



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



# **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN EXTRACTOR PROTOTIPO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM).**

**TUTORES ACADÉMICOS:  
Prof. Jaime Hernández  
Prof. Francisco Yáñez**

**Presentado por la Br.:  
Galindo G., Bárbara J.**



# Contenido



- **Planteamiento del Problema**
- **Antecedentes**
- **Objetivos**
- **Marco Referencial**
- **Metodología**
- **Análisis y Discusión de Resultados**
- **Conclusiones**
- **Recomendaciones**



# Planteamiento del problema

- Tecnología innovadora.





# Planteamiento del problema

- Usos de la manteca de cacao.





# Planteamiento del problema



- Carencia de una procedimiento practico y sistemático.





# Planteamiento del problema



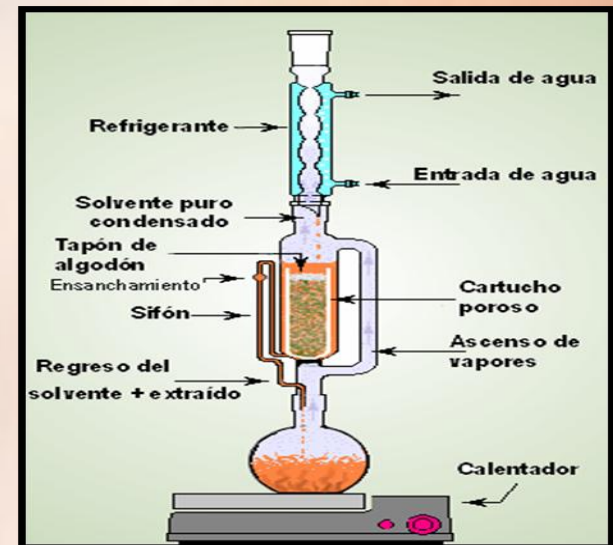
- Mínima recuperación de productos y solventes.



# Antecedentes

**EI Khorri (2007). The microwave-assisted process: extraction and determination of fat from cocoa powder and cocoa nibs.**

En condiciones de operación, 250W por sesenta segundos (60s) se muestra que el contenido de grasa es equivalente a la obtenida por un método convencional en un tiempo mayor.





# Antecedentes

**Bastidas, M. (2008). Extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM) y extracción asistida por ultrasonidos (EAU).**

Comprobaron que la EAU es más eficiente que la de EAM. Además de que la eficiencia de extracción no solo depende de técnica, sino que también depende de la temperatura, el solvente, el tiempo de residencia y la potencia.







# *Objetivo General*

**Diseño, Construcción y Evaluación de un extractor prototipo para la extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM).**



# ***Objetivos Específicos***

- **Realizar pruebas de inocuidad de los diferentes materiales de construcción a condiciones ambientales.**
- **Efectuar pruebas de inocuidad de los diferentes materiales de construcción a condiciones de trabajo.**
- **Realizar modificaciones a un horno microondas convencional para realizar el proceso de extracción.**



# ***Objetivos Específicos***

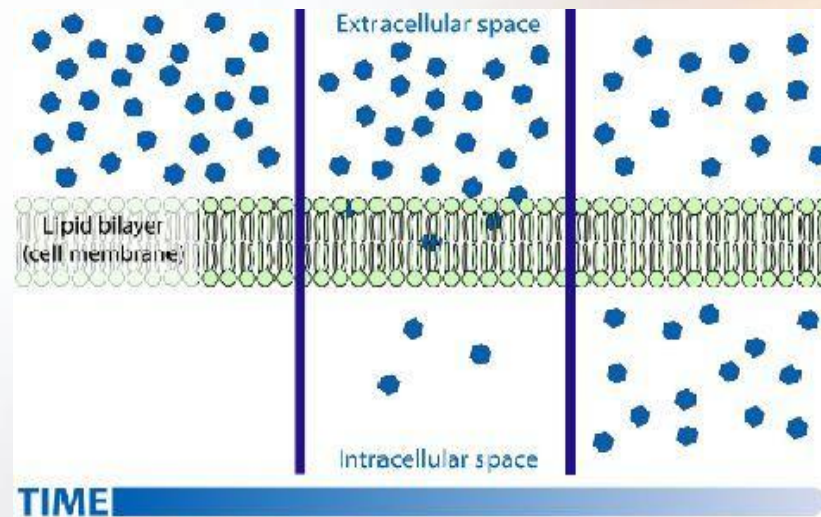
- **Determinar las condiciones límites de operación del extractor.**
- **Diseñar y construir el extractor con el material seleccionado.**
- **Evaluar la eficiencia del extractor mediante pruebas de extracción, utilizando el cacao como matriz vegetal y comparar los resultados obtenidos con extracción por microondas convencional.**



# Marco Referencial

## Extracción

- La extracción se define como la operación unitaria.
- El proceso inicia al poner en contacto la matriz vegetal con el solvente.
- La extracción utiliza como principio de separación la solubilidad de los compuestos implicados en el.





# Marco Referencial

## Extracción







# Marco Referencial

## Extracción Asistida por Microondas

Es una técnica de extracción, donde la muestra se calienta en contacto directo con el solvente por medio de la energía microondas.





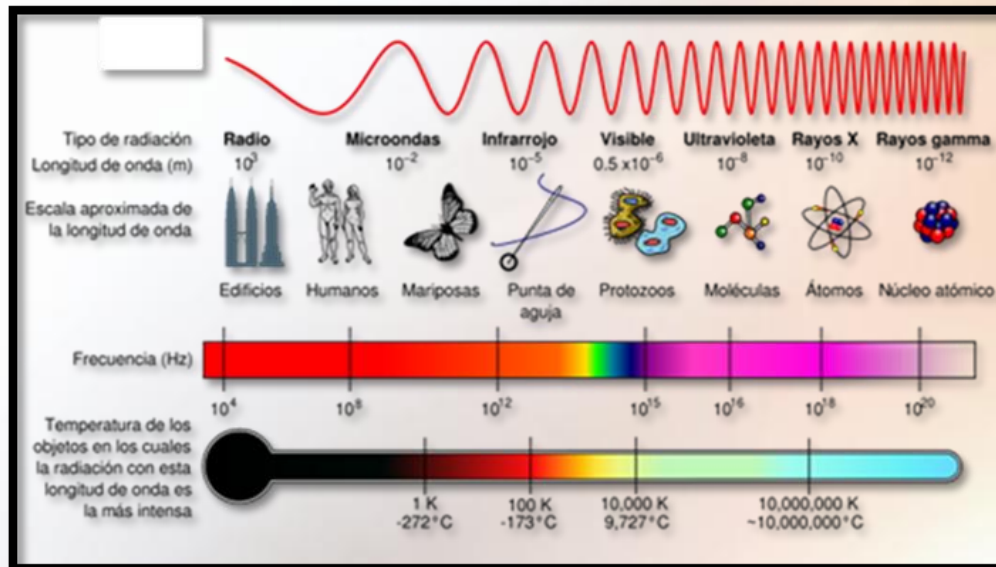
# Marco Referencial

## Microondas

Son ondas de energía electromagnética invisibles y muy cortas que viajan a la velocidad de la luz.

Viajan en línea recta y pueden ser reflejadas, transmitidas o absorbidas a lo largo del camino.

La tecnología microondas utiliza ondas electromagnéticas que pasan a través del material y produce la oscilación de las moléculas, generando calor.

