

*“Universidad Central Marta Abreu de las Villas”*

*Facultad de Química-Farmacía*

*Dpto. de Ingeniería Química*



## *Trabajo de Diploma*

Título: “Propuesta tecnológica para la obtención de extractos con características alelopáticas”

**Autora: Yiliam González Durán**

**Tutores: Dra. Gretel Villanueva Ramos**

**Dr. Alexis Zamora Báez**

**2008 – 2009**

**“Año 50 de la Revolución”**



*Pensamiento*

*"Produce una inmensa tristeza pensar que la naturaleza habla mientras el género humano no escucha."*

*Victor Hugo*



*Dedicataria*

*Dedico esta Tesis con todo mi amor*

*A mi sobrino Luisito, por su incondicional cariño, por su apoyo en los momentos difíciles y por ser así de grande.*

*A mi Madre, por su comprensión y amor que me brinda cada día.*

*A mi otra madre Olguita, por su amor y porque sin su ayuda no hubiese llegado hasta aquí.*

*A mis hermanos, ya lo logré.*



*Agradecimientos*

## *Agradecimientos*

*A Gretel, por su sabiduría, por su dedicación para realizar este trabajo y por su carácter que inspira confianza.*

*A Feyt, por estar ahí cada vez que lo necesito.*

*A Sosa y Estupiñán, por su confianza en mí.*

*A todos mis profesores que dieron lo máximo, en mi formación como ingeniera y como persona.*

*A Dayro por el amor que me brinda cada día.*

*A Luis y Raciél por ser excelentes amigos.*

*A Yanet por ser excelente amiga y por enseñarme que con los años viene la experiencia.*

*A Heydi y Dany por ser tan alegres, sigan así.*

*A Capote, Yalaina y Ansary, por ser tan buenos compañeros.*

*A Wildmark y Edivaldo, por ser tan buenos amigos y tan buenos cubanos.*

*A mis suegros por su apoyo y por ese carácter que los caracteriza y los hace únicos.*

*A los técnicos Eduardo, Cristina y Margarita, sin su ayuda nada hubiera podido ser.*

*A todas aquellas personas que de una forma u otra me dieron su apoyo.*

*A todos, muchas Gracias*



# *Resumen*

## **Resumen**

El trabajo está encaminado a proponer una tecnología para la obtención de extractos con características alelopáticas, a partir de los restos de la cosecha de Ipomoea batata (boniato), con los resultados obtenidos a nivel de laboratorio. Se obtuvieron los parámetros de operación en la etapa de extracción de los aleloquímicos, se realizaron los balances de materia y energía para la etapa de extracción, así como el diseño del equipamiento utilizando el método de escaldo para la misma. La propuesta tecnológica resultó económica, teniendo en cuenta que en trabajos futuros deben considerarse otras etapas para darle el acabado final al producto.

Palabras claves:

Compuestos aleloquímicos, restos de boniato, escalado.



# *Abstract*

## **Abstract**

In this work a technological process was proposed to obtain allelopathic extracts from the *Ipomoea batata* (sweet potato) harvest wastes, using the results that were found at the laboratory. The extraction stage parameters were obtained and the material and energetic balances were done, then the equipment was design using scale-up methods. The technological is economically feasible taken account that in future works is necessary to consider another stages to finish the product manufacture.

