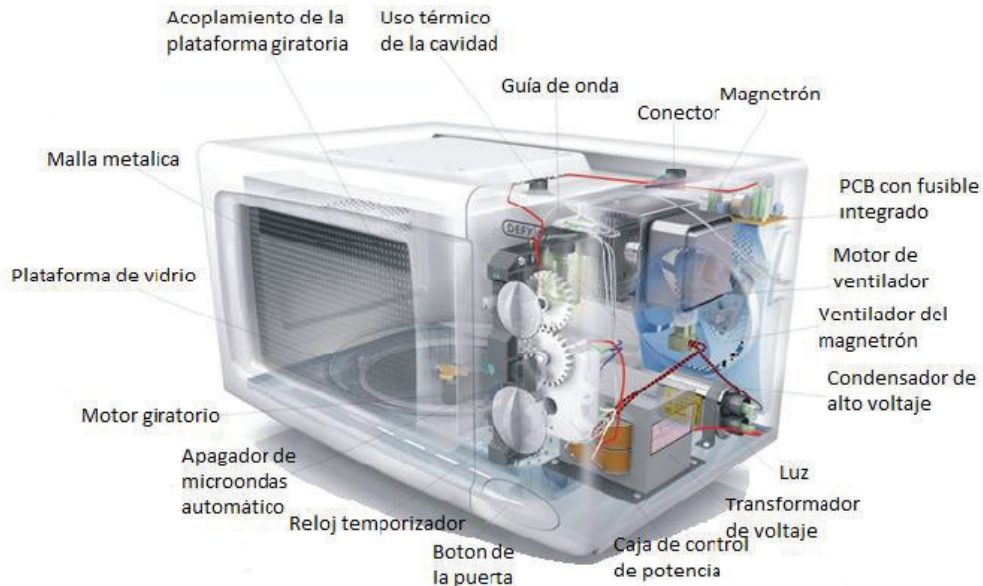
Las microondas son ondas electromagnéticas a frecuencias entre 300 y 300,000 megahercio (MHz) con longitudes de onda correspondientes de 1 a 0.001 m, respectivamente (Cooper, 2009); a muy baja frecuencia, la aplicación principal es la generación de energía, la transmisión y el consumo. La frecuencia de radio (de 535 kHz a 890 MHz) se utiliza para la transmisión de radio y televisión. A muy alta frecuencia, una de las principales aplicaciones es la ingeniería nuclear (Chizoba *et al.*, 2017). De acuerdo con Luan *et al.*, (2016), la frecuencia del magnetrón en el patrón de calentamiento en un horno de microondas doméstico es de 2.44 a 2.48 GHz (Figura 1).



**Figura 1.** Frecuencias a distintas escalas; frecuencia de un horno de microondas doméstico, Luan *et al.*, (2016).

El horno de microondas se ha utilizado ampliamente en todo el mundo para calentar, recalentar, cocinar e incluso asar alimentos domésticos, (Liu *et al.*, 2014). Fue inventado en 1945 por el americano Percy Le Baron Spencer. En un primer momento era de dimensiones muy grandes y se usaba principalmente en hospitales y comedores militares, hasta que en 1967 se llevó a cabo una versión nueva adaptado al domicilio (Guardeño Ligeró, 2013). Consiste esencialmente en un sistema de suministro de energía (transformadores y circuitos

electrónicos de acondicionamiento de energía), una fuente de energía de microondas, generalmente un magnetrón, genera la energía de microondas, con su antena de radiación, una guía de ondas y una cavidad de aplicador / calefacción (Atuonwu & Tassou, 2018), como se puede observar en la Figura 2.



**Figura 2.** Partes de un horno de microondas. Imagen obtenida de <http://cort.as/-Iytu> - 30/05/19.

Las ondas producidas por el magnetrón del microondas se fundamentan en la interacción de las moléculas de alimentos con las microondas inducirá la fricción molecular atribuida a la ruptura del enlace de hidrógeno asociado con las moléculas de agua y la migración iónica de sales libres en un campo eléctrico de polaridad que cambia rápidamente (Lidia *et al.*, 2017). El calentamiento de los alimentos por la energía de microondas se logra tanto por la absorción y por la rotación de las moléculas de agua dipolar y la traducción de los componentes iónicos de los compuestos (Ohlsson & Bengtsson, 2001).

Las tecnologías avanzadas de procesamiento de alimentos, como el calentamiento por microondas, han experimentado una mayor popularidad, como alternativas a los métodos de procesamiento convencionales para diversas aplicaciones en la industria alimentaria (Chizoba Ekezie *et al.*, 2017); la cocción o calentamiento por microondas puede retener altos

niveles de componentes bioactivos, actividad antioxidante y color atractivo de las verduras, al cocinar sin agua o con una pequeña cantidad de agua (Guo *et al.*, 2017), además, el calentamiento por microondas reduce el tiempo de procesamiento (Tang *et al.*, 2018).

En lo que respecta a la extracción con solventes convencionales, un mayor volumen de solvente generalmente puede disolver los ingredientes bioactivos de interés de manera más efectiva y conducir a un mayor rendimiento de extracción( Zhang *et al.*, 2011). La aplicación de microondas a mezclas de muestras de plantas con etanol / agua y metanol / agua ha dado mejores rendimientos y más rápidos tiempos de procesamiento cuando se producen extractos que contienen compuestos bioactivos en comparación con los métodos convencionales, como la extracción por reflujo térmico (Lidia *et al.*, 2017). Por otro lado, Chemat y colaboradores (2015); mencionan que la extracción sin disolventes también reducen el tiempo de extracción y la degradación de compuestos naturales. La extracción asistida por microondas (EAM) se reconoce como una técnica eficaz para obtener aceites esenciales y compuestos naturales (Amarni & Kadi, 2010; Franco-Vega *et al.*, 2019).



## **2 Marco teórico**

### **2.1 Maceración**

Es una técnica utilizada en la elaboración del vino y ha sido adoptada y ampliamente utilizado en la investigación de plantas medicinales, en este método convencional, el calor se transfiere por convección y conducción, la elección de solvente determina el tipo de compuesto que se extraerá (Azwanida, 2015). Los objetivos de la maceración son crear y extraer, dentro de la solución, compuestos necesarios como azúcares fermentables, aminoácidos, vitaminas, etc. (Pino Hurtado *et al.*, 2018)

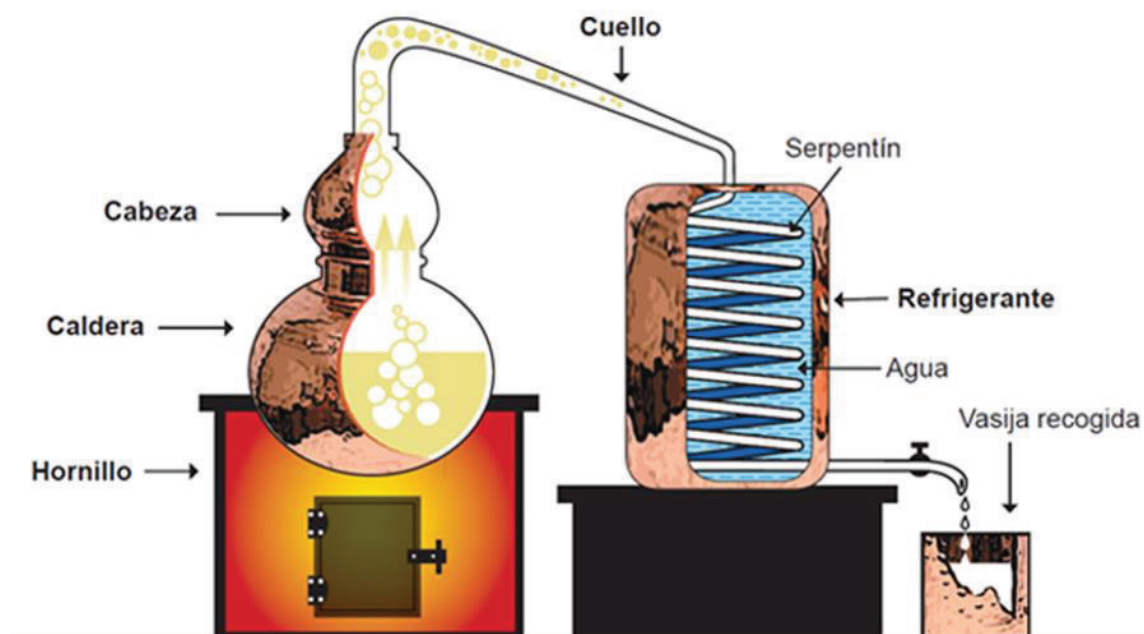
Se entiende por maceración al contacto prolongado durante cierto tiempo de la planta con el solvente constituyendo un conjunto homogéneamente mezclado en el cual el solvente actúa simultáneamente sobre todas las proporciones de la muestra, circulando a través en todas las direcciones y sentidos y disolviendo sus principios activos hasta producirse una concentración en equilibrio con la del contenido celular, principalmente utilizada para muestras rígidas, tallos y raíces (Carrión Jara & García Gómez, 2010).

De acuerdo con López-Luengo (2007) el líquido de inmersión se prepara colocando el medicamento previamente pesado en un recipiente opaco a temperatura ambiente y agregando la cantidad necesaria de agua. Se deja reposar en un lugar oscuro durante el tiempo requerido. Generalmente, si se trata de partes blandas (como flores y hojas), el tiempo de inmersión es de unas 12 horas; si son partes duras (como raíces y corteza), el tiempo de inmersión es de 24 horas. Pasado este tiempo, se filtró el líquido resultante. Por lo general, use de 20 a 50 gramos de medicamento por litro de agua y tome de 2 a 3 tazas al día. La impregnación es útil para aquellos medicamentos cuyos ingredientes activos no son lábiles al calor. A veces, se realiza la inmersión para ablandar los tejidos vegetales y luego se realiza la decocción.

### **2.2 Extracción en alambique**

De acuerdo con Ambuludi Gualan (2014) el término alambique se aplica al recipiente en el que se hierven los líquidos durante la destilación, pero a veces se aplica al aparato entero, incluyendo la columna fraccionadora, el condensador y el receptor en el que se recoge el destilado. Este término se extiende también a los aparatos de destilación destructiva o craqueo. Los alambiques para trabajar en laboratorio normalmente son de cristal, pero los

industriales suelen de hierro o acero, en los casos que el hierro podría contaminar el producto se usa a menudo el cobre. Para considerarse un destilador es necesario tener las siguientes partes: Quemador, retorta o matraz de fondo redondo, cabeza de destilación, termómetro, refrigerante, entrada y salida de agua (Figura 3) .



**Figura 3.** Partes de un alambique. Imagen obtenida de: <https://alambiques.top/>.

El alambique, es un artefacto que se utiliza para obtener distintos tipos de destilados. Los estudiosos de la historia del aguardiente coinciden en señalar la presencia de los alambiques en las viñas o centros productivos dedicados a producir los alcoholes, pero por lo general, sin entregar mayores datos sobre esas alquitaras; con frecuencia, solo se menciona el material con que están fabricados (cobre) y, en algunos casos, el valor de tasación (Lacoste *et al.*, 2016).

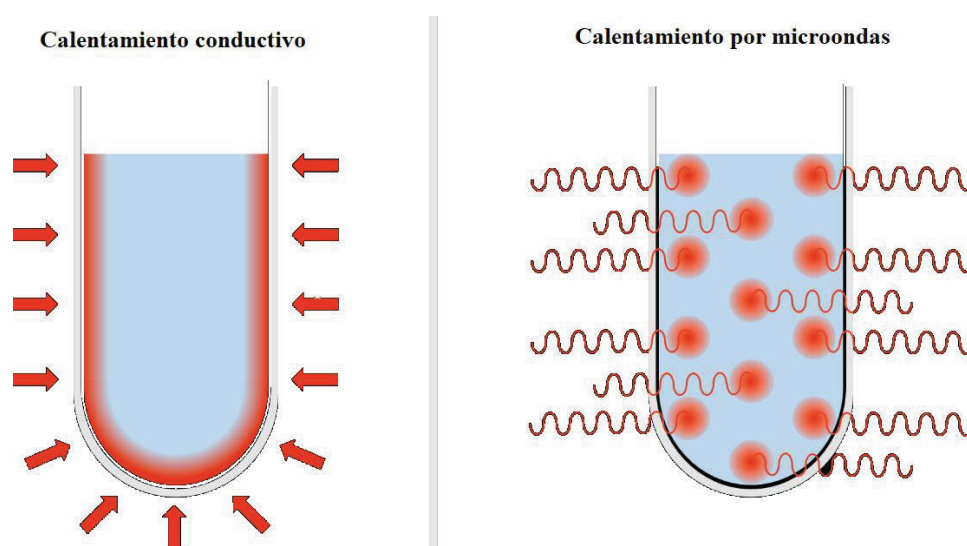
### **2.3 Extracción asistida por microondas (MAE)**

De acuerdo con Destandaua *et al.*, (2013) el uso de la energía de microondas fue mencionado por primera vez por Abu-Samra en 1975. Usaron hornos domésticos en el laboratorio para el tratamiento de muestras biológicas para el análisis de trazas de metales. La primera patente para la extracción de un producto natural usando microondas fue presentada por Pare en 1995. Inicialmente empleado como método de digestión para diferentes tipos de muestras,

como matrices ambientales, biológicas y geológicas, la extracción por microondas es ahora ampliamente aceptada para extraer productos naturales de materiales vegetales.

Las extracciones se realizan en recipientes cerrados o abiertos donde la muestra y el disolvente se combinan y luego se exponen a la energía de microondas. El tiempo de extracción se reduce significativamente cuando se aplica MAE porque con microondas la mezcla de muestra / solvente se calienta directamente, mientras que, con las técnicas de extracción clásicas, se necesita un período finito para calentar el recipiente antes de que el calor se transfiera a la solución (Llompart *et al.*, 2019).

El microondas es una onda electromagnética de frecuencia no ionizante (radiación electromagnética) con una frecuencia de 0,3 a 300 GHz. Debido a sus propiedades electromagnéticas, el microondas tiene un campo eléctrico y magnético vertical. El campo eléctrico proporciona calentamiento a través de dos mecanismos simultáneos, a saber, la rotación del dipolo y la conducción de iones (Delazar *et al.*, 2012). Las microondas, debido a los dipolos moleculares, provocan la rotación de las moléculas (Figura 4), lo que resulta en la ruptura de enlaces de hidrógeno débiles. Por tanto, los disolventes de alta viscosidad reducen la rotación de las moléculas y afectan los enlaces de hidrógeno débiles. Además, la migración de iones bajo la influencia de las microondas mejora la penetración del disolvente en la matriz de la planta y, por lo tanto, se facilita la disolución de los componentes extraíbles.