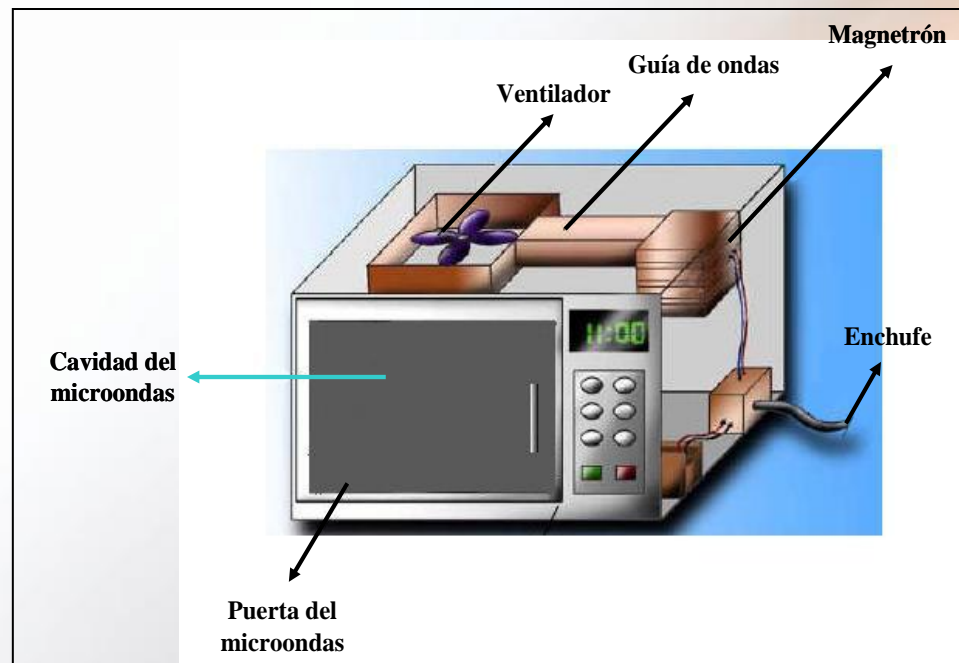




# Marco Referencial

## Equipo Microondas

El corazón del horno microondas es el magnetrón, un oscilador que convierte el pulso de alto voltaje en un pulso de potencia microonda. Las microondas entran en un guía de ondas cuyas paredes reflectoras permiten la transmisión de la radiación desde el magnetrón hasta la cavidad del equipo microondas.





# Marco Referencial

## Extracción Asistida Por Microondas

- Se sumerge el material de extracción en un solvente que sea transparente a la microonda.
- El material luego es irradiado por microondas.
- La eficiencia de la absorción por lo general se relaciona con el contenido de humedad que existe dentro del material.
- Las sustancias que se encuentran localizadas alrededor del sistema químico pueden entonces fluir libremente.



# Marco Referencial

## Extracción Asistida Por Microondas

Las variables que influyen en el proceso de EAM se listan a continuación:

- Los solventes involucrados son relativamente transparentes a las microondas
- La potencia empleada en el microondas es directamente proporcional a la temperatura alcanzada.
- El tiempo de extracción es proporcional a la cantidad de compuesto activo extraído aunque existe el riesgo de que ocurra degradación.
- Los materiales en forma de polvos finos pueden mejorar el proceso de extracción ya que poseen un área superficial mayor.





# Marco Referencial

## Extractor

- Es recipiente a presión diseñado para que en su interior se lleve a cabo una extracción.
- Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los compuestos.
- Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias.
- Permitir condiciones de presión y temperatura, de modo que la extracción se de en forma eficiente.



# Marco Referencial

## Termoplásticos

- Plásticos, materiales polímeros orgánicos (compuestos formados por moléculas orgánicas gigantes), que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado.



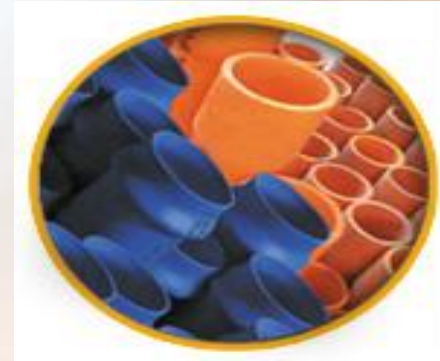
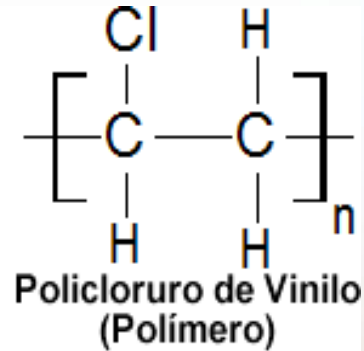
- Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables, después de enfriarse la forma no cambia y arden.



# Marco Referencial

## Policloruro de Vinilo (PVC)

- Es un polímero obtenido de dos materias primas naturales cloruro de sodio o sal común y petróleo o gas natural.



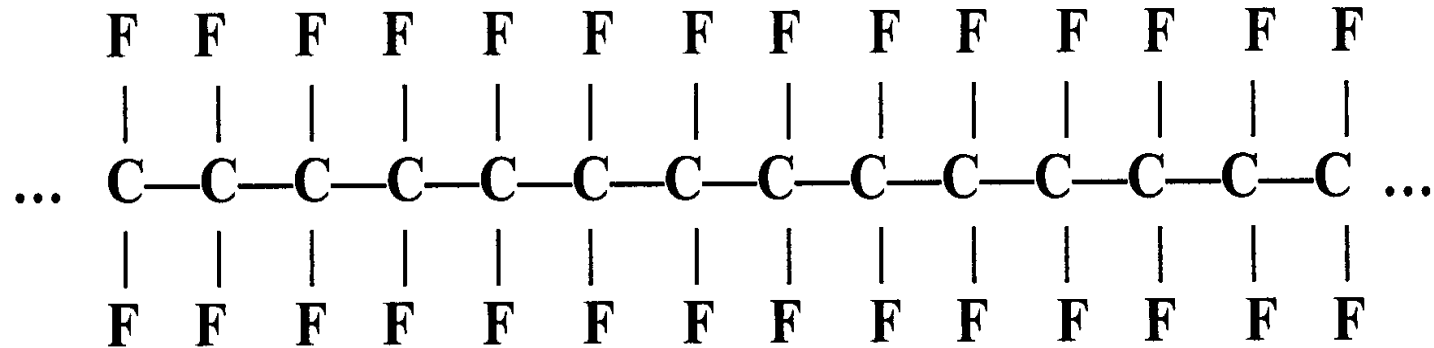
- El PVC se presenta en su forma original como un polvo blanco, amorfo y opaco. Es inodoro, insípido e inócuo, no se degrada, ni se disuelve en agua.