## **Key words**

Allelopathics, sweet potato wastes, scale-up



# *Índice*

## Índice

<b>Introducción</b>	1
<b>Capítulo 1</b>	3
1. La Alelopatía	3
1.1 Modo de liberación de los agentes aleloquímicos	3
1.2 Naturaleza química de los compuestos aleloquímicos	4
1.3 la alelopatía en la agricultura sostenible	5
1.4 Plantas que presentan características alelopáticas	6
1.5 Efecto alelopático del boniato (Ipomoea batatas Lam)	6
2. Generalidades del proceso de lixiviación	9
2.1. Parámetros que influyen en la velocidad de la lixiviación	9
2.2 Procesos de lixiviación de los restos de la cosecha de boniato	11
3. Generalidades del proceso de Ultrafiltración por membranas	11
3.1 Membranas. Concepto. Características	11
3.2 La ultrafiltración como técnica general	12
3.4 Influencia de las variables de operación	13
<b>Capítulo 2</b>	16
2.1 Propiedades químico- físicas del boniato	16
2.2. Definición de los parámetros de la operación de lixiviación	17
2.3 Descripción de la metodología experimental	19
2.4 Resultados del diseño de experimento	20
2.5 Análisis de los resultados	20
2.6 Etapa de purificación con membranas (Ultrafiltración)	23
<b>Capítulo 3.</b>	25
3.1 Propuesta y evaluación del esquema tecnológico. Balances de Materia y Energía	25
3.2 Balances de Materiales y Energía	26
3.3. Selección y Diseño de los Equipos Tecnológicos	28
3.4 Análisis económico de la planta piloto para la producción de extracto alelopático.	36
<b>Conclusiones</b>	43
<b>Recomendaciones</b>	44
<b>Bibliografía</b>	45
<b>Anexos</b>	51



# *Introducción*

# *Introducción*

## **Introducción**

Existen muchas razones que sustentan el interés hacia los compuestos naturales como herbicidas. Los compuestos con actividad alelopática de origen natural son actualmente considerados por poseer mecanismos de acción muy diferentes, presuponer mayor margen de seguridad desde el punto de vista toxicológico y medioambiental y ser por tanto más competitivos que sus homólogos sintéticos, por otra parte los compuestos con actividad alelopática por si solos constituyen una diversidad de herbicidas de acuerdo a su estructura química que son improbables de reproducir hasta el momento mediante vía sintética.

Como parte de la estrategia orientada a una lucha integrada para una mayor sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola, el mejoramiento de la calidad de vida y medio ambiente existe un incremento del interés científico relacionado con la extracción y purificación de metabolitos secundarios de plantas. Por otra parte en la facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCLV se vienen realizando desde hace varios años estudios de producción a escala de laboratorio de extractos alelopáticos de Ipomoea Batata, los que han demostrado su efectividad en diversos cultivos.

Es por esto que el Problema Científico de este trabajo consiste en:

**Problema Científico:** Aunque está demostrada la acción alelopática de los extractos (Pool Metabólico) obtenidos a partir de los restos de la cosecha de boniato (Ipomoea batatas (L) Lam, no se conocen los parámetros de trabajo de las diferentes operaciones que permitan realizar una propuesta tecnológica para la obtención del citado producto.

**Hipótesis:** Si se determinan los parámetros a escala de laboratorio que permitan la obtención de rendimientos máximos en las operaciones principales, es posible proponer la tecnología para la obtención de extractos con características alelopáticas (Pool Metabólico).

# *Introducción*

**Objetivo General:** Proponer una tecnología para la producción de extractos con características alelopáticas que sea factible desde el punto de vista técnico-económico y ambiental.

**Objetivos:**

1. Determinar los parámetros de operación de las etapas del proceso para la obtención de Pool Metabólico a nivel de laboratorio.
2. Proponer un proceso de producción de Pool Metabólico a nivel de Planta Piloto.
3. Determinar la factibilidad técnico- económica de la producción del extracto alelopático.



# *Capítulo I*

## **Capítulo 1. Estado del Arte**

### **1. La Alelopatía**

El término alelopatía fue acuñado en 1937 por el profesor Hans Molisch, para indicar cualquier tipo de interacción bioquímica entre plantas o microorganismos. La alelopatía difiere del fenómeno de la competencia en el sentido de que los mecanismos interactivos entre los microorganismos o plantas, involucran la adición de algún compuesto químico de una especie en el ambiente a otra, en vez de la remoción de un recurso del ambiente (Alvarez, 2006).