**Figura 4.** Proceso de calentamiento por microondas. Imagen obtenida de: <https://acortar.link/idO8j>.

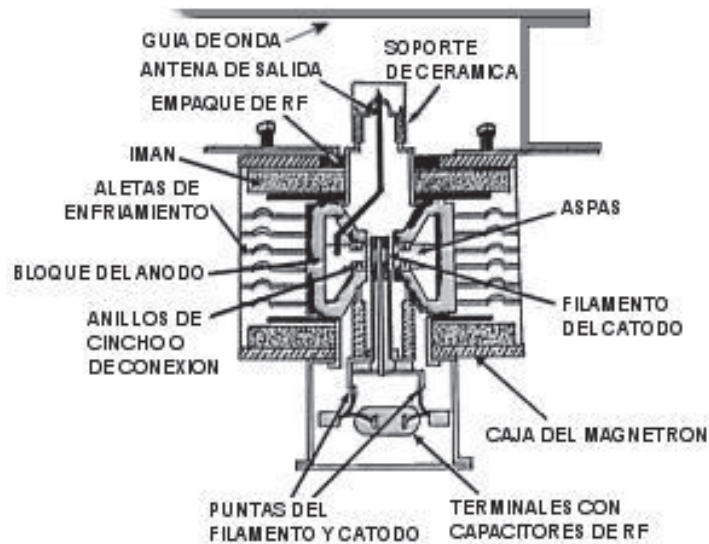
La capacidad de absorber energía de microondas depende del material. La absorción de energía está relacionada con el factor de pérdida dieléctrica, que es función de la constante dieléctrica del material. Generalmente, los materiales polares tienen un factor de pérdida dieléctrica más alto que los materiales no polares y, por lo tanto, tienden a absorber las microondas con mayor eficacia (Desrosiers *et al.*, 2009). Al utilizar MAE se pueden obtener diferentes compuestos de interés, Reddy *et al.*, (2020) menciona que, en el primer paso, las sustancias flavonoides se desprenden de los sitios activos de la matriz de la muestra a alta presión y temperatura; en el segundo paso, la difusión del solvente tiene lugar a través de la matriz de la muestra; y en el tercer paso, la matriz de la muestra libera los flavonoides activos en el disolvente. El procedimiento MAE extrae los flavonoides bioactivos con mejores recuperaciones en tiempos de extracción rápidos que los procedimientos de extracción convencionales.

### **2.3.1 Magnetron**

El desarrollo industrial de magnetrones de cavidad y el posterior desarrollo de radares de microondas terrestres y aéreos de alta potencia parecen ser casos típicos de "gran innovación", a saber, según la definición comúnmente utilizada por los historiadores técnicos, esta invención dio lugar a un uso práctico y rentable, satisfaciendo ciertas necesidades reconocidas de nuestra sociedad. La Universidad de Birmingham implementó la primera versión de alta potencia del dispositivo de microondas, que es fácil de replicar y adecuado para la producción en masa. Dos investigadores del equipo de investigación de Oliphant, John T. Randall y Henry A. H. Boot, mejoraron el magnetron de la cavidad. El 21 de febrero de 1940, su equipo experimental se selló con cera y se conectó permanentemente a una bomba de vacío, y osciló a una longitud de onda de 9,8 cm, produciendo una potencia muy grande de 400 W, dos órdenes de magnitud más alta que los niveles disponibles anteriormente (Blanchard *et al.*, 2013).

De acuerdo con Hok (1950) todos los tipos de magnetron tienen en común las siguientes características principales (Figura 5): 1. Un cátodo que proporciona los electrones necesarios a través de emisión termoiónica, emisión secundaria o una combinación de ambas; generalmente es cilíndrico, pero ocasionalmente puede ser de alambre recto o espiral. cable. 2. El ánodo cilíndrico coaxial con el cátodo forma el límite exterior del espacio de interacción

ánodo-cátodo. El ánodo está dividido en múltiples partes por ranuras axiales. 3. Un sistema o circuito resonantes en el cual el ánodo o sección del ánodo es parte de él y se usa como terminal de entrada, se determina la frecuencia de oscilación y se proporciona un dispositivo para transmitir energía al terminal de salida. 4. Un imán para mantener un campo magnético axial constante y sustancialmente uniforme en el espacio de interacción.



**Figura 5.** Partes de un magnetrón. Imagen obtenida de: <https://acortar.link/R1A8m>.

De acuerdo con Berekyakaleb (2011) un circuito calienta el filamento y la camisa, al punto de emitir electrones (efecto termoiónico), El campo magnético producido por los imanes, alcanza aproximadamente 1000 G, hace que los electrones sigan una trayectoria en forma de espiral, esta desviación de los electrones depende de la intensidad del campo magnético, los electrones, viajan con una trayectoria curva, volviendo a su punto de partida sin tocar el ánodo, ya que el campo es suficientemente intenso, cuando un electrón se aproxima a uno de los segmentos entre las cavidades, se induce una carga positiva en ese segmento, pero conforme pasa y se va alejando esa carga positiva se reduce. Sin embargo; el electrón al continuar su trayectoria hará lo mismo en el siguiente segmento, quedando ahora el anterior polarizado negativamente.

Por lo tanto, se induce una corriente alterna en las cavidades. Cuando se produce este efecto, las cavidades ahora serán cavidades resonantes, esta nube de electrones, actúa como una fuente de alimentación de las cavidades, las cuales generan de esta manera una oscilación continua y uniforme; a su vez, la energía generada en este proceso se libera por la antena.

Esto ocurre cuando los electrones de la antena viajan hacia arriba y hacia abajo a la frecuencia de las cavidades resonantes, originándose alrededor de ella una onda electromagnética a la frecuencia 2,45 GHz (microondas) que se transporta mediante una guía de onda al interior del horno (Mahmud, 2019).

### 2.3.2 Diseños de equipos MAE

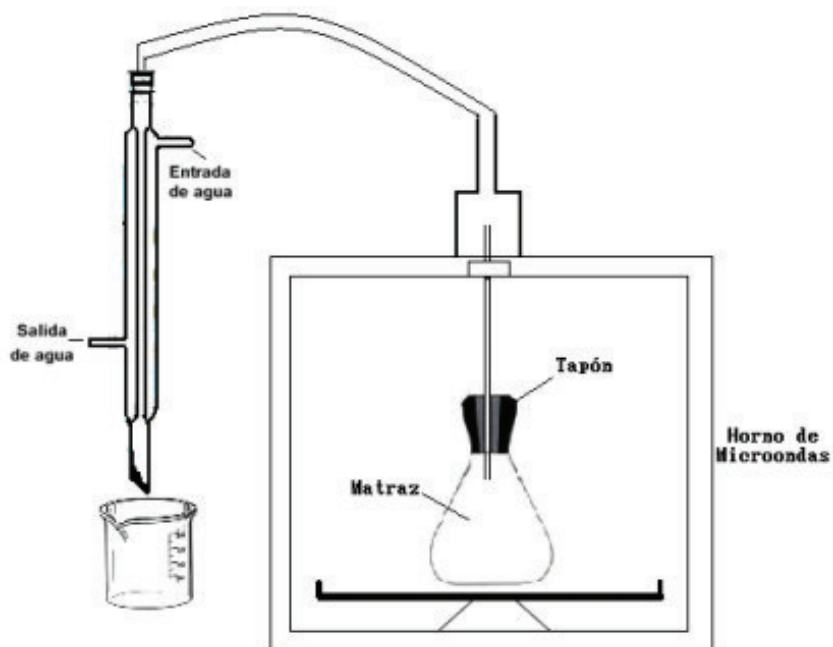
Contreras Flores (2010) diseñó y ensambló un equipo de la siguiente manera: Como cuerpo principal se tiene el horno de microondas, en el interior se encuentra una cámara de extracción, en él se introduce la materia (Figura 6).



**Figura 6.** Interior de microondas. Imagen obtenida de: <https://acortar.link/G706q>.

Mediante un tubo elevador situado desde el reactor hasta el exterior del horno de microondas se manipula el vapor, a través del tubo circulará un flujo de vapor hasta el condensador tipo recto, el tubo elevador esta unido al balero y la ubicación del tubo es en forma perpendicular con respecto al plato giratorio, una vez que el vapor circula por el refrigerante, se condensará para después ser recolectado con ayuda de un refrigerante de 30 cm de tipo recto, además,

sellaron las uniones entre el balero y el tubo elevador con pegamento de características especiales (Figura 7).



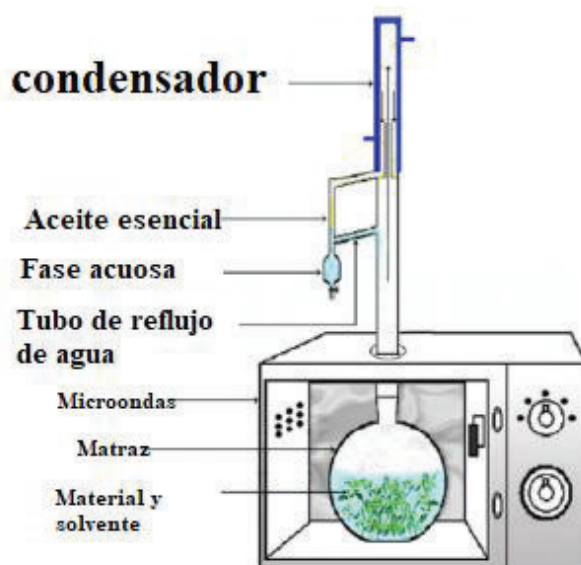
**Figura 7.** Diseño final de equipo de extracción adaptado por Contreras Flores (2010). Imagen obtenida de: <https://acortar.link/G706q>.

Por otra parte, Rojas-Olivos, 2009 ensamblaron el equipo de la siguiente manera: como cuerpo principal utilizaron un microondas de la marca Samsung, dentro de él se ubicó una cámara la cual tendrá en su interior la muestra que se desea investigar, se conectó un tubo el cual dirige los vapores a dos condensadores tipo rosario de 30 cm, ambos condensadores están unidos con un conector tipo “y” donde concentrara el solvente (Figura 8).



**Figura 8.** Equipo de extracción adaptado por Rojas-Olivos (2009). Imagen obtenida de: <https://acortar.link/fL9Nt>.

Golmakani & Rezaei (2008) modificaron un horno microondas doméstico (NN-S674MF, Panasonic, Japón, 32 l, 1100 W; variable en incrementos de 110 W, 2,45 GHz). Las dimensiones de la cavidad revestida con PTFE del horno microondas fueron 22,5 cm 37,5 cm 38,6 cm. El matraz se instaló dentro de la cavidad del horno microondas y se usó un condensador en la parte superior (fuera del horno) para recolectar los aceites esenciales extraídos (Figura 9).



**Figura 9.** Aparato de hidroddestilación asistido por microondas. adaptado por Golmakani & rezaei (2008). Imagen obtenida de: <https://acortar.link/vcZq6>.

## 2.4 Parámetros que afectan el proceso MAE

Los parámetros más comúnmente estudiados para la optimización de las condiciones de extracción son: composición y volumen del disolvente, temperatura, presión (en equipos de vasos cerrados), potencia de microondas, tiempo de extracción y características de la matriz (Barrera Vázquez, 2015)

### 2.4.1 Disolvente

La correcta elección del disolvente es fundamental para obtener un proceso de extracción eficaz. Esta elección depende de la solubilidad del analito, la interacción entre el disolvente y la matriz de la planta y, finalmente, las características de absorción de microondas del disolvente. El solvente de extracción en aplicaciones MAE debe ser polar para absorber energía de microondas. El metanol y el acetato de etilo son los solventes más comúnmente



usados. Para reemplazar los disolventes orgánicos, se utiliza 1 L de solución acuosa hidrófila (en lugar de 1 L puro) como disolvente de extracción en MAE (Pacheco-Fernández & Pino, 2020). El éxito de esta tecnología está relacionado con la alta temperatura y el disolvente o mezcla de disolventes utilizada. La elección del recipiente (cerrado o abierto) depende principalmente del valor épsilon del solvente utilizado: si el valor épsilon del solvente es alto, un recipiente cerrado debe ser la primera opción, en el cual el solvente se calienta a un nivel mucho más alto que su punto de ebullición. Si el disolvente tiene un valor épsilon bajo, el modo de lata abierta dará como resultado la extracción de componentes con un valor épsilon más alto de la muestra, que entrarán en el ambiente frío circundante. MAE generalmente usa una pequeña cantidad de disolvente, por lo que se considera "verde" "tecnología (Costa, 2016).

#### ***2.4.2 Temperatura/presión***

La potencia del microondas y la temperatura de operación están muy relacionadas entre sí, por lo que se debe prestar especial atención cuando se trabaja con sistemas de recipientes cerrado (Barrera Vázquez, 2015). Los fenómenos de transmisión de calor, convección y cambio de fase han sido estudiados para analizar su influencia sobre la temperatura que alcanzan los cuerpos. El fenómeno de avalancha térmica tiene una gran importancia en el tratamiento de algunos materiales, sobre todo aquellos cuyas pérdidas dieléctricas crecen con la temperatura, por lo que ha sido analizado junto con las técnicas que pueden utilizarse para evitar su aparición. En los sistemas de calentamiento por microondas el incremento de temperatura de la muestra viene determinado por la potencia absorbida por el aplicador, y por tanto un control preciso de esta potencia es vital en el control de la temperatura (Plaza González, 2015).

#### ***2.4.3 Naturaleza de la matriz***

El tamaño de partícula del material procesado y el estado en el que se presenta pueden tener un efecto importante en los porcentajes de recuperación de los compuestos de interés. La velocidad de transferencia de la masa desde la superficie del sólido es directamente proporcional al área de la interfase sólido-liquido, es decir; cuanto menor sea el tamaño de partícula, mayor es la tasa de transferencia de soluto a la disolución y la eficiencia de extracción (Arroyo Sánchez, 2016)

Por otro lado, debido a que el soluto deseado no siempre se encuentra en la superficie de las células vegetales, la reducción del tamaño de partícula favorece la extracción en gran medida cuando se trata de analitos que se encuentran almacenados en los espacios intracelulares, capilares o estructuras celulares, es importante considerar que un sólido finamente dividido puede dificultar el flujo de la disolución (Chanoti *et al.*, 2015).

Dong *et al.*, (2014) demostraron que existe una clara diferencia en el rendimiento de vainillina al emplear frutos curados molidos y troceados como materia prima, entre menor sea el tamaño de partícula, mayor será el contenido de vainillina extraída, pues mayor superficie de transferencia aumenta la elusión externa desde la superficie al disolvente y disminuye la difusión interna, facilitando la transferencia de masa del soluto al disolvente.

## **2.5 Extractos naturales**

Los extractos naturales se pueden obtener de fuentes animales y vegetales. Los extractos se pueden clasificar de varias maneras, cualquiera que sea el medio principal de extracción, existe invariablemente un procesamiento adicional para obtener el extracto requerido (Ashurst, 2012).

Los extractos de plantas contienen principalmente compuestos fenólicos como flavonoides, ácidos cinámicos, cumarinas, ácidos fenólicos, lignanos y taninos, todos los cuales tienen actividad antioxidante y son probablemente responsables de disminuir los niveles de toxinas (Morales *et al.*, 2014).

### **2.5.1 Parte de las plantas utilizadas en la extracción**

De acuerdo con Carreño-Hidalgo, 2016 se pueden obtener distintos compuestos dependiendo de la parte de la planta que se utilice. Por ejemplo: Hojas, semillas, raíz y tallo entre otras, cada una se puede emplear de maneras distintas.

#### **2.5.1.1 Hojas**

Los extractos de hojas de plantas, son obtenidos para concentrar los metabolitos y/o fitoquímicos secundarios presentes en dichos vegetales, entre los que se encuentran alcaloides, polisacáridos, terpenoides, saponinas y compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides); los cuales poseen actividad anti alérgica, antifúngica, antiinflamatoria,

antihipertensiva, antiviral, antitumoral y anticancerígena, así como la capacidad de inhibir radicales libres y retardar el crecimiento microbiano (Ramírez-Rojo *et al.*, 2016).