# Marco Referencial

## Teflón

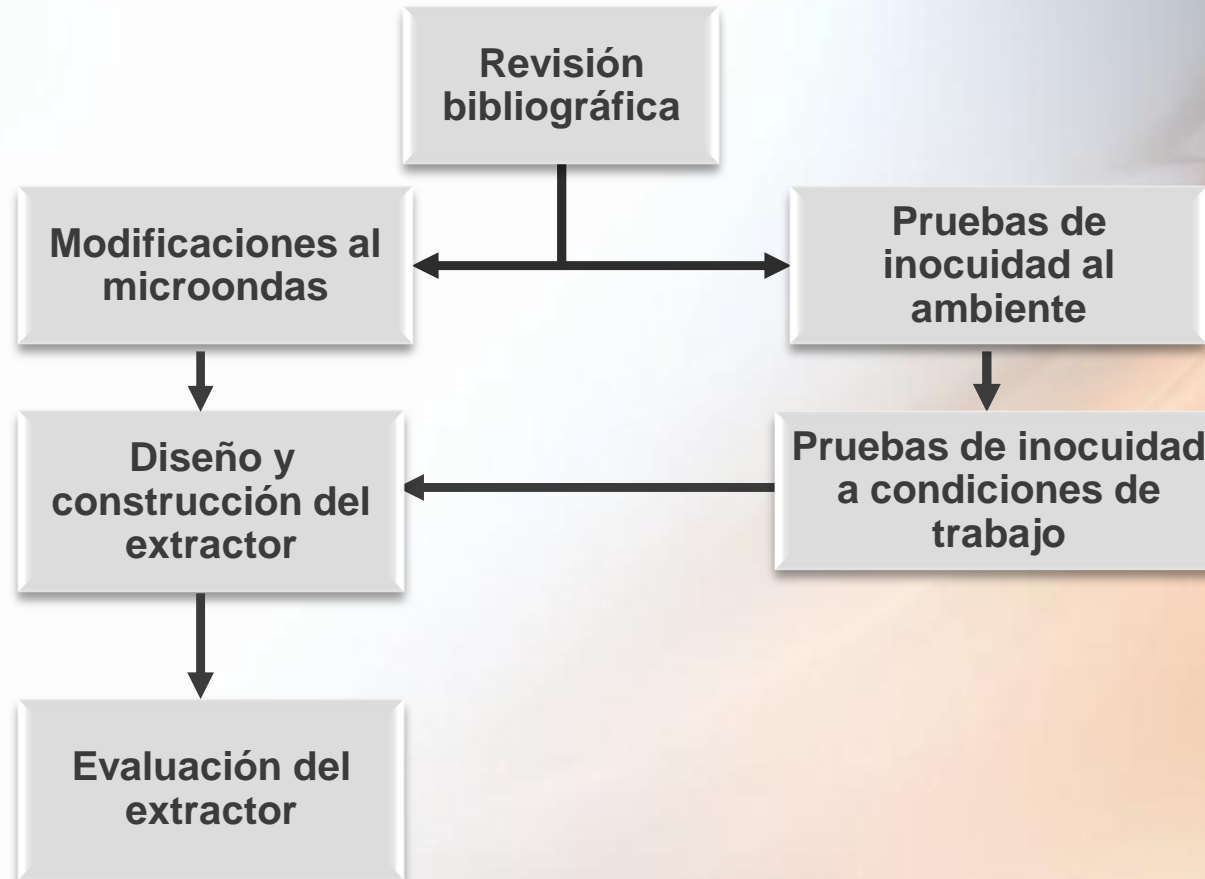
El teflón es un polímero muy resistente, capaz de soportar altísimas temperaturas, de hasta unos 300°C, por períodos prolongados y sin sufrir ninguna clase de daño.



TEFLON polymer (segment)



# Metodología







# Análisis y Discusión de Resultados



## Pruebas de inocuidad para los materiales de construcción a condiciones ambientales

Tolueno		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	13,68	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	42,48	Se decoloro el termoplástico
PVC agua caliente	18,39	Se decoloro el termoplástico
PVC agua caliente a presión	48,84	No hubo reacción
Teflón	0,16	No hubo reacción
hexano		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	0,01	El solvente cambio de color
PVC agua fría a presión	0,21	El solvente cambio de color
PVC agua caliente	0,00	El solvente cambio de color
PVC agua caliente a presión	0,04	No hubo reacción
Teflón	3,87	El solvente cambio de color



# Análisis y Discusión de Resultados



## Pruebas de inocuidad para los materiales de construcción a condiciones ambientales (continuación)

Etanol		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	0,85	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	0,24	No hubo reacción
PVC agua caliente	0,94	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	0,59	No hubo reacción
Teflón	0,24	No hubo reacción
Acetato de etilo		
Termoplástico	% pérdida de peso	observaciones
PVC agua fría	13,49	El termoplástico incremento su tamaño
PVC agua fría a presión	8,69	Se decoloro el termoplástico
PVC agua caliente	15,58	El termoplástico incremento su tamaño
PVC agua caliente a presión	15,83	El termoplástico incremento su tamaño
Teflón	0,20	No hubo reacción



# Análisis y Discusión de Resultados



## Pruebas de inocuidad para los materiales de construcción a condiciones de trabajo

<b>Tolueno TEMP. EBULLICION 110°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 3 MIN.</b>		
<b>Termoplástico</b>	<b>% pérdida de peso</b>	<b>observaciones</b>
PVC agua fría	57,09	Se deterioro y agrieto
PVC agua fría a presión	21,88	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente	34,41	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente a presión	45,28	Se deterioro y agrieto
Teflón	0,05	No hubo reacción
<b>Hexano TEMP. EBULLICION 69°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 2 MIN CON 22 SEG.</b>		
<b>Termoplástico</b>	<b>% pérdida de peso</b>	<b>observaciones</b>
PVC agua fría	0,03	No hubo reacción
PVC agua fría a presión	0,01	No hubo reacción
PVC agua caliente	0,01	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	0,05	No hubo reacción
Teflón	0,04	No hubo reacción



# Análisis y Discusión de Resultados



## Pruebas de inocuidad para los materiales de construcción a condiciones de trabajo (continuación)

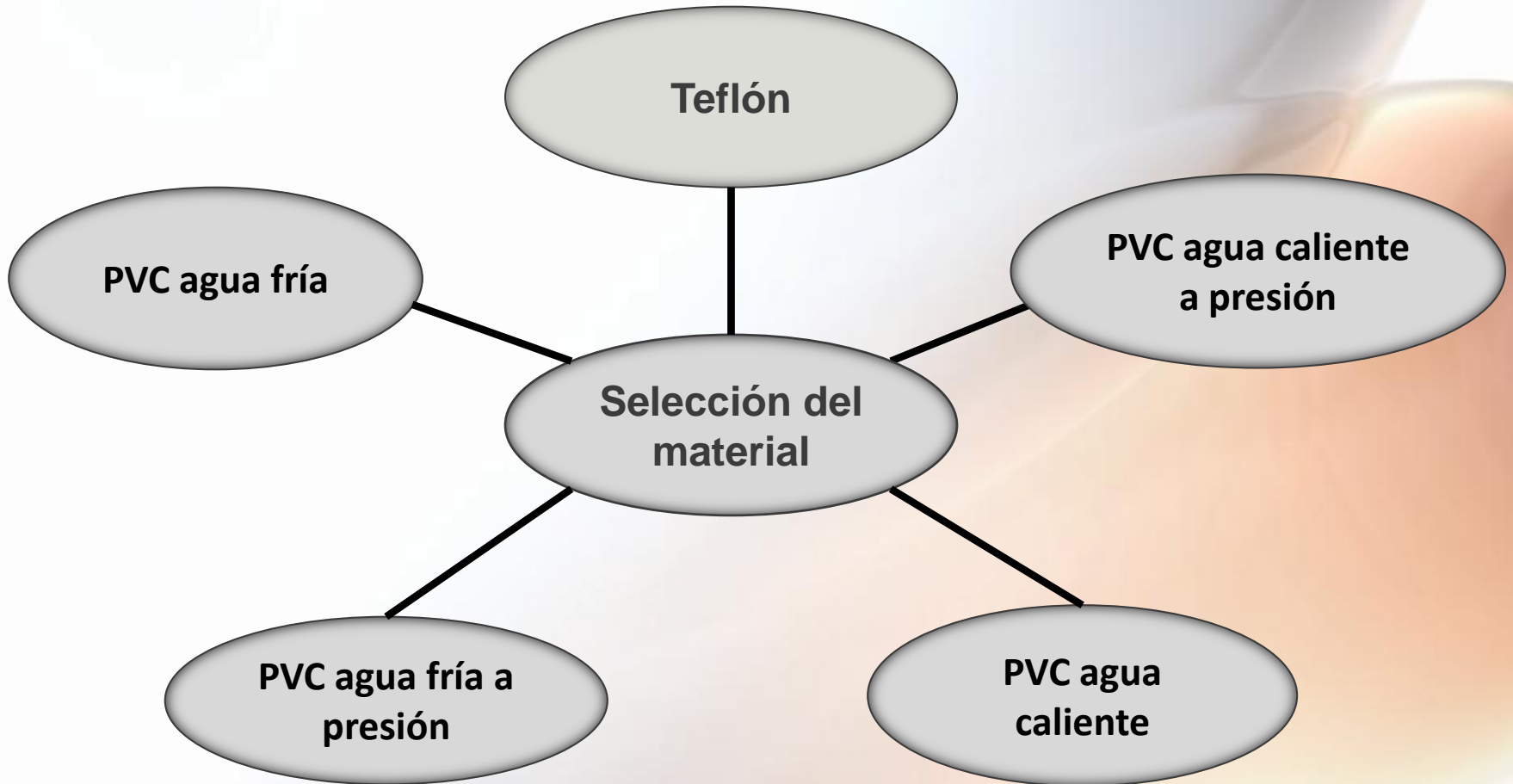
<b>Etanol TEMP. EBULLICION 78°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 15 SEG.</b>		
<b>Termoplástico</b>	<b>% pérdida de peso</b>	<b>observaciones</b>
PVC agua fría	0,03	Se deterioro y agrieto
PVC agua fría a presión	0,02	Se deterioro y agrieto
PVC agua caliente	0,03	No hubo reacción
PVC agua caliente a presión	0,01	No hubo reacción
Teflón	0,09	No hubo reacción
<b>Acetato de etilo TEMP. EBULLICION 71°C, TIEMPO DE RESIDENCIA 45 SEG.</b>		
<b>Termoplástico</b>	<b>% pérdida de peso</b>	<b>observaciones</b>
Teflón	0,00	No hubo reacción