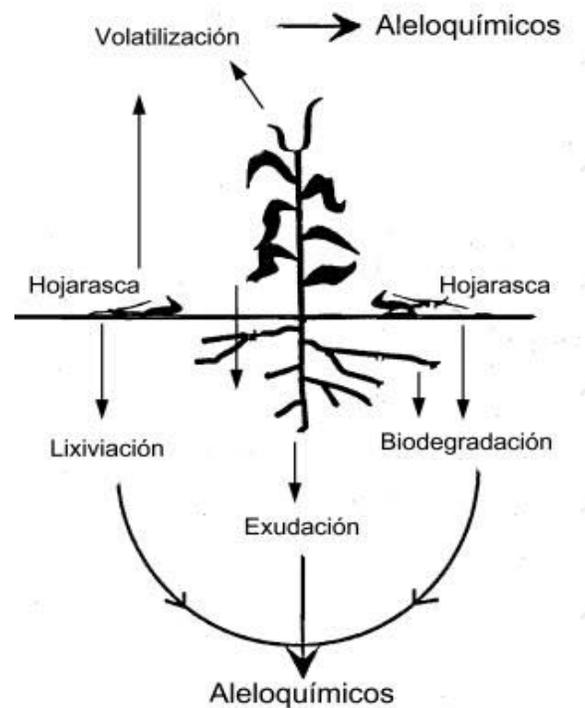
Para Molisch, quien primero la definió engloba todas las interferencias bioquímicas desencadenadas entre plantas, incluyendo microorganismos, provocadas por un organismo (donador) sobre otro (receptor), muchos autores, restringen el significado de la palabra solamente a efectos perjudiciales entre las plantas superiores, excluyendo por tanto a los microorganismos. Otros autores como Whittaker y Guisasa tienen en cuenta que estas mismas sustancias químicas influyen las relaciones entre otros organismos que no son plantas, tales como insectos y herbívoros. El concepto que parece ser más adecuado (Aguar, 2002) es el que abarca todas las interferencias entre seres vivos, provocadas por sustancias químicas por ellas elaboradas y que ocurren en el reino vegetal,

La Sociedad de Alelopatía Internacional en 1996 amplió esta definición a: Alelopatía se refiere a cualquier proceso que involucre metabolitos secundarios producidos por las plantas, microorganismos, virus y hongos que influyen en el crecimiento y desarrollo de sistemas agrícolas y biológicos.

#### **1.1. Modo de Liberación de los Agentes Aleloquímicos.**

Es difícil establecer la fuente de producción de un compuesto alelopático aislado en el medio edáfico. La terminología sugerida no permite aclarar el rol de la sustancia con actividad biológica cuando ésta tiene múltiples funciones afectando varios tipos de organismos. Además es necesario tener en cuenta el criterio enunciado por Müller, el cual utiliza el término alelopatía para referirse a los efectos nocivos de un compuesto químico producido por una planta superior sobre otra planta superior.

El modo de liberación de un agente alelopático depende de su naturaleza química. Las plantas superiores liberan regularmente compuestos orgánicos por volatilización de su superficie y a través de lixiviados de hojas y exudados de raíces. Eventualmente, los constituyentes químicos de todos los organismos son liberados al entorno a través de procesos de descomposición, incorporándose a la matriz del suelo. Por tanto existen cuatro vías principales de liberación al entorno de los aleloquímicos, volatilización, lixiviación, exudación y biodegradación, según se observa en la Figura 1.1 (Sampietro, 2001).



**Figura 1.1** Vías a través de las cuales se liberan los agentes alelopáticos al entorno.

## 1.2. Naturaleza química de los compuestos alelopáticos

La naturaleza química de estos agentes es muy variada. Entre los grupos químicos con acción alelopática están los compuestos alifáticos, lactonas no saturadas, lípidos y ácidos grasos, terpenoides, glicósidos cianogénicos, compuestos aromáticos (fenoles simples, ácido benzoico y derivados, ácido cinámico y sus derivados, quinonas y derivados, cumarinas, flavonoides, taninos y alcaloides) (Aro, 2007).