### **2.5.1.2 Semillas**

Las semillas de algunas plantas son de interés por su alto contenido de aceite, tal es el caso de aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía, se pueden extraer aceites de distintas semillas, por ejemplo; aceite de oliva (Guillén *et al.*, 2009), aceite de girasol (Domínguez *et al.*, 1995; Angiolillo *et al.*, 2015), aceite de linaza (Héctor, 1946; Lucero, 2010), aceite de moringa (Gómez *et al.*, 2016), aceite de vainilla (Peredo *et al.*, 2009), entre otros. El uso de solventes es efectivo, así como capaz de extraer la mayor cantidad de aceite contenido en semillas.

### **2.5.2 Métodos de extracción**

En la extracción de compuestos naturales se utilizan diferentes disolventes en diferentes condiciones, como el tiempo y la temperatura de extracción. En los componentes bioactivos extraídos de las plantas es esencial su separación de los compuestos extractivos. El fraccionamiento adicional de los compuestos extraídos se realiza en función de su acidez, polaridad o tamaño molecular (Altemimi *et al.*, 2017)

#### **2.5.2.1 Destilación por arrastre de vapor**

Se lleva a cabo la vaporización selectiva del componente volátil de una mezcla formada por éste componente y otros no volátiles por medio de la inyección de vapor de agua directamente en el seno de la mezcla, formando otra fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla a destilar para lograr su evaporación, teniendo la presencia de dos fases inmiscibles a lo largo de la destilación, cada líquido comportándose como si el otro no estuviera presente (Peredo *et al.*, 2009)

#### **2.5.2.2 Extracción con disolventes**

Los disolventes utilizados para la extracción de biomoléculas de las plantas se eligen en función de la polaridad del soluto de interés. Un solvente de polaridad similar al soluto

disolverá adecuadamente el soluto. Se pueden usar múltiples solventes secuencialmente para limitar la cantidad de compuestos análogos en el rendimiento deseado (Altemimi *et al.*, 2017)

### **2.5.2.3 Extracción por fluidos super críticos**

La extracción de agua subcrítica, también conocida como extracción de agua caliente, es un proceso por el cual el agua se mantiene en su estado líquido mediante el uso de altas temperaturas, que están dentro del rango de 100–374 ° C. y presión. El agua es un disolvente polar con una constante dieléctrica cercana a 80 a temperatura ambiente, pero este valor disminuye a ~30 cuando la temperatura aumenta a 250°C. ° C (Yahya *et al.*, 2018).

### **2.5.2.4 Extracción por ultrasonido**

El efecto mecánico de la cavitación acústica del ultrasonido aumenta el contacto superficial entre los disolventes y las muestras y la permeabilidad de las paredes celulares. Las propiedades físicas y químicas de los materiales sometidos a ultrasonido se alteran y rompen la pared celular de la planta; facilitando la liberación de compuestos y mejorando el transporte masivo de los solventes a las células vegetales (Azwanida, 2015).

### **2.5.2.5 Extracción por microondas**

La función y forma de extracción del microondas es debido al magnetron con las microondas producidas para el calentamiento de un producto, el calentamiento en material vegetal seco es el minuto microscópico de humedad que se produce en las células vegetales. El calentamiento de esta humedad dentro de la célula vegetal debido al efecto de microondas produce evaporación y genera una tremenda presión en la pared celular. La pared celular se empuja desde el interior debido a la presión y la pared celular se rompe. De este modo, se produce la exudación de los constituyentes activos de las células rotas, lo que aumenta el rendimiento de los fitoconstituyentes (Tatke, 2011).

De acuerdo a Kalaiselvi *et al.*, (2018), para la extracción de *moringa oleífera lam*, el método de síntesis por microondas ofrece ventajas que otras técnicas no, debido al excelente control de la composición, la alta homogeneidad a nivel molecular, la menor temperatura de cristalización y la posibilidad de producir nanorods ultrafinos

Por otro lado, Longares-Patrón & Cañizares-Macías (2006), mencionan que los resultados obtenidos fue mejor el método de microondas que por la Norma Mexicana, NMX-FF-074-1996; se obtuvo un aumento de 50 y 41% en las concentraciones de vainillina y *p*-hidroxibenzaldheido, respectivamente, con respecto al método oficial. Por otro lado, utilizando la energía de microondas enfocada, el tiempo de extracción es de solo 70 minutos y con el método oficial se demora por 3 días.

### **2.5.3 Vainilla (*Vanilla planifolia*)**

También conocida como vainilla “mexicana” o “Bourbon”, es una especie originaria de Mesoamérica, es una planta trepadora, hemiepipífita o terrestre de la familia de las orquídeas (Hernández et al., 2011). La planta de vainilla es una orquídea perenne, terrestre, trepadora, de tallo flexible, cilíndrico, simple o ramificado, de color verde brillante, está constituido de 10 a 15 cm de longitud, de uno a dos cm de diámetro, con hojas alternas, dispuestas en zigzag y las guías pueden llegar a medir hasta 50 m de longitud (Vargas & Gámez 2014). La vainilla es un aromático originario de México y actualmente es uno de los productos más demandados en la industria refresquera y culinaria, la vainilla mexicana tiene un alto potencial de mercado (Sagarpa, 2017). La vainilla natural contiene cerca de 250 compuestos adicionales, que le confieren unas características organolépticas diferentes y exquisitas, como ácido de vainilla, alcohol de vainilla, ésteres de ácido de canela, *p*-hidroxibenzoaldehidos, sustancias aromatizantes y saborizantes, azúcares, resinas, sustancias flemosas, taninos y grasas (Gómez, 2014).

## **3 Antecedentes**

Un estudio sobre la extracción de catequina de frutos de *Arbutus unedo* L. utilizando técnicas de extracción por maceración, asistida por microondas y ultrasonido mostraron que la extracción asistida por microondas (MAE) fue la más efectiva, pero se aplicó una temperatura más baja en la maceración con rendimientos de extracción casi idénticos, lo que se puede traducir en beneficios económicos (Alburquerque *et al.*, 2017).

Ćujić *et al.*, (2016) lograron altos rendimientos de fenoles y antocianinas totales de la fruta chokeberry en una condición optimizada con 50% de etanol, una relación sólido-solvente de

1:20 y un tamaño de partícula de 0,75 mm, lo que sugirió que la maceración era un método simple y efectivo para la extracción de compuestos fenólicos de la fruta chokeberry.

Jin *et al* (2014) mencionan que, las hojas de *Cajanus cajan* se utilizan en la medicina popular china para el tratamiento de la hepatitis, la varicela y la diabetes. Los flavonoides son los compuestos bioactivos. compararon las tasas de extracción de orientoside, luteolina y flavonoides totales de las hojas de *C. cajan* mediante el método asistido por microondas, extracción por reflujo, extracción asistida por ultrasonido y extracción por maceración. Se encontró que la eficiencia de extracción de orientoside, luteolina y flavonoides totales fue la más baja en el método de extracto de maceración.

Jovanović *et al.*, (2017) evaluaron la eficiencia de extracción de polifenoles de *Serpylli herba* utilizando diversas técnicas de extracción (maceración, extracción asistida por calor y extracción asistida por ultrasonidos). Con base en el contenido de polifenoles totales, la extracción asistida por ultrasonidos produjo el mayor rendimiento total de flavonoides y no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la maceración y la extracción asistida por calor.

Dong-Lin *et al.*, (2019) utilizaron cáscara de naranja para extraer pectina a través de extracción asistida por microondas y surfactante (S-MAE), optimizaron las condiciones de extracción, teniendo en cuenta el tiempo de irradiación, la relación líquido-sólido y el uso de Box-Behnken. Diseñado para pH, contenido de ácido galacturónico y grado de esterificación en pectina. Los resultados mostraron que en las condiciones óptimas (pH 1.2, 7.0 minutos y 21.5 v / p LSR), el rendimiento de pectina que obtuvieron fue  $28.0 \pm 0.5\%$ , que estuvo cerca del valor predicho (31.1%). En segundo lugar, analizaron el efecto de los tensioactivos en la extracción de pectina por microondas. Entre los tensioactivos estudiados, Tween 80 (8 g / L, p / v) aumentó el rendimiento de la pectina en un 17,0%. En comparación con la extracción por solvente tradicional, S-MAE es un método de extracción de pectina novedoso y efectivo, que puede producir mayor (p <0.05) PY (32.8%), contenido de GA (78.1%), DE (69. w (286,3 kDa).

Gómez *et al.*, (2016) Extrajeron el aceite esencial de Acuyo mediante extracción asistida por microondas, en un horno microondas doméstico de 600 W y 2450 MHz apto para extracción. En un matraz de 1000 mL, colocaron 100 g de hojas de agua secas y trituradas y 300 mL de

agua destilada, luego fue introducido en el horno microondas conectado al condensador a través del sistema de recirculación de agua fría. Seleccionaron las condiciones del horno microondas durante 30 minutos al 80% de potencia (380 W) para calentar la mezcla de agua y generar vapor. El vapor que se obtuvo al llegar al condensador se enfría y se convierte en un extracto líquido, que se recibe en un matraz. Recuperaron el aceite esencial y midieron su volumen con una micropipeta. Agregaron sulfato de sodio anhidro para eliminar el agua restante en el aceite; por último, colocaron el aceite seco en una botella ámbar, cierre la tapa y almacene en refrigeración hasta el análisis.

Lixia *et al.*, (2020) realizaron un estudio para evaluar los efectos del calentamiento por microondas y hornos convencionales sobre la cantidad de cianuro de hidrógeno, propiedades del aceite y proteínas, y compuestos volátiles de la linaza. Todos los tratamientos térmicos redujeron eficazmente el contenido de cianuro de hidrógeno. En particular, el calentamiento del horno a 150 ° C durante 30 min aumentó el índice de peróxido en más de 10 veces, mientras que el calentamiento por microondas a 860 W durante 8 min solo provocó un ligero aumento en el color similar. Además, ambos hornos calentando a 150 ° C y el calentamiento por microondas a 860 W aumentaron notablemente los tipos y cantidades de volátiles, como pirazinas, alcanos, aldehídos, lo que podría deberse a la reacción de Maillard y la oxidación de lípidos. Con base en el índice de análisis anterior, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para analizar más a fondo la calidad integral de las semillas de lino, lo que indica que el calentamiento por microondas (860 W durante 8 min) y el calentamiento en horno (150 ° C durante 30 min) de las semillas de lino mostraron propiedades similares. En conjunto, los resultados indicaron la viabilidad del tratamiento con microondas como una alternativa al calentamiento en horno convencional para procesar las semillas de lino.

Kastiukas *et al.*, (2020) mencionan que para el desarrollo de prefabricados de hormigón geopolímero mediante curado por radiación en horno y microondas con evaluación ambiental, la duración del curado se redujo considerablemente a través de radiación de microondas, que es favorable para la producción de hormigón prefabricado geopolimérico en la práctica. indicó que la disolución de la sustancia que contiene Si y Al fue mejorado enormemente a través de la radiación de microondas en una etapa temprana. Mientras tanto,

la formación de gel de geopolímero y la rotura de los enlaces de hidrógeno en las moléculas de agua también mejoraron, lo que llevó a un aumento de fuerza en un corto período de tiempo. Además, como era de esperar, los geopolímeros preparados por GGBS en este estudio también presentó mayores fortalezas que las contrapartes basadas en PFA no reguladas bajo curado por microondas debido a las diferencias entre sus reactividades y fases de hidratación formadas bajo un ambiente alcalino. También se menciona que 350 Watts era la potencia óptima de microondas en vista de las fortalezas reveladas por los dos tipos de muestras de geopolímero, y los mayores poderes utilizados en el curado por microondas condujeron a resistencias inferiores.

Pitolli Lyra *et al.*, (2019) Mencionan que para preparar el bloque cerámico prepararon 44% en masa de polvo de bagazo, extrudiendo y sinterizando entre 700 ° C y 1000 ° C. La velocidad de calentamiento para sinterizar en un horno eléctrico es de 5 ° C / min y un tiempo de combustión de 60 minutos. En el horno de microondas, la velocidad de calentamiento es de 50 ° C / min y el tiempo de combustión es de 10 y 20 min. Después de la sinterización, las muestras se caracterizaron por la absorción de agua, la densidad aparente, la resistencia a la compresión y la microestructura. Los resultados mostraron que, en comparación con la sinterización en horno eléctrico, la sinterización por microondas promueve la mejora de la resistencia a la compresión del bloque cerámico y la disminución de la absorción de agua, lo que puede deberse al refinamiento de la microestructura.

Aguiae *et al.*, (2020) mencionan que, la fácil modificación del horno microondas doméstico mejorado puede controlar la pérdida de solvente durante la síntesis de la estructura organometálica (MOF) MIL 100 y monitorear la temperatura de 88B bajo la condición de ausencia de ácido fluorhídrico y características únicas de HKUST-1 y MIL. Además, se encuentra que, una mayor potencia de radiación de microondas conduce a una mejor estructura cristalina del material. Por lo tanto, configuraron la potencia de salida al 80%, lo que mantendrá una temperatura de 90 ° C. Los resultados también demostraron cómo encontrar puntos calientes de microondas y aplicaron un método de bajo costo para monitorear la temperatura durante el proceso de síntesis. Por MOF. Aunque HKUST-1 tiene propiedades únicas, esta simple modificación muestra un método simple y económico para producir MIL a baja temperatura y presión normal sin HF.



#### **4 Justificación**

La extracción de compuestos naturales de interés asistido por microondas utiliza tecnologías amigables con el medio ambiente, utiliza poco o nada de solventes obteniendo los mismos compuestos que utilizando otros métodos convencionales, siendo una ventaja contra ellos. Un horno de microondas cumple con los mismos principios que un equipo sofisticado de microondas, por lo que no necesariamente debe ser costoso y sofisticado, en el fundamento de este equipo no influye el tamaño del equipo, precio, tiempo y seguridad aséptica; se ha demostrado que la extracción por microondas ahorra tiempo y solventes en comparación de los métodos convencionales, en el método convencional se presenta una extracción bifásica, dependiendo que tipo de solventes se utilice serán los compuestos que se obtendrán por la polaridad de estos.

Los compuestos naturales extraídos por microondas pueden ser manipulados como aditivos en el área de alimentos, brindando resultados positivos; el equipo de microondas es un equipo que no requiere de un especialista para su operación y ensamblado, además, puede ser adaptable según lo requiera la persona que lo utilice, siendo posible el ensamblado y la instalación del equipo en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca para su aprovechamiento.

## **5 Objetivo General**

Ensamblar y operar un equipo piloto para la extracción asistida por microondas de compuestos naturales.

### **5.1 Objetivos particulares**

1. Ensamblar y operar un equipo de microondas para extracción de compuestos naturales.
2. Obtención de extractos de *Vainilla planifolia* por métodos reportados y por microondas.
3. Caracterizar estructural y fisicoquímicamente los extractos de *Vainilla planifolia*.
4. Comparar el proceso de extracción por microondas con un método convencional
5. Delimitar las características de los extractos obtenidos y su posible uso en el área de los alimentos.