# Análisis y Discusión de Resultados



## Selección del material de construcción



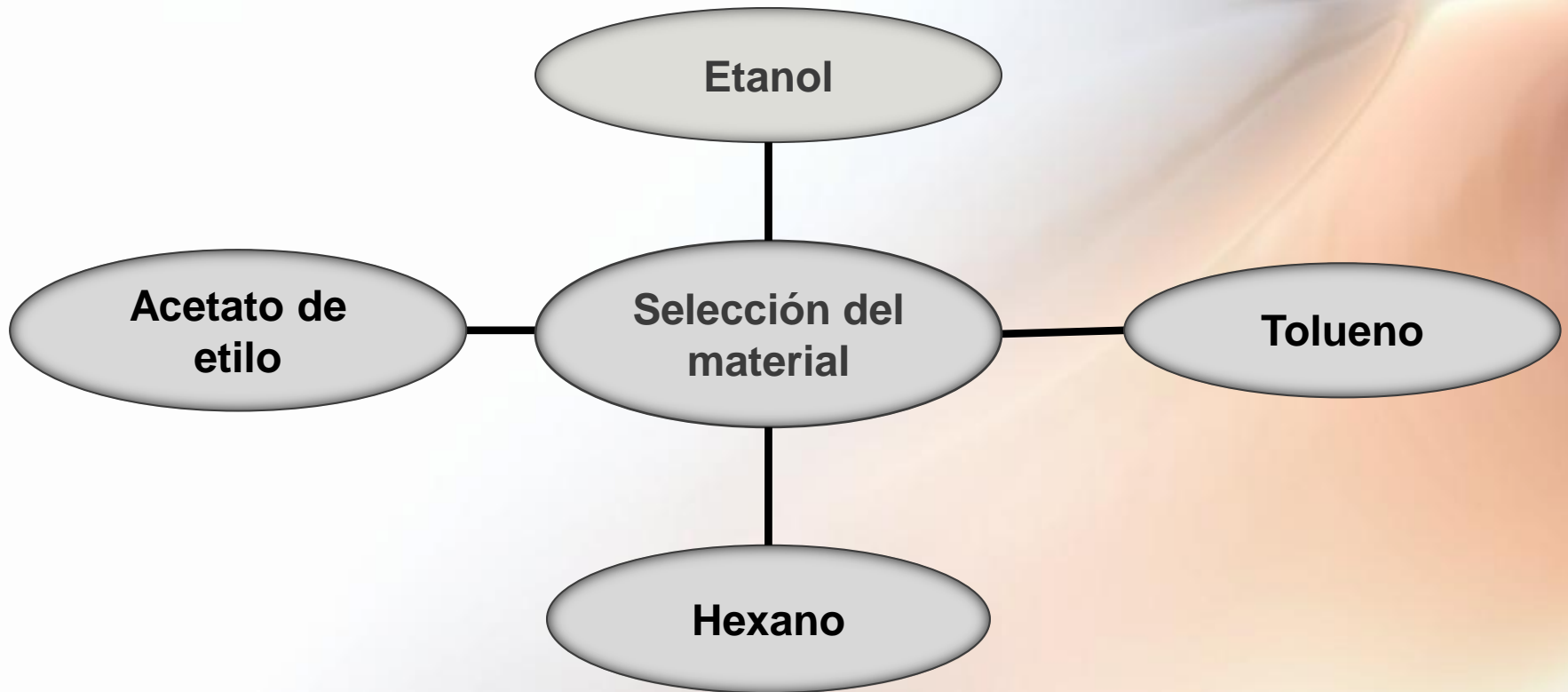




# Análisis y Discusión de Resultados



## Selección del solvente a utilizar





# Análisis y Discusión de Resultados



## Plano para la construcción del extractor prototipo

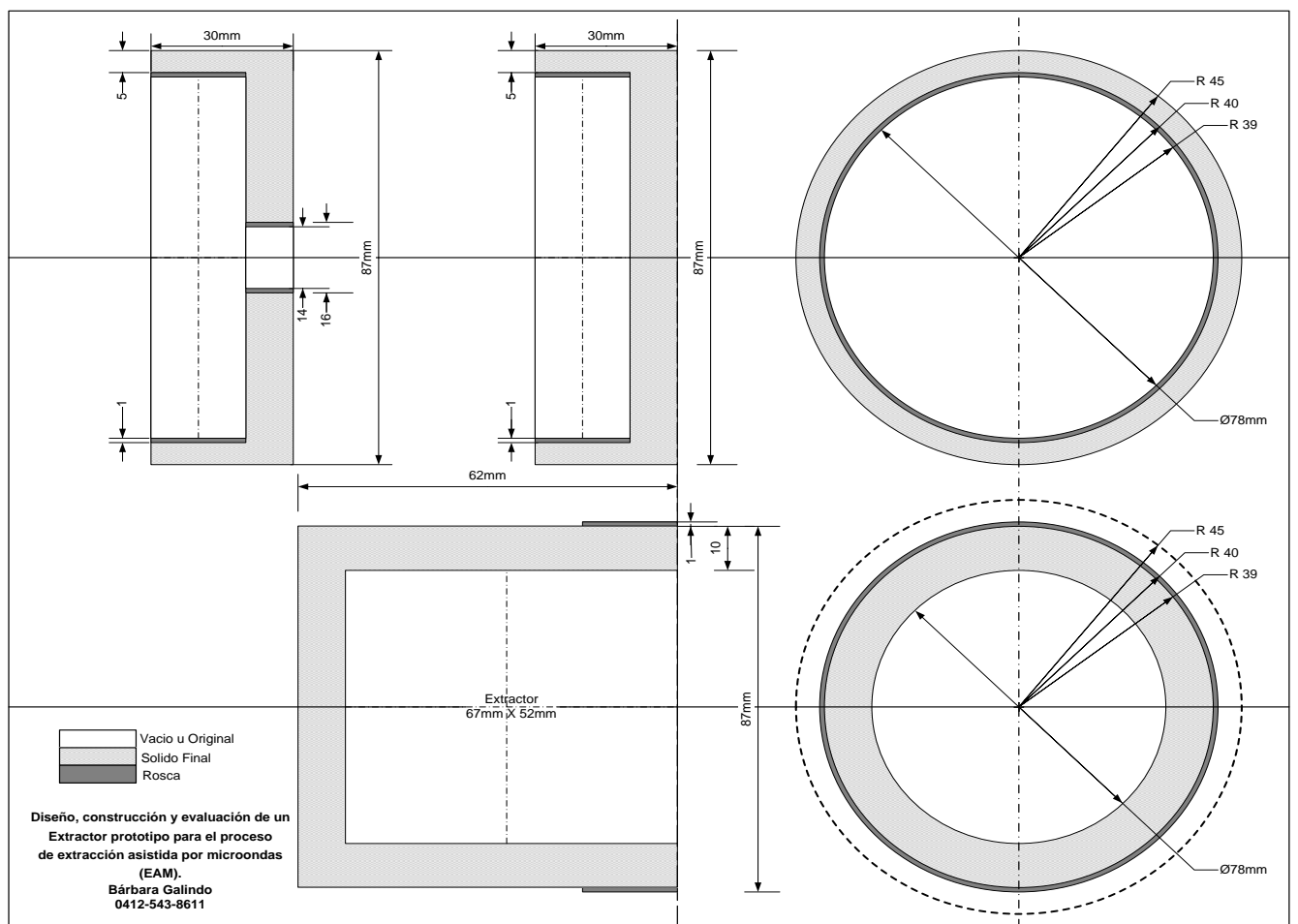
- ✓ Para el diseño del equipo, primero se determinó la presión de vapor del solvente a utilizar, para determinar el límite mínimo de presión.
- ✓ El recipiente se diseñó para soportar un máximo de 10 atmósferas.
- ✓ En cuanto a la capacidad volumétrica del extractor se determinó una capacidad de 150 mililitros.
- ✓ Para el tipo de tapas, se estableció el mismo espesor del recipiente cuya rosca posee un paso de 2 mm para evitar fugas de presión. Una de las tapas se diseñó totalmente cerrada, y la segunda tapa posee un orificio en el centro de 15 mm diámetro, con una rosca con un paso de 1 mm.