## **6 Hipótesis**

Se obtendrá un rendimiento adecuado de un extracto natural obtenido por un equipo ensamblado de extracción por microondas

## **7 Diseño Experimental**

Se empleó un diseño experimental completamente al azar (Tabla 1), utilizando el software MINITAB 19<sup>®</sup> se realizó un análisis de varianza (DOE) con un intervalo de confianza de 95%. Utilizando vaina de vainilla de segunda calidad de la Chinantla Oaxaca, se analizaron dos tipos de muestra, una utilizando explosión por vapor y otra sin explosión, manipulando 1 gramo de vaina de vainilla en relación sólido-líquido (1:250), como solvente se utilizó etanol al 60% en tiempos de 1, 3, 5 y 10 minutos, cada uno de los tiempos fueron sometidos a dos potencias distintas (300 y 800 watts).

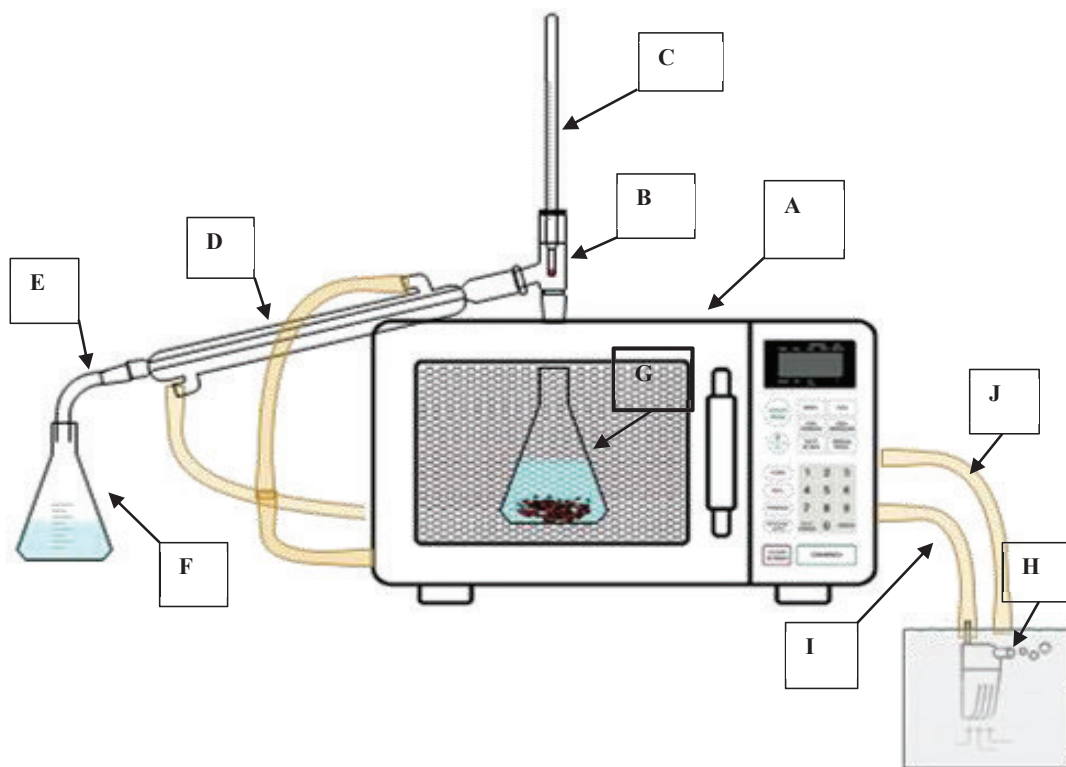
**Tabla 1.** Diseño experimental para la obtención de extracto de vainilla.

Muestra: Vaina de vainilla ( <i>Vanilla planifolia</i> )					
Potencia (W)	Solvente	Tiempo (min)	Potencia (W)	Solvente	Tiempo (min)
300	Agua	1	800	Agua	1
		3			3
		5			5
		10			10
	Etanol 60%	1		Etanol 60%	1
		3			3
		5			5
		10			10
	Etanol 80%	1		Etanol 80%	1
		3			3
		5			5
		10			10
	Etanol 96%	1		Etanol 96%	1
		3			3
		5			5
		10			10

## 8 Metodología

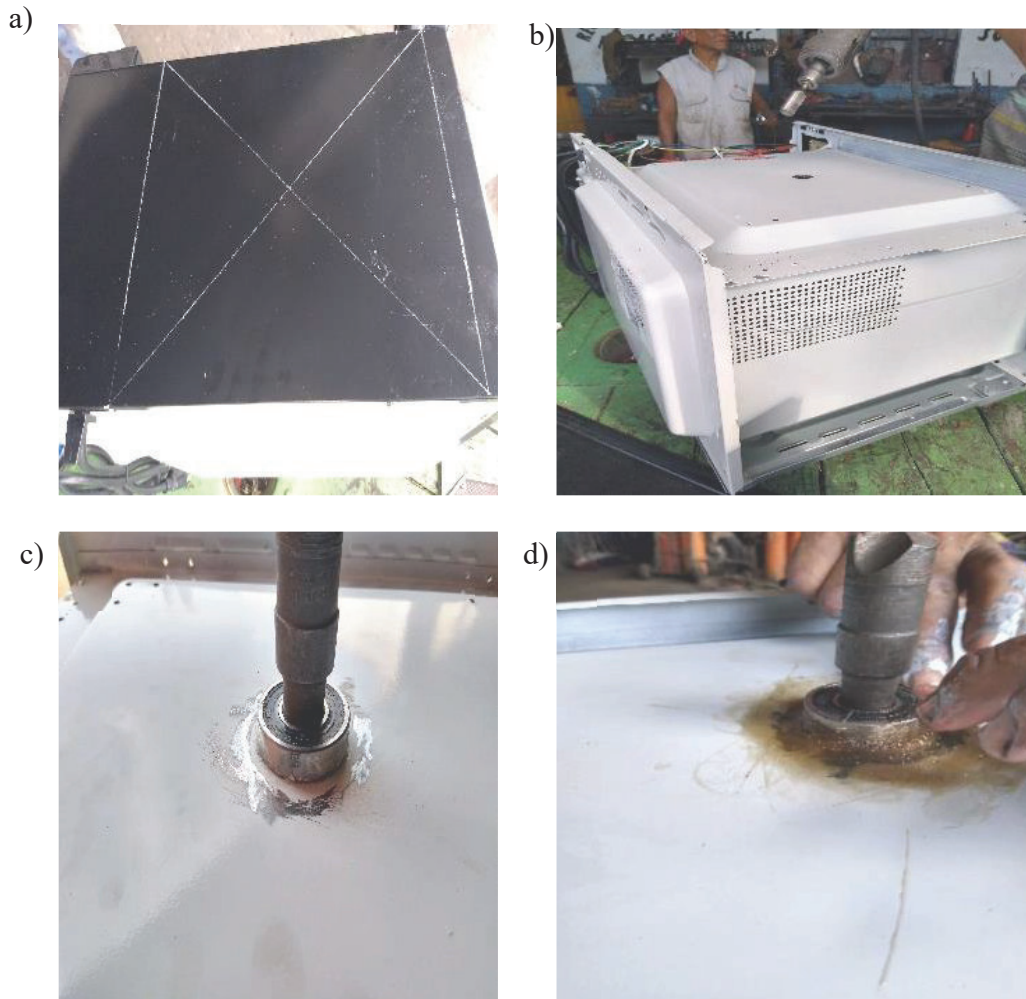
### 8.1 Diseño y ensamblado del microondas

Utilizando el programa EdrawMax 8.4® se realizó el diseño para el equipo de extracción (Figura 10) el cual consta de un microondas HAMILTON BEACH de 1000 watts de potencia (A), un adaptador de 75° con dos conexiones macho y en la parte superior un termómetro (C) para registrar la temperatura, de lado izquierdo se ensambló el refrigerante liso de 45 cm de largo (D), al final de este se colocó una boquilla de 24/40 esmerilado de 45°(E) que se introduce al matraz exterior (F) para recuperar el solvente condensado, dentro del microondas se colocó un matraz (G) en el cual se coloca cualquier tipo de solvente y muestra. Se utilizó una bomba de agua marca AQUASUB de 230 L/h (H) sumergible acoplada a una manguera de caucho de 75 cm (I) de largo que se vincula al refrigerante, mientras que en el otro orificio del refrigerante lleva conectada una manguera de caucho de 60 cm (J) que regresa el agua al recipiente con la bomba.



**Figura 10.** Diseño del equipo para extracción por microondas.

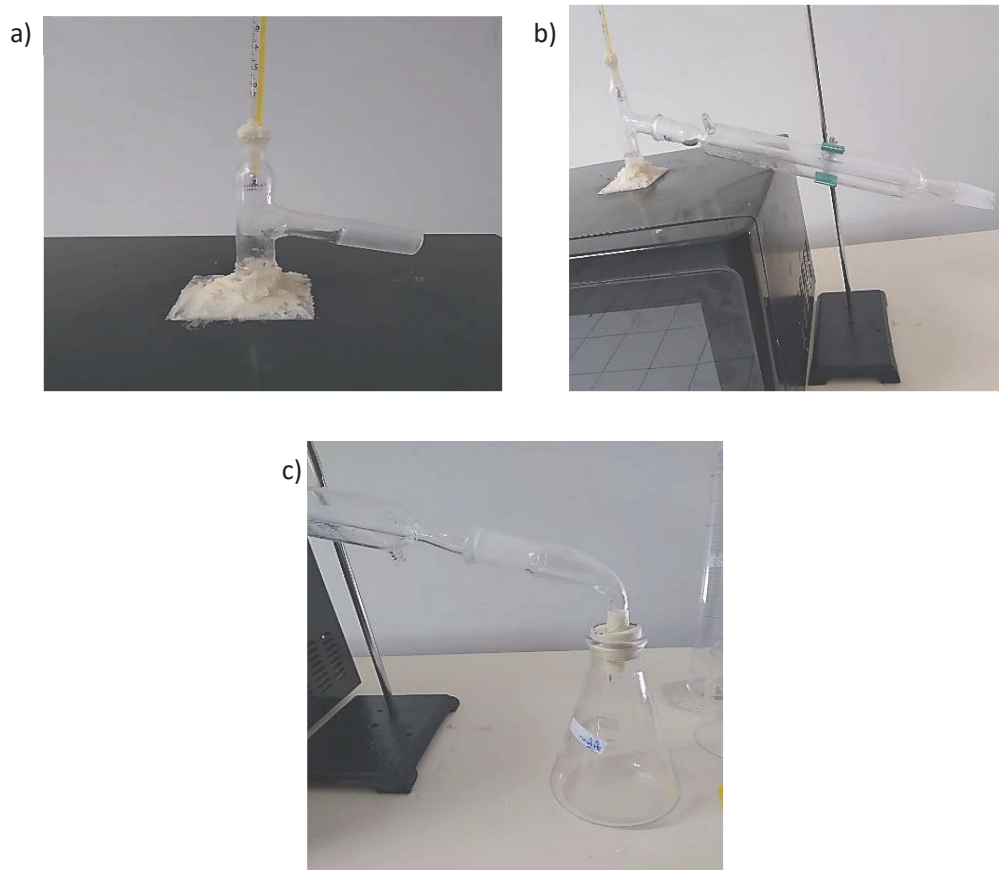
Teniendo en cuenta el centro del plato giratorio interior de microondas, se determina el centro de la parte superior del microondas (Figura 11a). El condensador y el matraz interno se conectarán a través de este centro. El escariado se utiliza para perforar las dos capas (Figura 11b). El rodamiento se coloca en la parte interior del horno de microondas (Figura 11c) se fija con fibra de vidrio (Figura 11d) para resistir los cambios de temperatura.



**Figura 11.** Perforación a microondas. a) Área central del plato giratorio, b) perforación, c) colocación del rodamiento, d) fijación del rodamiento con fibra de vidrio.

En la parte superior del microondas en la cual se realizó la perforación se colocó un conector en "Y" fijado con silicona (Figura 12a), un termómetro en la parte superior del conector en "Y", se utilizó silicona para evitar movimientos y posibles fugas de vapor, dicho termómetro tiene la función de controlar la temperatura. En la segunda boquilla del conector "Y" se conectó el refrigerante tipo liso, a manera que al condensar los vapores estos deslizaran por

las paredes del refrigerante, para mantenerlo en su lugar se utilizó un soporte universal, y a 15 cm de altura se añadió la pinza para sostenerlo (Figura 12b) , por último, en la boquilla del condensador se agregó un conector de 45°, que conecta el sistema completo, para mantenerlo sellado se utilizó un tapón con un agujero en el centro y así, ser conectado al matraz externo (Figura 12c).



**Figura 12.** ensamblado de material de cristal. a) conector tipo “Y”, b) condensador liso, c) conector de 45°.

## 8.2 Uso y manejo del equipo de extracción

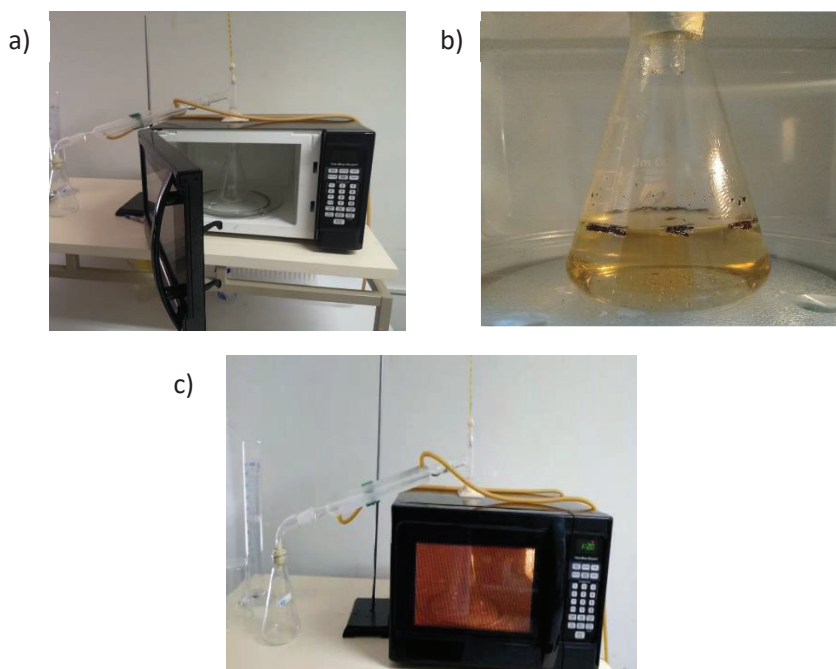
El equipo cuenta con función variable de potencia en rangos de 10% (100 W) a 100% (1000 W). Para seleccionar la potencia en el microondas (300 y 800 watts) es necesario seguir los siguientes pasos: oprimir la opción “tiempo de cocción”, después seleccionar el tiempo que se desea (1, 3, 5, 10 minutos), el equipo está regulado a su máxima potencia, pero para

regularla se elige el nivel de poder (Tabla 2), si se desea interrumpir el proceso, se oprime la opción empezar/pausa.

Tabla 2. Potencias reguladas por el tablero de 100 a 1000 watts

Número	Monitor	Poder
1,0	100P	100%
9	90P	90%
8	80P	80%
7	70P	70%
6	60P	60%
5	50P	50%
4	40P	40%
3	30P	30%
2	20P	20%
1	10P	10%

Para montar el equipo, se colocan las piezas de cristal en su lugar se requiere colocar el condensador en su posición con apoyo del soporte universal y pinzas, por los orificios del condensador se colocan dos mangueras de caucho para el transporte de agua fría (Figura 13a) en lo que la bomba de agua suministra el agua fría. Colocamos nuestra muestra y solución dentro del matraz interno (Figura 13b) se conecta mediante un tapón de caucho y un tubo de 13 mm al adaptador de temperatura por la parte interna del microondas (Figura 13c) por ultimo se programa el tiempo y la potencia requerida para que realice su función.

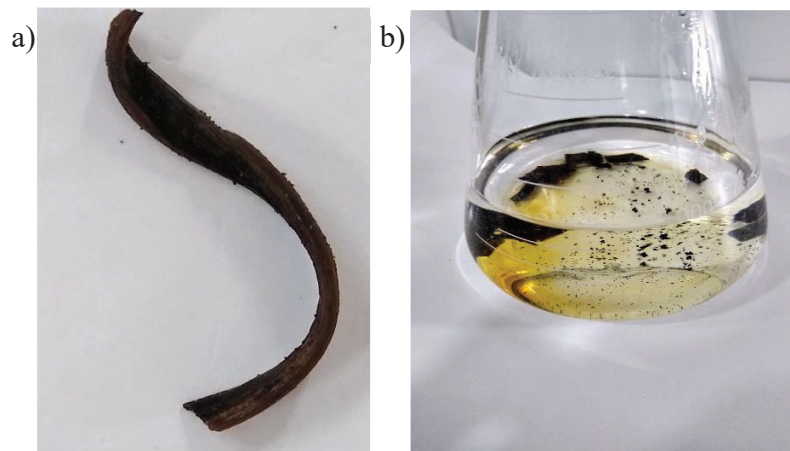


**Figura 13.** Instalación del equipo, a) sistema de enfriamiento, b) instalación<sup>28</sup> de matraz interno, manipulación de tiempo y potencia.



### 8.3 Maceración

El proceso de separación de componentes más valiosos como terpenos y ésteres, toman ventaja de la variación de la solubilidad de las fracciones en un solvente particular, por ejemplo, alcohol acuoso. El método presenta algunas desventajas, es lento y requiere más trabajo, sin embargo, necesita un equipo simple y poca energía es requerida para la separación básica. Se realizó una reducción de tamaño a un centímetro de largo de vainas de vainilla (Figura 14a), se pesaron 10 gramos de muestra y se colocaron en un matraz Erlenmeyer con 100 mL de etanol al 60% (Figura 14b).



**Figura 14.** Proceso de maceración, a) tamaño de muestra, b) muestra con solvente.

Posterior al tratamiento, la solución se colocó en una cámara de convección térmica a 50 °C por 40 horas consecutivas (Figura 15), como lo menciona la NMX-FF-074-1996. Finalmente, la solución fue filtrada y almacenada para realizar las pruebas necesarias.

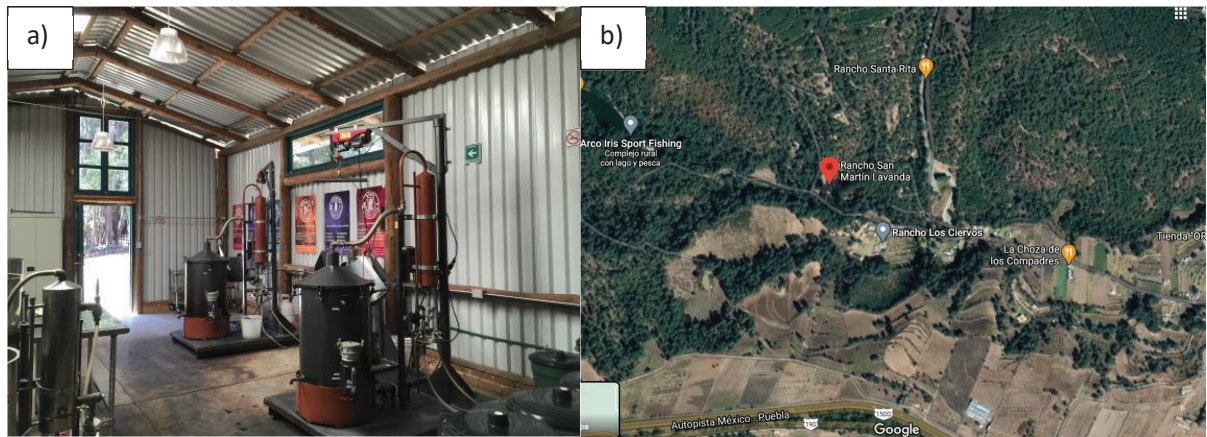


**Figura 15.** Tratamiento de convección térmica.

#### 8.4 Arrastre por vapor (Alambique de cobre)

En la destilación al vapor intervienen dos líquidos: el agua y la sustancia a destilar. Estos líquidos generalmente no son miscibles en todas las proporciones. En el caso extremo, es decir, si los dos líquidos son totalmente insolubles entre sí, la presión de vapor de cada uno de ellos no se vería afectada por la presencia del otro. A la temperatura de ebullición de una mezcla de este tipo, la suma de las tensiones de vapor de los dos compuestos debe ser igual a la altura barométrica.

Para el proceso de extracción por arrastre por vapor se utilizó un alambique de cobre, ubicado en el rancho San Martín (Figura 16a) con dirección: carretera Federal México-Puebla km 53.75, Santa Rita Tlahuapan, 74150 Puebla, Pue (Figura 16b).



**Figura 16.** Ubicación, a) rancho San Martín, b) dirección.

El equipo utilizado tiene una capacidad de 10 kg de muestra, consta de tres partes principales, barril (Figura 17a): es un cilindro con sensores de temperatura, nivel de agua, presión, válvula de alivio, pinzas de presión y una tapa cónica conectada a un tupo que dirige el vapor al refrigerante. En la parte interior del barril se ubica una maya cilíndrica con poros de un centímetro de diámetro donde se coloca la muestra. Se colocó un kilogramo de muestra con 5 litros de solvente, agua, (Figura 17b). Antes de encender la fuente externa de calor, se agregó agua fría al refrigerante (Figura 17c) dentro del refrigerante se encuentra un serpentín de cobre, el cual está conectado a la tapa cónica del barril, los vapores comienzan a condensarse al entrar en contacto con el serpentín del condensador, en la parte inferior del serpentín se encuentra un adaptador tipo “T” invertida el cual tiene función de no generar

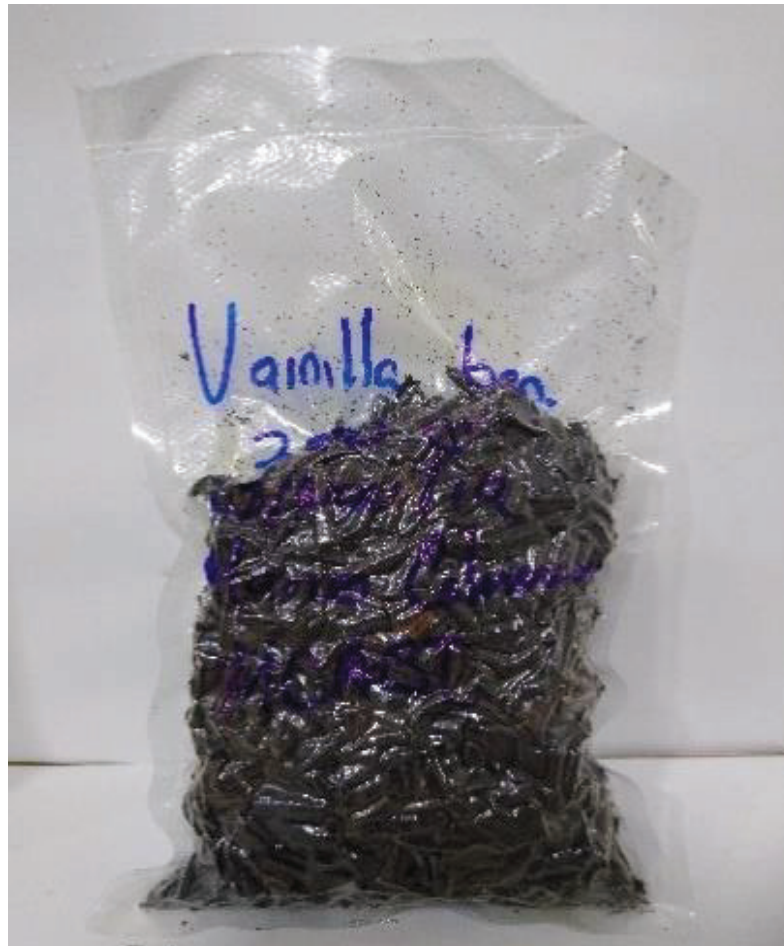
presión en el sistema. Otra pieza fundamental del alambique de cobre es el separador de fases (Figura 17d), el cual se coloca en la parte inferior del conector tipo “T”, cuando comienza a circular el hidrolato dentro del separador de fases es necesario tener un frasco de cristal, preferentemente ámbar, sobre el platillo en el cual se depositará el aceite esencial, mientras que, la otra parte de solución es ubicada en otro frasco. Posteriormente se procedió a encender la fuente externa de calor, monitoreando la temperatura, la presión y la cantidad de solvente durante 150 minutos a 85 °C



**Figura 17.** Estructura del alambique de cobre. a) barril, b) maya cilíndrica, c) refrigerante, d) separador de fases.

## 8.5 Materia prima

Se utilizaron residuos de vainas de vainilla de la región de la Chinantla, Oaxaca, de dicho lugar se obtuvieron 10 kg de producto sin valor comercial y ya procesadas, se colocaron en un recipiente con tapa, además de ser separadas por papel grado alimenticio, se utilizaron tijeras desinfectadas para cortar las vainas de vainilla a un tamaño de partícula de 1 cm de largo aproximadamente, el siguiente paso fue almacenar por tantos de 500 gramos en bolsas de vacío tipo conservación para evitar el contacto con el ambiente (Figura 18), por último, las bolsas fueron rotuladas con el peso (g), el día de embalaje y la persona que manipuló. A la muestra se le realizarán pruebas de color, vainillina, azúcares reductores, compuestos fenólicos mediante extracción por maceración, alambique y extracción asistida por microondas.



**Figura 18.** Vainas de vainilla almacenadas.

## 8.6 Color (prueba visual)

Se analizó el color de manera visual en primera instancia. Utilizando una caja de cartón de 45 de largo, 20 de ancho y 10 de altura, la cual fue forrada de blanco (Figura 19a), este equipo permitió visualizar el color, con una cámara de 16 megapíxeles (Figura 19b) se procedió a capturar las fotos de cada una de las muestras, se tuvo en cuenta la luz emitida por un foco de 20 watts y la inclinación de la cámara, las muestras fueron colocadas en recipientes de plástico transparente de una capacidad de 50 mL para el solvente tratado (Figura 19c), en el caso del solvente recuperado se utilizaron frascos de cristal de 20 mL (Figura 19d)

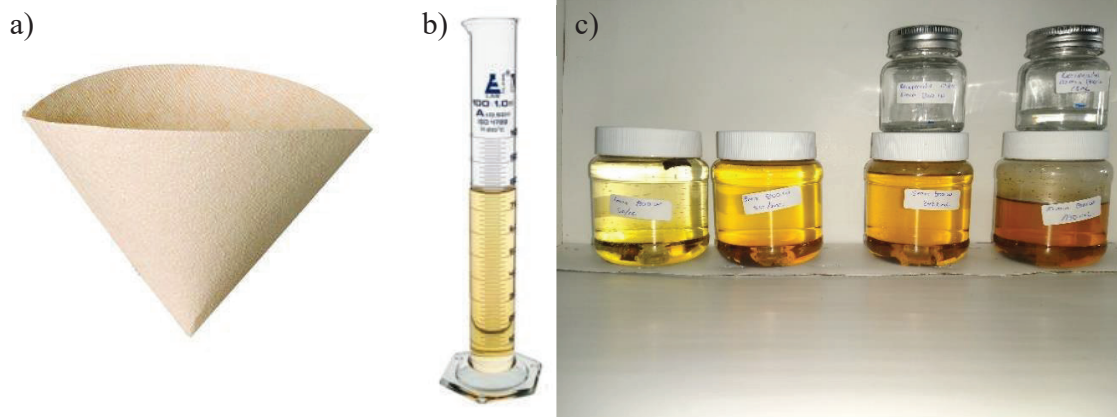


**Figura 19.** Equipo utilizado para la visualización de color, a) caja de cartón, b) cámara, c) frasco de plástico con tapa blanca, d) frasco de cristal.

## 8.7 Eficiencia volumétrica de la extracción por microondas

El equipo diseñado de extracción por ondas electromagnéticas nos permite obtener dos tipos de solución, uno de ellos, es conocido como solvente tratado, el cual consta de nuestro solvente utilizado y la muestra, del cual obtendremos extractos y metabolitos de interés, el otro, se le conoce como solvente recuperado, el cual nos permite reutilizar nuestro solvente en futuras pruebas, es indispensable conocer la eficiencia volumétrica, ya que nos permite determinar si existen fugas o no en nuestro equipo.

Cada muestra obtenida en la extracción por microondas fue filtrada con papel 350 micras (Figura 20a), después con una probeta de 250 mL (Figura 20b) se midió el solvente recuperado y el solvente tratado, fueron depositados en frascos de 250 y 50 mL para ser rotuladas y almacenadas (Figura 20c).



**Figura 20.** Eficiencia volumétrica, a) filtro, b) probeta 250 mL, c) muestras almacenadas.

## 8.8 Vainillina

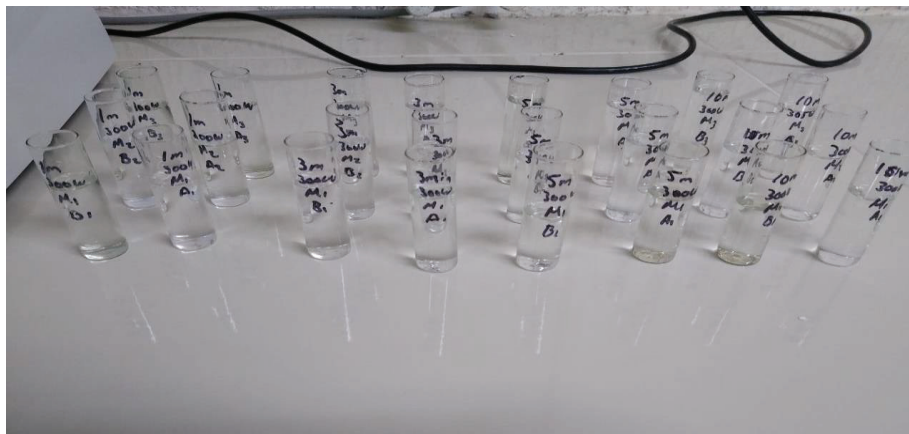
La vainillina es un aldehído fenólico que es el componente primario del extracto natural de la vaina de vainilla. Por lo que, al ser leído en un espectrofotómetro a 348 nm no es detectado por el haz de luz, para que la vainillina sea detectada, es necesario utilizar una solución de hidróxido de sodio, ya que, al ser mezclados crean una molécula cromófora formando así, vainillita de sodio, para cada estándar se necesitó utilizar un blanco, el cual es la concentración de vainillina sin el hidróxido de sodio.