# Análisis y Discusión de Resultados



## Plano para la construcción del extractor prototipo





# Análisis y Discusión de Resultados



## Plano para la construcción del extractor prototipo





# Análisis y Discusión de Resultados



## Sistema extractor



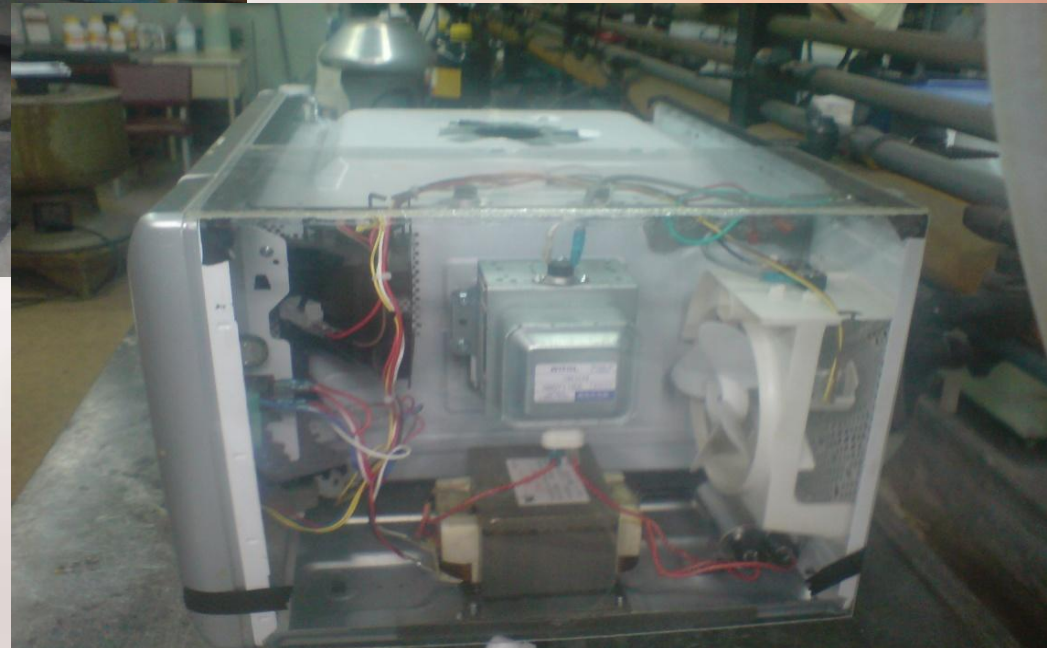




# Análisis y Discusión de Resultados



## Modificaciones al horno microondas

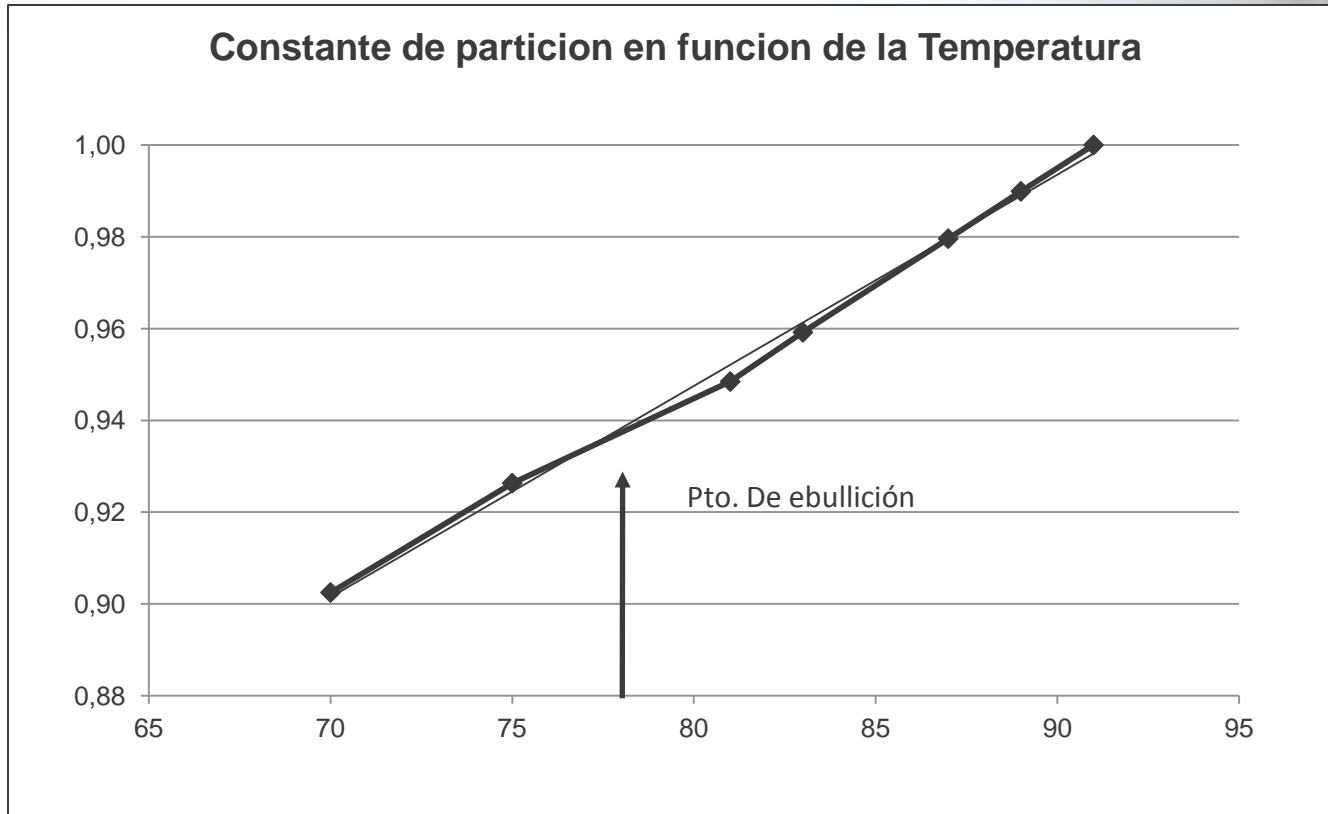




# Análisis y Discusión de Resultados



## Evaluación del extractor





# Análisis y Discusión de Resultados



Comparación de los resultados con los obtenidos por la EAM convencional

Tipo de extracción	Muestra N°	Presión (psia)	Tiempo de extracción (seg)	Rendimiento %
EAM Convencional	IA	13,37	6	3,06
EAM Convencional	IIA	13,37	8	<b>4,03</b>
EAM a Presión	IB	17,37	30	5,94
EAM a Presión	IIB	20,37	35	7,48
EAM a Presión	IIIB	21,87	45	<b>13,73</b>