La espectrofotometría consiste en la medida de absorción, de las diferentes sustancias, por una radiación electromagnética de longitudes de onda situadas en una banda definida y estrecha, esencialmente monocromática. Las bandas espectrales se extienden desde las longitudes de onda de la zona ultravioleta hasta la zona visible del espectro.

Se siguió la metodología establecida AOAC 966.12 para la curva de calibración se disolvió 0.1 g de vainillina en 5 mL de etanol absoluto aforado en un matraz de 100 mL se transfirió a matraces aforados de 50 mL de 0.6, 1.2, 1.8, 2.4 y 3 mL se tomó una alícuota de 5 mL de cada solución y aforó a 50 mL a una de estas muestras se llevó aforó con agua (N) y a la otra se le añadió dos mL de NaOH 0.1 N (A), se midió la absorbancia teniendo en cuenta la muestra N como blanco a 348 nm utilizando celdas de cuarzo.

Para la muestra se tomaron 5 mL de la muestra o muestra diluida a un matraz volumétrico de 50 mL diluyendo hasta aforo con agua, se pipeteo 1 mL de la solución anterior a dos matraces

de 50 mL una de ellas se le agrega 2 mL NaOH (A) aforando con agua y la otra se afora solo con agua (B), se midió la absorbancia a 348 nm con un espectrofotómetro (Figura 21).



**Figura 21.** Análisis de vainillina mediante espectrofotometría.

### 8.9 Absorbancia colorimétrica

Esta técnica proporciona información cualitativa y cuantitativa sobre sustancias en solución. El colorímetro es un instrumento diseñado para dirigir un haz de luz monocromática paralela a través de una muestra líquida y medir la intensidad del haz de luz emergente. La fracción de luz incidente absorbida por una solución a una longitud de onda está relacionada con el paso óptico y con la concentración de la especie absorbente. Estas dos relaciones están combinadas en la ley de Lambert-Beer (Ecuación 1):

Ecuación 1: 
$$\text{Log } I_0 / I = \epsilon c l$$

En donde  $I_0$  e  $I$  son las intensidades de la luz incidente y emergente respectivamente,  $l$  el paso óptico de la muestra absorbente (cm),  $c$  la concentración de la especie absorbente (moles/litro) y  $\epsilon$  el coeficiente de absorción molar ( $M^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ). La expresión  $\text{log } I_0 / I$  se denomina absorbancia y se designa por  $A$  (siendo adimensional). Fijando el paso óptico (habitualmente 1 cm), resulta que la absorbancia  $A$  es directamente proporcional a la concentración del soluto absorbente. El coeficiente de absorción molar varía con la naturaleza del compuesto absorbente, el disolvente, la longitud de onda y también con el pH.

Se utilizó un espectrofotómetro Thermo Scientific para realizar el análisis colorimétrico, es necesario encender el equipo por unos 10 minutos en lo que se calibra. Después se seleccionó el modo absorbancia y barrido (GENESYS 10S UV-Vis v4.006 2L5T230201) en el cual

ajustamos la escala de la longitud deseada (250 – 400 nm), el posicionador de muestras se ajustó (Aut. 6) con una velocidad de barrido medio y un intervalo de 5.0 nm, los datos se almacenaban en una memoria de 8 Gb. Utilizando celdas de cuarzo fueron colocadas cada una de las muestras, y los resultados fueron colocados en una hoja de Excel (Figura 22).

	A	B	C	D	E	F
1	AJUSTE PARAMETROS			L. de onda	Abs	
2	GENESYS 10S UV-Vis v4.006 2L5T230201			250	0.19	
3	Barrido	12:23pm 21Ago20		255	0.178	
4	Nombre An lisis	COLOR		260	0.208	
5	Modo de mediciçn	Absorbancia		265	0.184	
6	L.O. de inicio	250.0nm		270	0.198	
7	L.O. final	400.0nm		275	0.203	
8	Posicionador de Muestras	Aut. 6		280	0.22	
9	Velocidad de Barrido	Medio		285	0.303	
10	Intervalo	5.0nm		290	0.424	
11	Correcciçn de Celdas	Apag.		295	0.399	
12	#ID (0=OFF)		1	300	0.377	
13	Impr aut	Apag.		305	0.356	
14	Auto Almacenamiento	Encen		310	0.333	
15	Nombre archivo de datos	CO		315	0.315	
16	#ID		3	320	0.299	
17				325	0.283	
18				330	0.267	
19				335	0.251	
20				340	0.232	
21				345	0.213	
22				350	0.195	
23				355	0.178	
24				360	0.164	
25				365	0.151	
26				370	0.139	

Figura 22. Datos obtenidos del barrido de absorbancia.

Se graficaron los datos obtenidos utilizando el programa OriginPro 2016, obteniendo así 34 graficas, las cuales fueron comparadas entre sí (Figura 23).

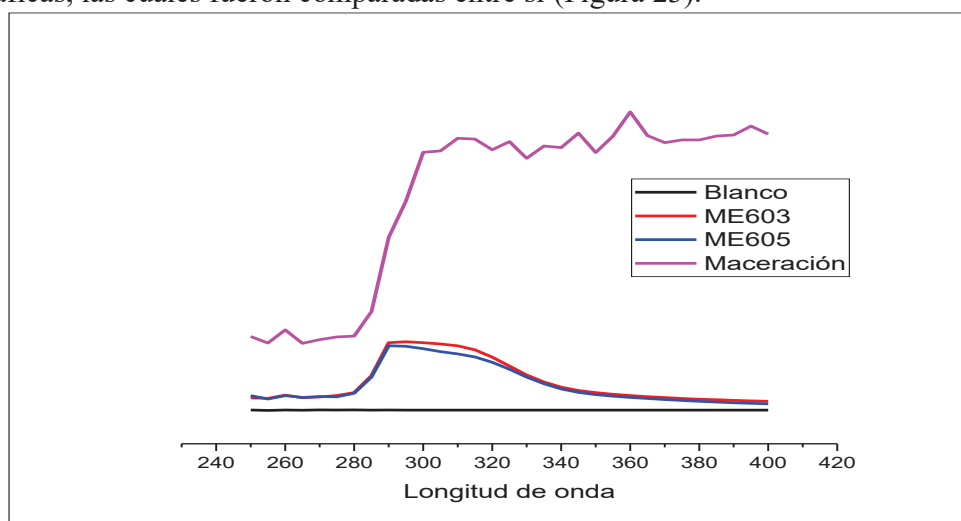
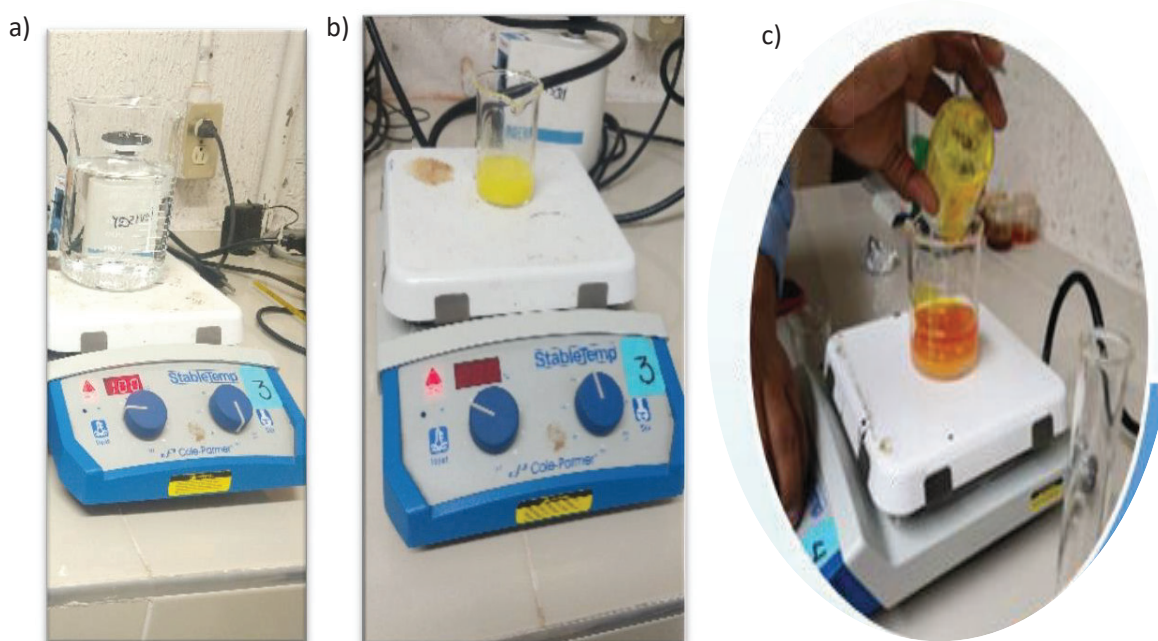


Figura 23. Graficas obtenidas con el programa OriginPro 2016.



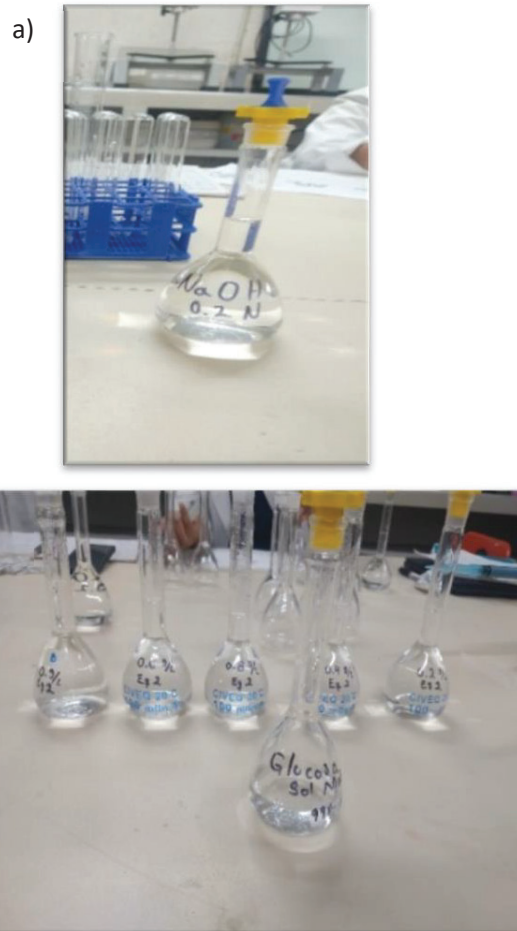
### 8.10 Azúcares Reductores

Se utilizó el método DNS (dinitrosalicílico) ya que determina la presencia de grupos carbónicos libres ( $C=O$ ) de los azúcares reductores. El procedimiento se basa en una reacción redox, que ocurre en la utilización de ácido 3,5 dinitrosalicílico para provocar la oxidación de los azúcares y al mismo tiempo su propia reducción endotérmica. Un mol de azúcar reacciona con un mol de ácido 3,5 dinitrosalicílico, dando lugar a una reacción estequiométrica que permite conocer la cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra. Su principal ventaja radica en su alta intensidad y productividad debido a que es un método espectrofotométrico. Para preparar el reactivo DNS se pesaron 1.6 gramos de NaOH (Figura 24a) los cuales se ponen en agitación con una solución de 10 mL agua destilada, en otro vaso precipitado, se coloca un gramo de DNS y se disuelve en 20 mL agua destilada utilizando un agitador magnético y una parrilla magnética (Figura 24b), una vez disueltas ambas muestras se mezclan, mientras que en otro vaso precipitado se preparan 30 gramos de tartrato y se agregan a la mezcla anterior, dejando en agitación y aplicando calor hasta que la muestra tome un color naranja, y aforar a 100 mL (Figura 24c).



**Figura 24.** Preparación de DNS. a) solución de NaOH, b) Solución DNS, c) Solución Tartrato.

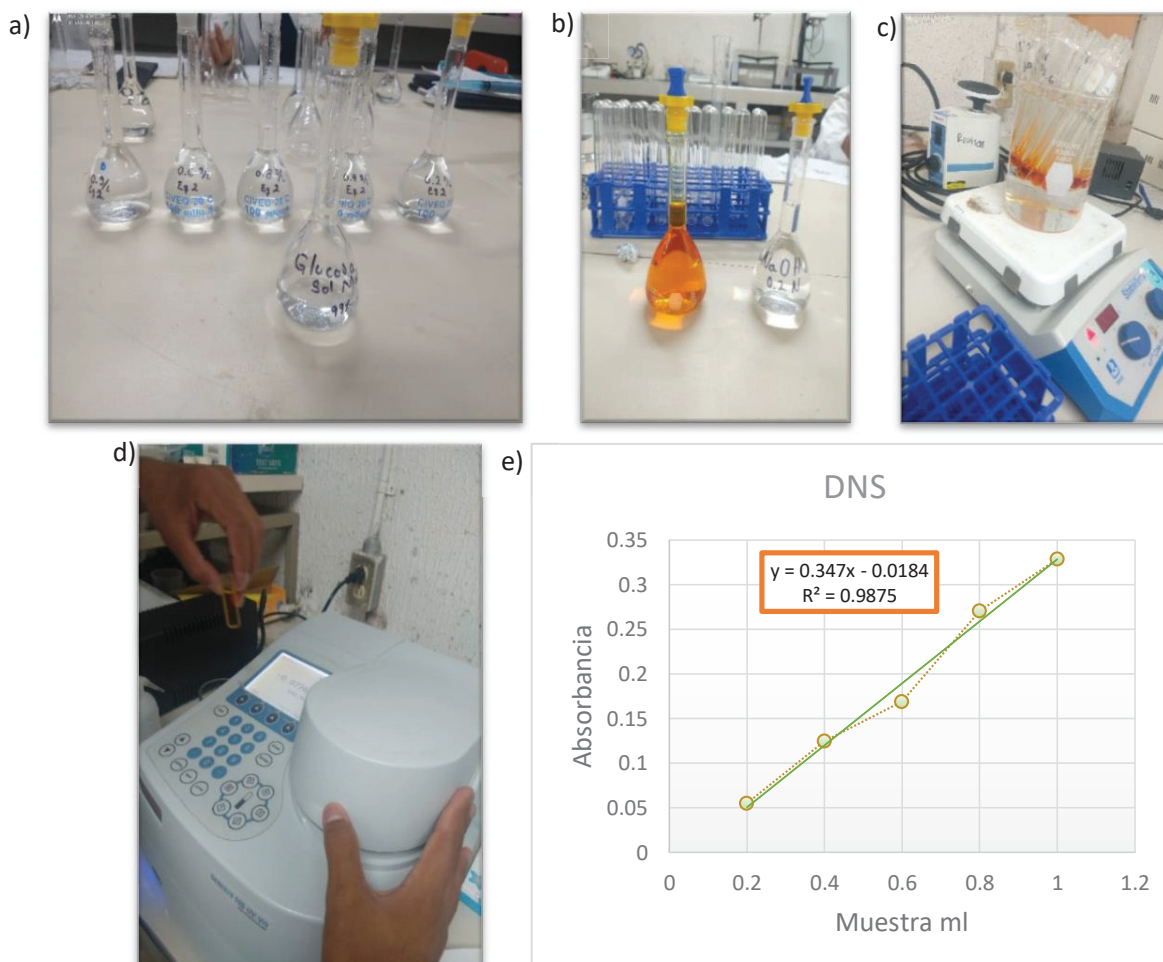
Se preparó una solución de NaOH 0.2 N. en la cual se utilizaron 0.8 gramos de NaOH y se aforó a 100 ml (Figura 25a), para la curva estándar se preparó una solución madre agregando 0.5 gramos de glucosa en matras aforado de 100 ml (Figura 25b).