**Se evidencia un aumento del rendimiento mayor al 100%.**



# Conclusiones



- ✓ El teflón fue el único termoplástico que mostro mayor resistencia a todos los solventes empleados, tanto a condiciones ambientales como de trabajo.
- ✓ La configuración etanol/teflón no presento alteraciones físicas ni químicas, por lo cual fue elegida como la configuración a utilizar para el sistema de estudio.
- ✓ Se estableció una capacidad volumétrica de 150 mililitros.
- ✓ Se diseñaron las tapas con un paso de 2 mm para evitar fugas de presión.



# Conclusiones



- ✓ El extractor se diseñó para soportar un máximo de 10 atmósferas.
- ✓ Se le realizaron las modificaciones pertinentes al horno microondas, se realizó la abertura necesaria para la conexión con el manómetro y se colocaron láminas de acrílico para asegurar la parte eléctrica del sistema.
- ✓ Al trabajar con mayores tiempos de extracción, generando presiones superiores a la atmosférica se obtiene un mayor rendimiento.
- ✓ Al evaluar el extractor se obtuvo un rendimiento en el extracto del 13,73%, al compararlo con el rendimiento obtenido con la EAM convencional de 4,03%, se evidencia un aumento del rendimiento mayor al 100%.





# Recomendaciones

- ✓ **Evaluar la interacción de otros alcoholes solventes en el cuerpo humano con un mayor punto de ebullición, para determinar si se puede aumentar el rendimiento sin tener que trabajar a condiciones más severas de presión.**
- ✓ **Realizar las modificaciones necesarias para establecer un flujo de solvente/extracto continuo, con la finalidad de disminuir la temperatura y aumentar el rendimiento.**
- ✓ **Realizar pruebas a una escala superior, para este tipo de extracción a presión.**



# Recomendaciones

- ✓ Utilizar otro proceso de separación diferente a la decantación, para verificar si de esta manera existe mayor recuperación del extracto.
- ✓ Estudiar la proporción solvente/materia vegetal para el sistema, para obtener una recuperación óptima del extracto.
- ✓ Realizar extracciones con una presión interna inicial, generada por un gas inerte y estudiar su efecto en el rendimiento.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**



# **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN EXTRACTOR PROTOTIPO PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM).**

**TUTORES ACADÉMICOS:  
Prof. Jaime Hernández  
Prof. Francisco Yáñez**

**Presentado por la Br.:  
Galindo G., Bárbara J.**



# Marco Referencial

## Cacao

- Los granos de cacao son las semillas provenientes del árbol *Theobroma Cacao*.
- El grano de cacao en general, contiene alrededor del 55% en peso de grasa.
- Cada semilla consta de dos cotiledones y del pequeño embrión de la planta, todos cubiertos por la piel .



A)



B)



C)

- Existen tres variedades principales de cacao: cacao criollo (Figura A), cacao forastero (Figura B), y el cacao trinitario (Figura C).



# Resultados de Investigaciones Previas

**Parrales K. et al., (2008) Obtención de la manteca de cacao a partir de semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando Extracción Supercrítica y Extracción Convencional.**

El mejor rendimiento y selectividad del extracto para la extracción con  $\text{CO}_2$  se obtuvo a una presión de 2000 psi y a una temperatura de  $45^\circ\text{C}$ , y fue igual a 6,28 %.

**Soledad O., (2007) Extracción de manteca a partir de las semillas del cacao (*Theobroma cacao* L.) utilizando dióxido de carbono en condiciones supercríticas como solvente.**

El mejor rendimiento del extracto para la extracción con  $\text{CO}_2$  fue de 4,48 %.





# Resultados de Investigaciones Previas



**Bastidas, R., María (2008) Extracción de los derivados del cacao venezolano utilizando el proceso de extracción asistida por microondas (EAM) y extracción asistida por ultrasonidos (EAU).**

El uso de un tamaño de materia prima igual a 2 mm, favorece el proceso de extracción de ácidos grasos utilizando el proceso de EAM y EAU obteniéndose rendimientos de 6,2033% y 7,1844% respectivamente.



# Pruebas de inocuidad al ambiente



- ✓ Se seleccionaron los plásticos a estudiar, en este caso los termoplásticos.
- ✓ Se seleccionaron los solventes a utilizar para el estudio a partir de los más utilizados para la extracción asistida por microondas
- ✓ Se prepararon los plásticos seleccionados.
- ✓ Se preparo la muestra, dejándola expuesta a condiciones ambientales por 30 días.
- ✓ Transcurridos los 30 días, se realizaron pruebas de perdida de peso a los plásticos y análisis químico a los solventes.



# Pruebas de inocuidad a condiciones de trabajo



- ✓ Se prepararon los plásticos no descartados en la prueba anterior.
- ✓ Se preparo la muestra con los solventes no descartados.
- ✓ Se determino el tiempo que tarda en llegar al punto de ebullición cada solvente.
- ✓ Con el tiempo de residencia previamente establecido para cada solvente se procedió a exponer cada muestra a la microondas, para posteriormente ser filtrada.
- ✓ Se realizaron pruebas de perdida de peso a los plásticos y análisis químico a los solventes.



# Modificaciones al microondas



- ✓ Se retiraron los complementos del microondas que no eran necesarios para las pruebas.
- ✓ Se realizó una abertura en la parte superior del microondas sin alterar su funcionamiento, con la finalidad de establecer una conexión entre el extractor y un manómetro de baja colocado a un lado del microondas.
- ✓ Para efectos de seguridad se retiró la cubierta metálica del microondas y se colocaron láminas de acrílico para asegurar la parte eléctrica del sistema.



# Diseño y construcción del extractor



- ✓ Se selecciono el material más óptimo para la construcción.
- ✓ Se calculo la presión mínima de operación, siendo esta la presión de vapor del solvente utilizado.
- ✓ Se calculo el espesor requerido para la presión máxima a la cual se desea trabajar.
- ✓ Se calculo el diámetro interno y la altura del extractor a una capacidad volumétrica establecida.
- ✓ Establecidos estos parámetros se procedió a la construcción del extractor, que consto de un cilindro y dos tapas, donde una es cerrada y la otra perforada con la finalidad de realizar las mediciones de presión.