**Figura 25.** Preparación de soluciones, a) NaOH a 0.2 N. b) solución madre de glucosa.

Para la curva estándar se realizó un set de soluciones (0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1g/l) las cuales fueron tomadas de la solución madre y aforadas en matraces de 100 ml (Figura 26a) mientras que, para preparar las muestras, se utilizó 0.5 mL de la muestra a la cual se le agregó 0.5 ml de NaOH y un mL de reactivo DNS (Figura 26b), las muestras fueron colocadas en tubos de 13\*100 mm para colocarlos en una cámara de convección térmica por cinco minutos (Figura 26c), para después adicionar cinco mL de agua destilada fría, con apoyo de un espectrofotómetro marca Thermo Scientific se midió la absorbancia a 540 nm, donde el

blanco es la solución de 0 g/l (Figura 26d). teniendo así, una curva de calibración con una  $R^2$  de 0.9875 (Figura 26e).

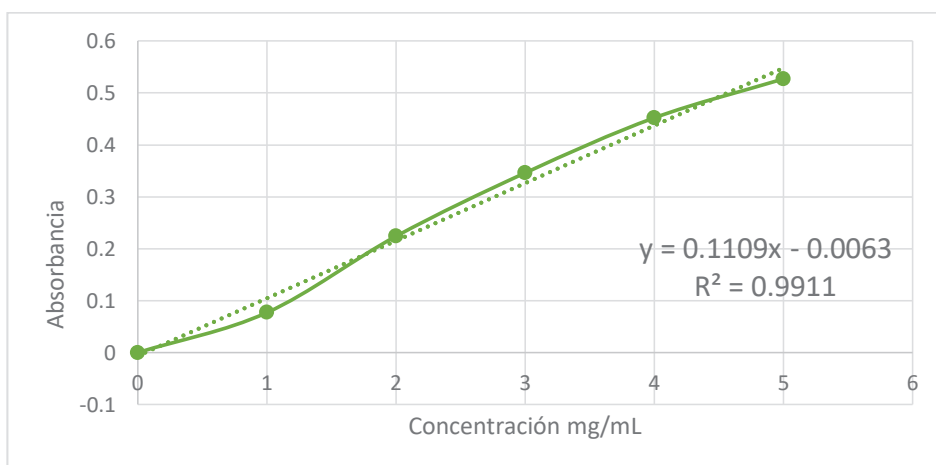


**Figura 26.** Determinación de azúcares reductores. a) solución madre, b) preparación de muestra, c) convección térmica, d) lectura en espectrofotómetro, e) curva estándar.

### 8.11 Compuestos fenólicos

Se utilizó el método colorimétrico Folin-Ciocalteu, del cual se realizó una curva estándar utilizando ácido gálico al 0.1 g/L, las concentraciones se trabajaron con el carbonato de sodio como catalizador y el reactivo Folin-Ciocalteu como colorante e inhibidor de la oxidación del reactivo; teniendo en cuenta una lectura de la absorbancia de las muestras de 765 nm. Se tomaron alícuotas de 0, 20, 40, 60, 80 y 100  $\mu$ L de ácido gálico depositadas en tubos de ensayo, a cada tubo se le añadió 250  $\mu$ L del reactivo de Folin y 1250  $\mu$ L de carbonato de sodio añadiendo agua destilada hasta alcanzar un volumen de 2000  $\mu$ L en cada tubo.

La medición de la absorbancia se realizó en un espectrofotómetro a 760 nm. Obteniendo la curva de calibración con una  $R^2$  de 0.991 y una ecuación de la recta de  $y = 0.1109x - 0.0063$  (Figura 27).



**Figura 27.** Curva estándar de compuestos fenólicos.

Para la determinación de compuestos fenólicos presentes en los extractos de vainilla, se utilizó un mL de etanol al 35%, al cual se le añadió 0.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 1.5 mL de carbonato al 20%, a un mL de extracto, se le añadió 0.5 mL de Folin-Ciocalteu, 1.5 mL de carbonato al 20% y se aforó a 12.5 mL con agua destilada para homogenizar (Figura 28), se dejó reposar por una hora y se procedió a tomar lectura de las absorbancias a 765 nm.



**Figura 28.** Determinación de compuestos fenólicos en extracto de vainilla.

## 9 Resultados

### 9.1 Ensamblado

Esta invención se refiere a un equipo y aun procedimiento mejorado para la extracción de compuestos naturales usando las cargas electromagnéticas del microondas. En la construcción de este equipo se consideraron características y objetivos propuesto, se eligió un microondas HAMILTON BEACH, el cual requiere una fuente de energía de 120 V, 60 Hz, un consumo de energía de 1130 W, una salida máxima de 700 W, y capacidad de 0.7 pies cúbicos (Figura 8).

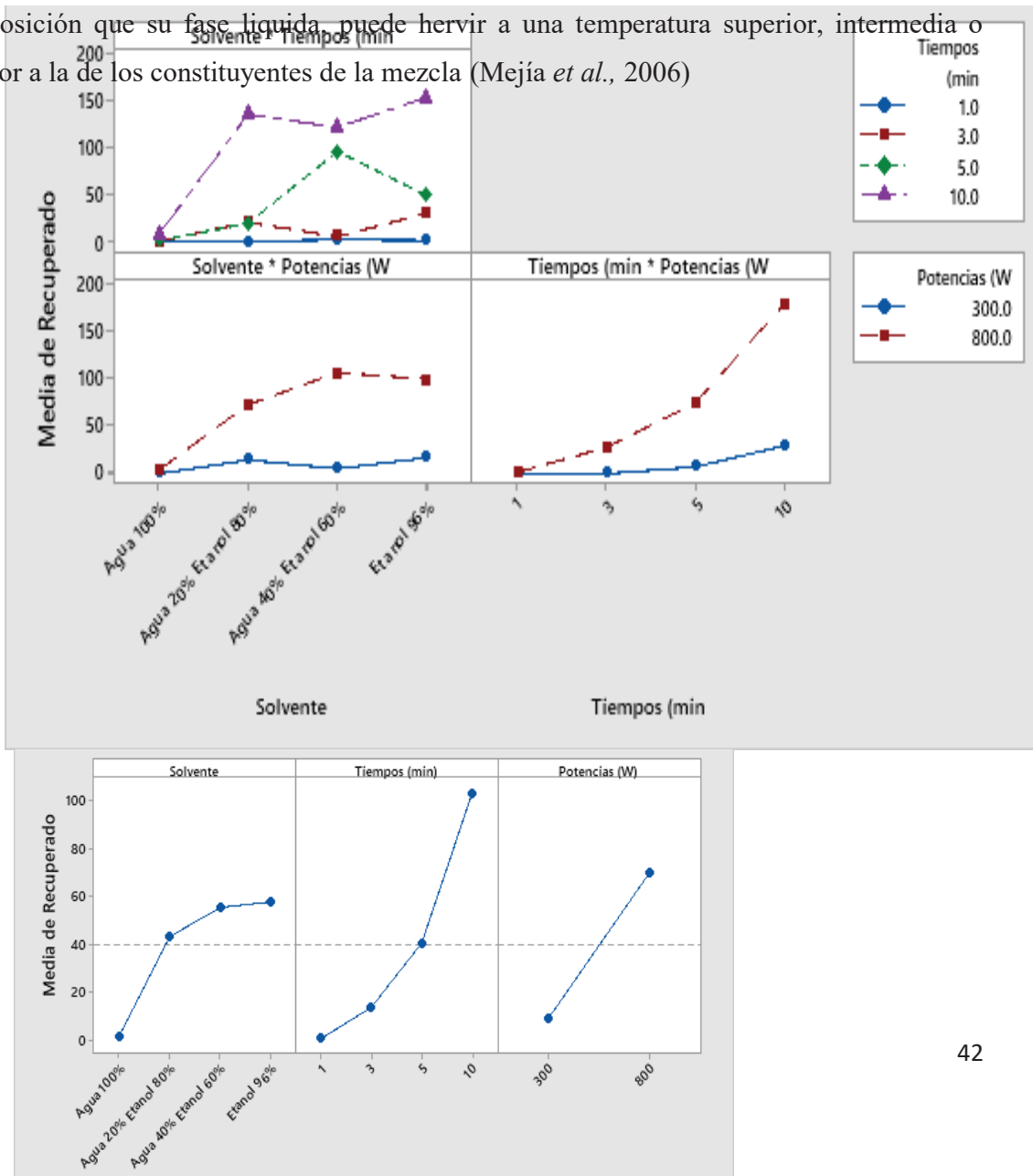


**Figura 29.** Equipo final para extracción por microondas.

**9.1.1 Operatividad**  
El equipo fue sometido a una prueba de fuga utilizando agua por 10 minutos a 1000 watts de potencia, transcurrido el tiempo el equipo no presento fugas en el material de cristal, dentro del microondas y entre las capas externa e interna del microondas, por lo tanto, el solvente recuperado fueron 240 mL, más del 95% del solvente utilizado. El registro de temperatura alcanzo los 100°C (punto de ebullición del agua) debido al principio de las microondas donde los movimientos provocan fricciones que generan calor en el interior del material.

### 9.1.2 Eficiencia de extracción y recuperación de solvente

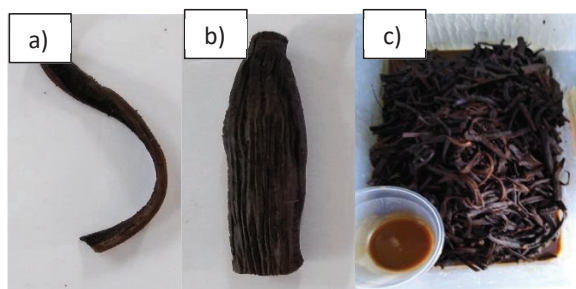
La figura 9a muestra que la mayor obtención de recuperado se da a los 10 minutos con potencia de 800 watts en solventes utilizando etanol al 60% (8.4 a 88%), etanol 80% (3.6 a 96%) y etanol 96% (0.72 a 95.2%), esto se debe a que el punto de ebullición es a 78°C, el equipo alcanzaba esta temperatura entre los tiempos 3, 5 y 10 a los 800 watts (Figura 9b), el agua fue el que menos recuperado presentó debido a que el punto de ebullición era a 100°C, la razón por la cual los solventes con etanol al 80% y etanol al 60% pudiesen hervir aun cuando en su composición existió la presencia de agua es porque se trata de una mezcla azeotrópica es decir que hierve a temperatura constante y se comporta como si estuviese formada por un solo componente, por lo que al hervir su fase de vapor tendrá la misma composición que su fase líquida, puede hervir a una temperatura superior, intermedia o inferior a la de los constituyentes de la mezcla (Mejía *et al.*, 2006)



**Figura 30.** a) análisis comparativo para la interacción tiempo y potencia, b) efectos principales para recuperado.

## 9.2 Explosión por vapor

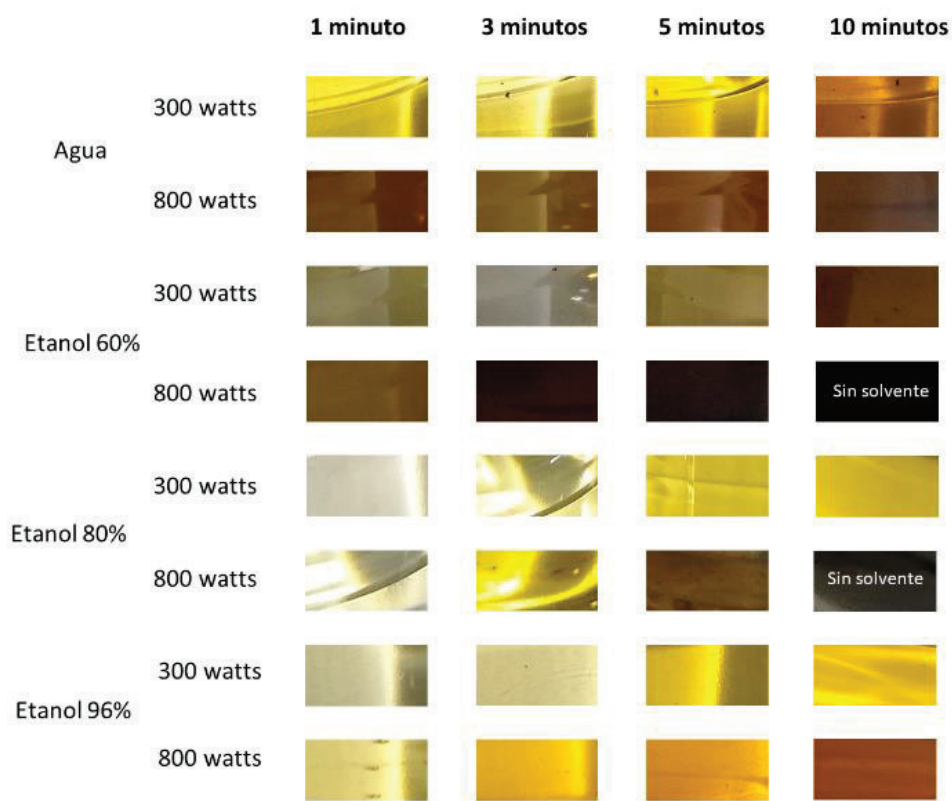
En la figura 9 se muestra el poder de hinchamiento por parte del equipo, sin explosión por vapor el diámetro aproximado de las vainas de vainilla es de 2.5 mm (Figura 10a), la explosión de vapor es un fluido supercrítico el cual es similar al del líquido y su viscosidad es similar a la del gas (Esquivel F. & Vargas, 2007) esto permite penetrar la pared de la célula sin necesidad de lisarla, al despresurizar el equipo la muestra se expande aumentando su tamaño (10 mm) (Figura 10) al igual que el peso, de 500 gramos se obtuvo 950 gr/mL y 350 mL de lixiviado (Figura 10c).



**Figura 31.** Poder de hinchamiento utilizando explosión por vapor, a) vaina sin explotar, b) vaina explota, c) muestra recuperada .

## 9.3 Color

En la figura 11 se muestran los resultados obtenidos de la gama de colores presentes en las muestras, se observa que a mayor exposición de microondas estas presentan un color más oscuro, algunas de las muestras no fueron analizadas ya que no contaban con solvente (etanol a 800 watts por 10 minutos y etanol a 800 watts por 10 minutos). El extracto presentó distintas tonalidades de color amarillo y aromas ligeramente a dulce, debido a que la vainillina es un compuesto de coloración ligeramente amarillo volátil, con olor dulce y carácter cremoso, se encuentra en las vainas como un glucósido, el aroma solo es liberado después del curado, en el cual el glucósido de la vainilla (glucovainillina) es hidrolizado enzimáticamente por la  $\beta$ -glucosidasa, liberando a la glucosa y a su aglicona la vainillina (Cid-Pérez & Lopez-Malo, 2011), las muestras de etanol 60 y 96% a 300 watts por 1 y 3 minutos no presentaron esta tonalidad, al igual que etanol al 80% utilizando la misma potencia a 1 minuto y 800 watts.

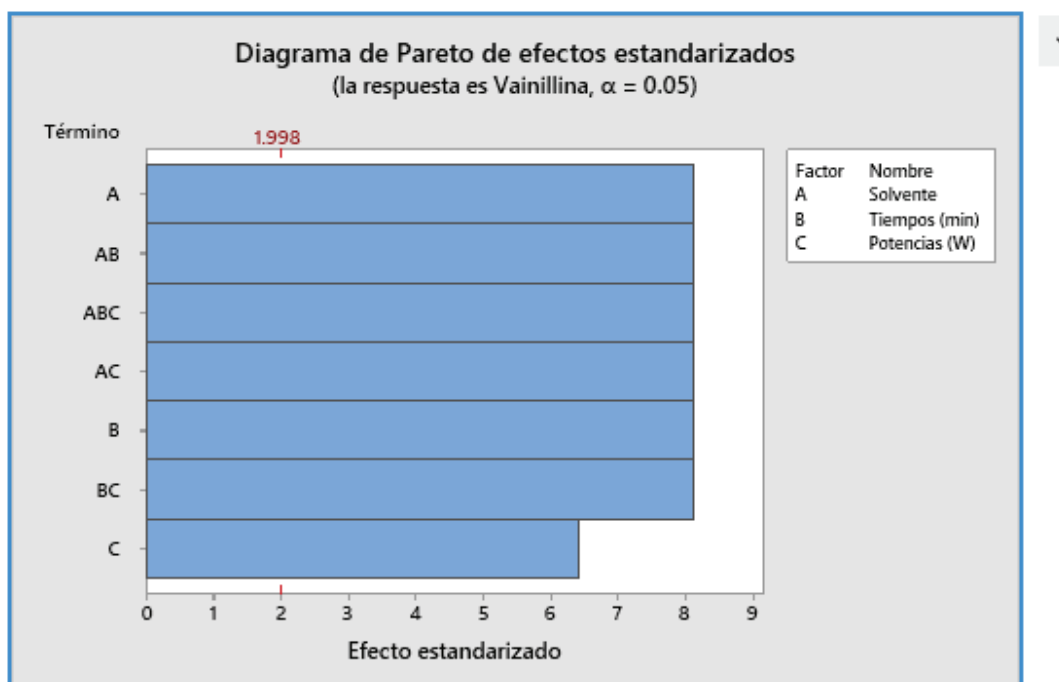


**Figura 32.** Extractos obtenidos a distintas potencias y tiempos con cuatro tipos de solventes

#### 9.4 Vainillina

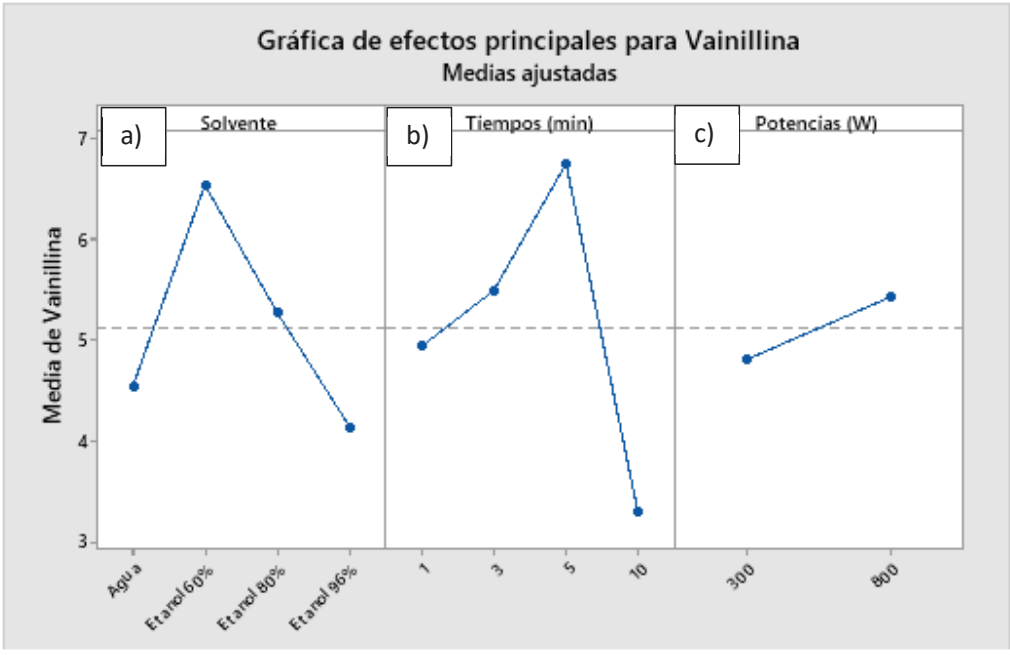
La figura 12 muestra que el componente principal para la extracción de vainillina fue el solvente, La vainillina es un compuesto polifuncional con un anillo aromático unido a un grupo aldehído, -OH fenólico, y un grupo metoxi (García *et al.*, 2016), por tal motivo la extracción con un solvente adecuado es de mayor importancia, la vainillina es un compuesto soluble en soluciones no polares, la composición química de los compuestos a extraer depende de la cantidad y posición de sus grupos hidroxilo, del tamaño molecular, así como los factores de concentración del solvente, temperatura, tiempo de contacto entre otros (Soto-García & Rosales-Castro, 2016). La potencia al igual que las demás variables puedes modificarse a tal modo que sean el componente principal para la extracción de vainillina





**Figura 33.** Componentes principales para la extracción por microondas y su interacción

La muestra con etanol al 60% presentó la mayor cantidad de vainillina obtenida (Figura 13a), el gran exceso de volumen negativo observado para los sistemas de alcoholes monohidroxílicos acuosos no se debe a los efectos hidrofóbicos, si no principalmente a factores geométricos (Sakurai *et al.*, 1994), Los patrones geométricos más estables corresponden a aquellos con un mayor número de puentes de hidrógeno primarios (O-H-O) y con una disposición cíclica de estos, donde todas las moléculas se comportan comoceptoras y dadoras de protón al mismo tiempo en los puentes de hidrógeno primarios (Mejía *et al.*, 2010), una concentración mayor de etanol (80 y 96%) presentan un volumen negativo en base a la carga electromagnética en la solución agua-etanol, por consiguiente la estructura geométrica de dicha estructura no es beneficiosa para el arrastre de compuestos fenólicos (vainillina). Mientras que la mayor obtención de vainillina se dio a los 5 minutos (Figura 13b) a una potencia de 800 watts (Figura 13b).



## 6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Etapa	Actividad	Semanas																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
<b>Periodo I (Asignatura asociada: Seminario I)</b>																		
Preliminares	Introducción e Inducción	X	X	X	X	X	X											
Definición del tema de tesis	Asignación de tema de tesis y Director de Tesis							X	X									
	Formulación del protocolo de trabajo							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Definición del protocolo	Revisión del estado del arte							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Entrega del protocolo de trabajo												X	X	X	X	X	
Redacción	Elaboración del marco teórico							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>PERIODO II (ASIGNATURA ASOCIADA: SEMINARIO II)</b>																		
Validación	Verificación de hipótesis de referencia	X	X	X	X													
Redacción	Culminación del marco teórico				X	X	X											
Propuesta	Formulación de la propuesta de solución							X	X	X	X							
Validación	Verificación de la propuesta de solución										X	X	X	X				
Redacción	Elaboración del avance											X	X	X				
Avance	Entrega y presentación del avance (Tutorial)						X	X	X						X	X	X	
<b>PERIODO III (ASIGNATURA ASOCIADA: SEMINARIO III)</b>																		
Etapa de continuidad	Ensamblado y operatividad del equipo	X	X	X	X													
	Obtención de extractos de moringa y vainilla				X	X	X	X										
	Caracterización estructural y fisicoquímica de los extractos							X	X	X	X							
	Comparación de procesos con método convencional y ultrasónico										X	X	X	X				
	Delimitar las características de los extractos y posible uso en el área de alimentos														X	X	X	X
	Estancia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>PERIODO IV (ASIGNATURA ASOCIADA: TESIS)</b>																		
Etapa de culminación, entrega final y presentación	Presentación de congreso	X	X	X	X													
	Redacción de producto científico				X	X	X	X										
	Redacción de tesis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
	Tesis culminada											X	X	X				
	Tesis presentada															X	X	X

## 7. Bibliografía

- Cooper, N. (2009). Microwave ovens. Development of Packaging and Products for Use in Microwave Ovens. Woodhead Publishing, New York, pp. 105–128.
- Chizoba Ekezie, F.-G., Sun, D.-W., Han, Z., & Cheng, J.-H., 2017. Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. Trends in Rev. Food Sci. Technol., 67, 58–69.
- Luan, D., Wang, Y., Tang, J., & Jain, D., 2016. Frequency Distribution in Domestic Microwave Ovens and Its Influence on Heating Pattern. J. Food Sci. 00, 1-18.
- Liu S, Ogiwara, Y., Fukuoka, M., & Sakai, N, 2014. Investigation and modeling of temperature changes in food heated in a flatbed microwave oven. J. Food Eng. 131, 142–153.
- Guardeño Ligeró, M. D, 2013. Cocina doméstica. Ed I.C, Antequera.
- Atuonwu, J. C., & Tassou, S. A. 2018, Quality assurance in microwave food processing and the enabling potentials of solid-state power generators: A review. J. Food Eng. 234, 1–15.
- Lidia, D.-A., Delia, M.-H., Nancy, O.-T., & Rosa Isela, G.-G. 2017, Microwave-Assisted Extraction of Phytochemicals and Other Bioactive Compounds. Reference Mod. Food sci, 00, 1-10
- Ohlsson, T., & Bengtsson, N. 2001, Microwave technology and foods. En Adv. in Nutr. Food, 43, 65-140
- Chizoba Ekezie, F. G., Sun, D. W., Han, Z., & Cheng, J. H. 2017, Microwave-assisted food processing technologies for enhancing product quality and process efficiency: A review of recent developments. Food Sci. Tech, 67, 58–69.
- Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H., & Han, Z. 2017, Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. Food Sci. Tech, 67, 236–247.
- Tang, J., Hong, Y. K., Inanoglu, S., & Liu, F. 2018, Microwave pasteurization for ready-to-eat meals. Current Opinion in Food Sci. 23, 133–141.
- Zhang, H. 2017, The History of Microwave Heating, Food Sci. 5, 36-64
- Chemat F, Fabiano A, Anne S.V, Maryline A.A, Tamara V, Eugene V. 2015, Solvent-free extraction of food and natural products TrAC, 71, 157-168.

- Amarni, F., & Kadi, H. 2010, Kinetics study of microwave-assisted solvent extraction of oil from olive cake using hexane. Comparison with the conventional extraction. *Food Sci. Tech*, 11(2), 322–327.
- Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., López-Malo, A., & Palou, E. 2019, Studying microwave assisted extraction of *Laurus nobilis* essential oil: Static and dynamic modeling. *J. Food Eng.*, 247, 1-7
- Ashurst, P. 2012, Applications of natural plant extracts in soft drinks, *Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*, 333-357.
- Morales, G., Jiménez, M., García, O., Mendoza, M. R., & Beristain, C. I. 2014, Effect of natural extracts on the formation of acrylamide in fried potatoes. *LWT*, 58(2), 587–593.
- Carreño-Hidalgo, P.c. 2016, La etnobotánica y su importancia como herramienta para la articulación entre conocimientos ancestrales y científicos. Análisis de los estudios sobre las plantas medicinales usadas por las diferentes comunidades del Valle De Sibundoy, Alto Pumpayo. 44.
- Ramírez, M. I., Vargas, R., Torres, B., Torrescano, G., & Sánchez, A. 2016, La Carne Y Los Productos Cárnicos Frescos. Revisión Plant Leaf Extracts for Preserving the Quality of Fresh Meat and Meat Products. *Rev. De Ciencias Bio. Y Sal*, 155–164.
- Guillén, N., Acín, S., Navarro, M. Á., Carlos Surra, J., Arnal, C., Manuel Lou-Bonafonte, J., ... Osada, J. 2009, Conocimiento de la acción biológica del aceite de oliva virgen extra mediante el uso del ratón carente de la apolipoproteína E. *Revista Esp. Card.* 62(3), 294–304.
- Domínguez, H., Sineiro, J., Núñez, M. J., & Lema, J. M. (1995). Enzymatic treatment of sunflower kernels before oil extraction. *Food Res. Int.* 28(6), 537–545.
- Angiolillo, L., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2015). The extraction of bioactive compounds from food residues using microwaves. *Current Opinion in Food Sci.*, 5, 93–98.
- Héctor, J. F. (1946). Aceite de linaza: su determinación en semilla; su empleo como combustible Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, *Food Sci.* 4, 15-23.
- Lucero, L. C. L. (2010). Caracterización de distintas variedades de linaza (*Linum usitatissimum* L.) mediante la determinación del contenido de materia grasa y perfil lipídico. 1–23. *Food Sci.*

- Gómez Mitjans, D., Pita Bravo, V., & Zumalacárregui de Cárdenas, B. (2016). Caracterización de aceites de las semillas de *Moringa oleífera* a partir de la extracción por diferentes métodos. *Rev. Col. Biot.* 18(2), 106.
- Nutrition Research (Vol. 43). [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(01\)43003-8](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(01)43003-8)
- Peredo, H. A., Palou, E., & Lopez, A. (2009). Aceites esenciales: Métodos de extracción. *Ing. Alm.*, pp. 24–32.
- Altermirmi, A., Lakhssassi, N., Baharlouei, A., Watson, D., & Lightfoot, D. (2017). Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. *Plants Food Sci.*, 6(4), 42.
- Yahya, N. A., Attan, N., & Wahab, R. A. (2018). An overview of cosmeceutically relevant plant extracts and strategies for extraction of plant-based bioactive compounds. *Food Bioprod. Process*, 112, 69–85.
- Azwanida, N. (2015). A Review on the Extraction Methods Use in Medicinal Plants, Principle, Strength and lim. *Med. & Arom. Plants*, 3-8.
- Tatke, P., & Jaiswal, Y. (2011). An overview of microwave assisted extraction and its applications in herbal drug *J. Med. Plant*, 21-31.
- Kalaiselvi, V., Mathammal, R., Vijayakumar, S., & Vaseeharan, B. (2018). Microwave assisted green synthesis of Hydroxyapatite nanorods using *Moringa oleífera* flower extract and its antimicrobial applications. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 6(2), 286–295.
- Longares-Patrón, A., & Cañizares-Macías, M. P. (2006). Focused microwaves-assisted extraction and simultaneous spectrophotometric determination of vanillin and p-hydroxybenzaldehyde from *vanilla fragans*. *Talanta*, 69(4), 882–887.
- Consuelo A.S., (2014) Estudio de las posibles zonas de introducción de la *Moringa oleífera* Lam. En la península Ibérica, islas baleares e islas canarias, Universidad Politécnica de Madrid, 0-168.
- Hernández, I. J. (s. f.). Paquete Tecnológico Vainilla (*Vanilla planifolia Jackson*) Establecimiento y mantenimiento. 0–25.
- Claudia, M., & Gómez, D. (2014). Ecofisiología de la vainilla (*Vanilla planifolia Andrews*).