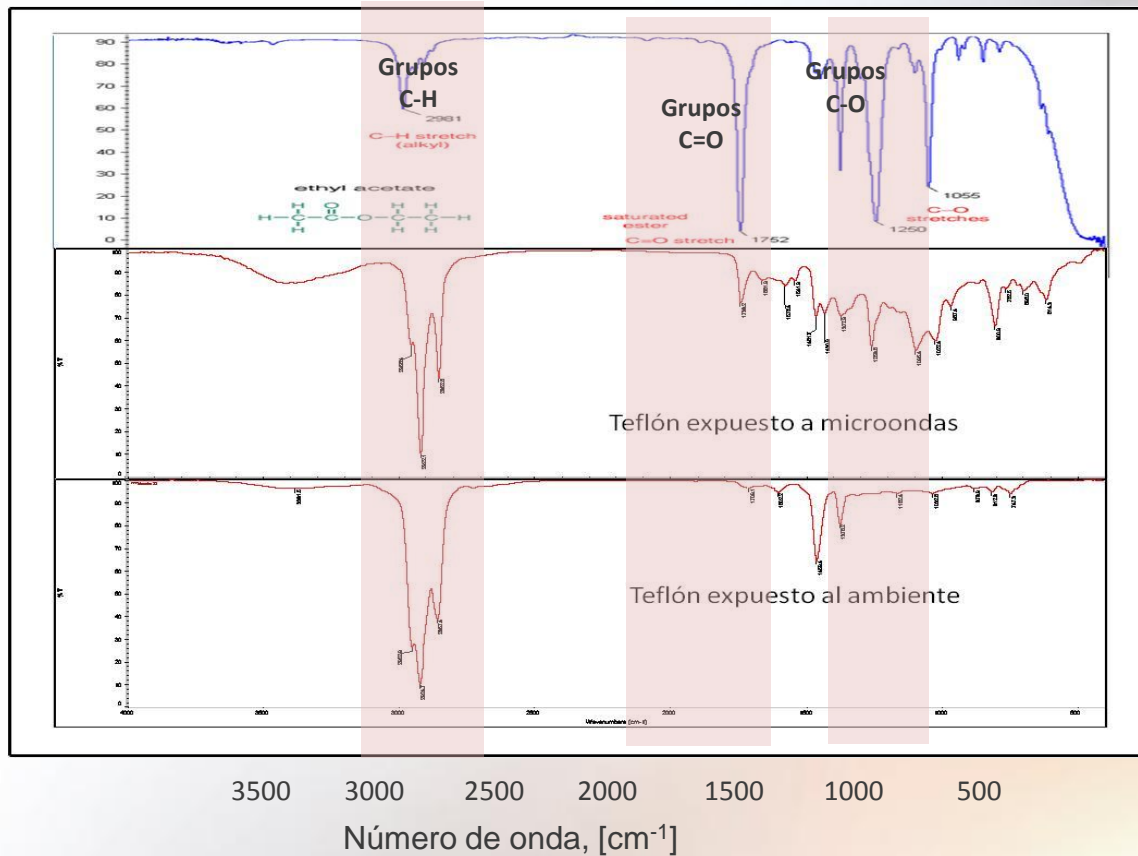
# Evaluación del extractor

- ✓ Una vez construido el extractor se procedió a evaluarlo, utilizando el solvente óptimo para el material de construcción seleccionado.
- ✓ Se utilizó una carga inicial de materia vegetal entre 40 y 70 gramos y entre 80 y 100 ml de solvente.
- ✓ Con el tiempo de extracción obtenido en pruebas previas, se procedió a fijar la potencia de operación en 100%.
- ✓ Se retiró la muestra de las microondas, se procedió a filtrarla y se llevaron las semillas a la estufa durante 24 horas para su secado.
- ✓ Se almacenó el producto extraído en envases de color ámbar y se refrigeraron para evitar su oxidación.
- ✓ Se procedió a medir el rendimiento por diferencia de peso en la matriz vegetal.



# Análisis IR de los solventes

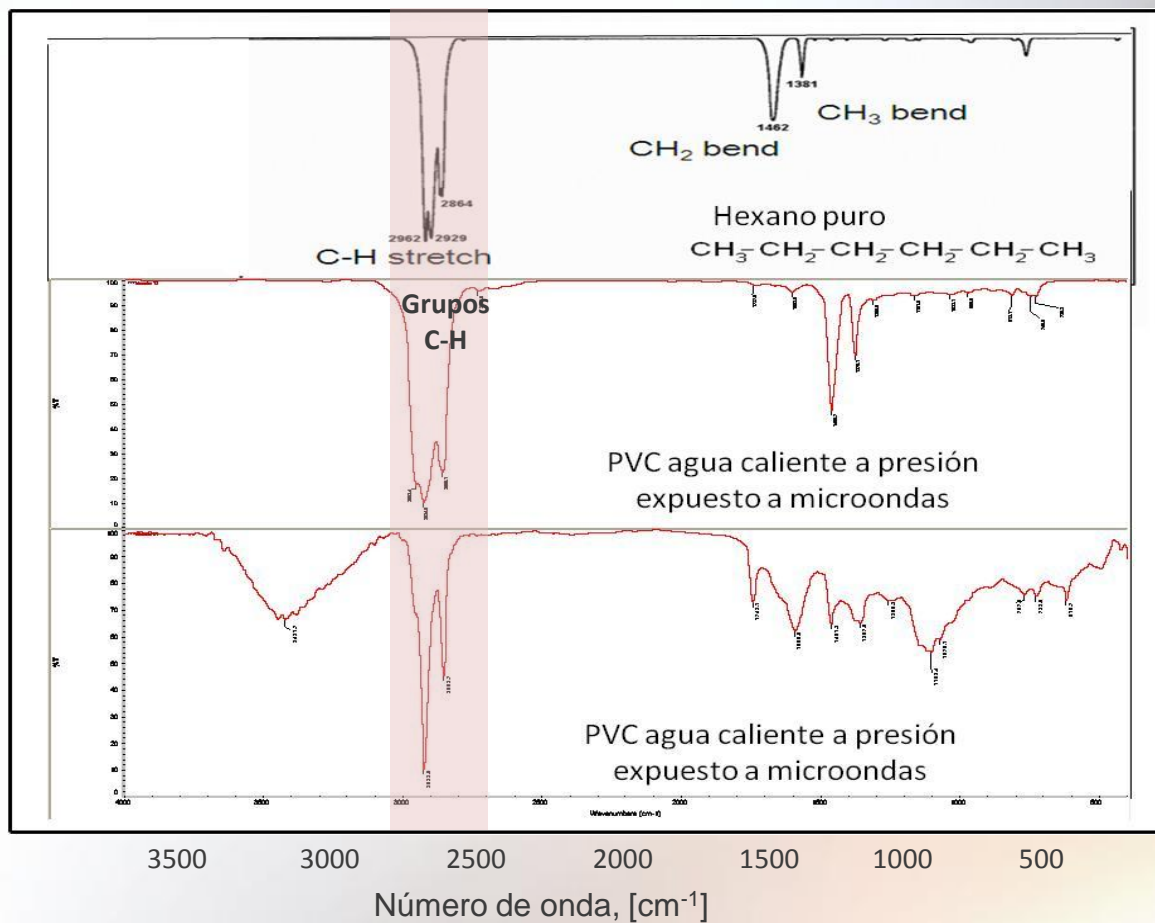
Comparaciones los espectros infrarrojos obtenidos para el Acetato de etilo





# Análisis IR de los solventes

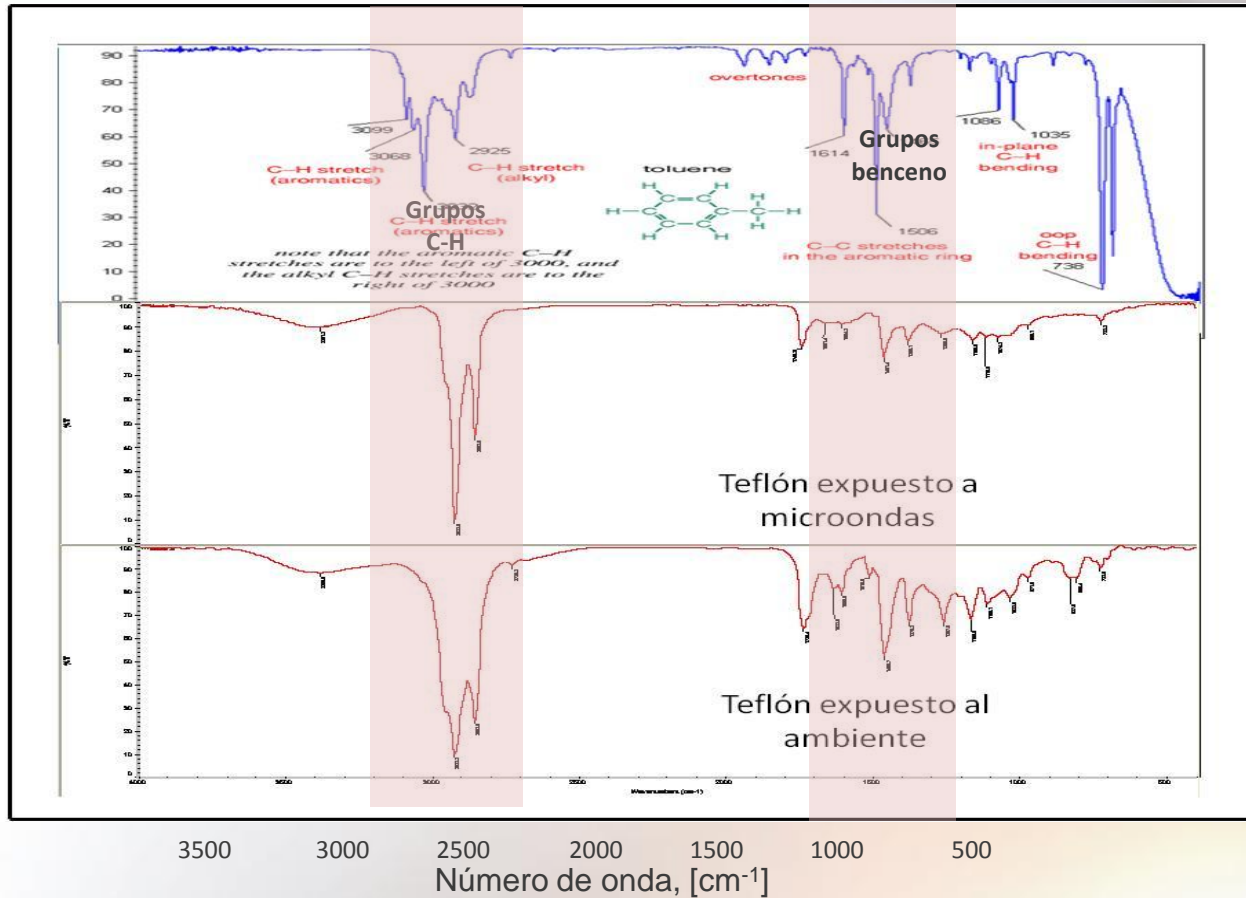
Comparaciones los espectros infrarrojos obtenidos para el hexano





# Análisis IR de los solventes

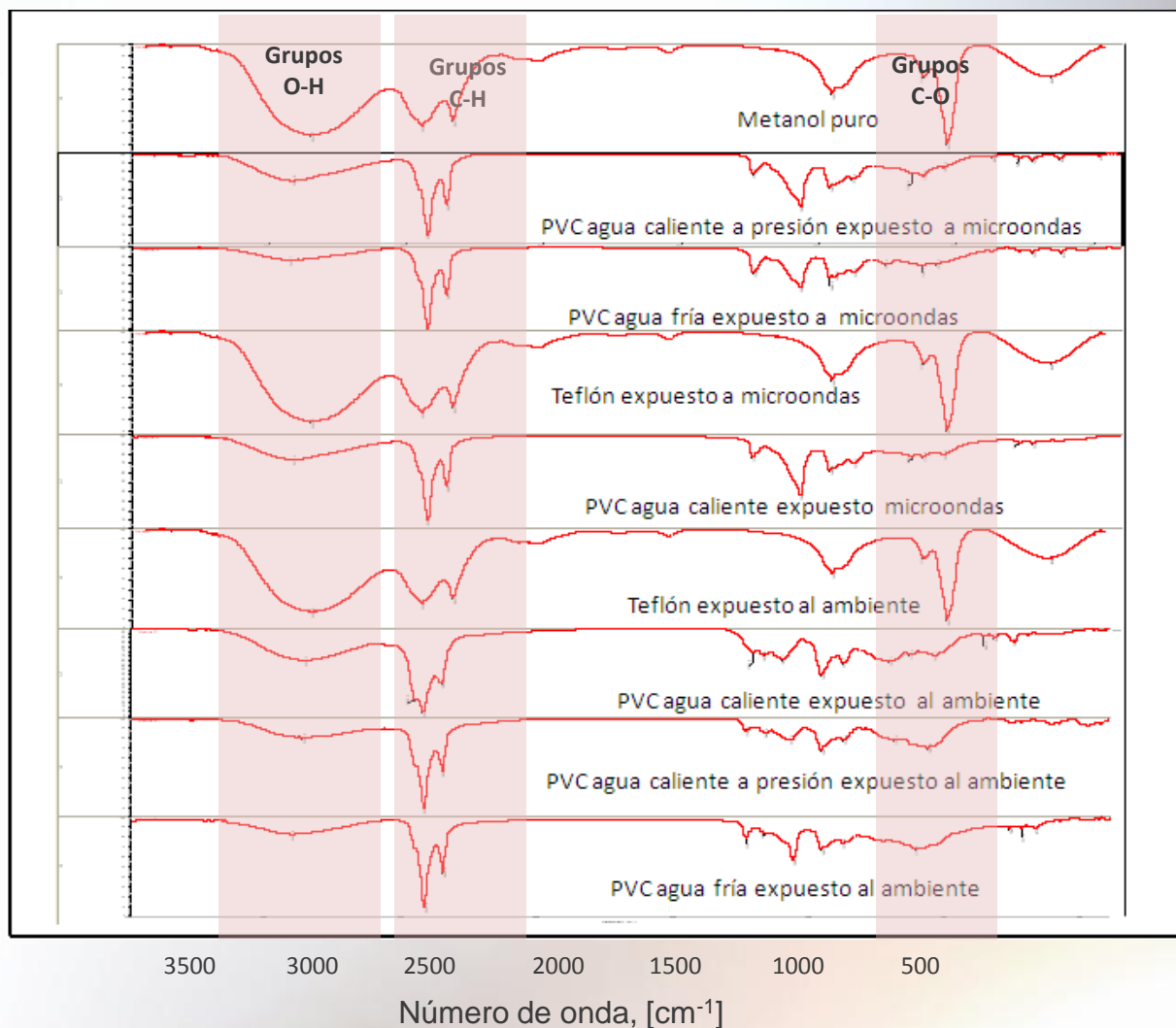
Comparaciones los espectros infrarrojos obtenidos para el Tolueno





# Análisis IR de los solventes

Comparaciones los espectros infrarrojos obtenidos para el Etanol







# Materiales



Los materiales utilizados en este Trabajo Especial de Grado se listan a continuación.

- Semillas de cacao.
- Mortero de porcelana.
- Espátula de acero inoxidable.
- Fiolas.
- Beakers.
- Pipetas.
- Cilindros graduados.
- Pera de succión.
- Embudo de vidrio para filtrado.
- Papel de filtro.
- Estufa de secado.
- Picetas.
- Solventes (tolueno, hexano, propanol, acetato de etilo).
- Frascos de color ámbar para recolección.
- Balanza marca Adventurer.
- Microondas marca midea.
- Guantes.
- Mascarillas.
- Etiquetas.



# Materiales



De forma mas concreta se especifican los termoplásticos a tratar y los solventes a utilizar para la realización de las pruebas.

## Entre los termoplásticos se tiene:

- PVC de alta presión para agua caliente.
- PCV de alta presión para agua fría.
- PVC agua caliente.
- PVC agua fría.
- Teflón.

## Entre los solventes se tiene:

- Tolueno.
- Hexano.
- Propanol.
- Acetato de etilo.