Los aleloquímicos pueden presentar características autotóxicas, pero las plantas desarrollan métodos para su almacenamiento sin ser afectadas. Muchas de estas sustancias están localizadas dentro de ciertos tejidos, células u organelos, aislados de los procesos metabólicos críticos en el organismo que lo produce. En otros casos los aleloquímicos se acumulan en una forma inactiva, y se transforman químicamente antes de su liberación. Muchos de los aleloquímicos presentes en las plantas son compuestos no involucrados en el metabolismo primario de las plantas (metabolitos secundarios). Los metabolitos secundarios a diferencia de los primarios (aminoácidos, nucleótidos, azúcares, etc.) no tienen aparentemente una función metabólica directa en las especies y están menos distribuidos en todo el reino vegetal, definiendo a veces características muy distintivas de una especie o grupo de plantas. La agrupación más general de estos se enmarca en tres grandes grupos de compuestos que recogen a una gran variedad de grupos químicos cada uno: terpenos, fenoles y compuestos nitrogenados (Aro, 2007).

### **1.3. La Alelopatía en la Agricultura Sostenible.**

La “Agricultura Sostenible”, es aquel modo de agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, mediante el empleo de tecnologías de manejo integrales de forma que se logre una mayor eficiencia biológica del sistema y sea el mismo, ambiental, social y económicamente viable y compatible. Esta definición y las estrategias que de ello se derivan buscan armonizar todos los elementos del Agroecosistema (Tosco, 2008).

El uso de los compuestos alelopáticos favorece la independencia de los productores agrícolas en relación con la adquisición de fertilizantes químicos sintéticos, ya que pueden emplear con el mismo propósito, los productos naturales que preparen a partir de restos de cosechas o de plantas que para diferentes fines poseen en sus terrenos, además los productos naturales debido a su origen son fácilmente biodegradados, por lo que contribuyen a la disminución de la contaminación ambiental y al mejoramiento paulatino del entorno. Por otra parte se obtienen cosechas libres de agroquímicos sintéticos lo que contribuye a

mejorar la calidad de vida y a proteger la salud tanto de los productores como de los consumidores (Alfonso, 1998).

#### **1.4. Plantas que presentan características alelopáticas.**

Se ha estudiado un grupo de plantas que presentan características alelopáticas, entre ellas se encuentran: el girasol (*Helianthus annuus L.*) (González, 2002), el botón de oro (*Wedelia trilobata Hitchc*), el anamú (*Petiveria alliacea L.*), el cardón (*Euphorbia láctea Haw*), el orozuz (*Phyla nodiflora*) y la bija (*Bixa orellana*) (Arango, 2007), botón de oro (*Wedelia trilobata (L.) Hitchc.*)(Barreras, 2006), el orozuz (*Phyla strigulosa*) (García, 2006) y autores como (A.L. Anaya, 1990),(Peterson, 2000), (Aguiar, 2002), (Sinesio Torres García, 2003), (S.-U. Chon, 2005), (Aro, 2007), (Hernández, 2008), (Rodríguez, 2008), (Tosco, 2008) entre otros, coinciden en el boniato (*Ipomoea batatas*) como alelopático.

Por presentar el boniato demostradas características alelopáticas y debido a que pueden ser usados para este fin los residuos de su propia cosecha, es posible producir los extractos a una mayor escala partiendo de este cultivo.

#### **1.5. Efectos Alelopáticos del Boniato (*Ipomoea batatas (L) Lam*):**

El denominado camote, boniato, moniato, (batata dulce) en Italia, (batate) en Alemania y (Sweet potato) en Norteamérica, responde a la siguiente clasificación taxonómica. Reino: Plantae, División: Magnophyllophyta, Subdivisión: Magnoliophytina, Clase: Magnoliataea, Orden: Polemoniales, Familia: Convolvulaceae, Género: Ipomoea. Especie: *Ipomoea batatas (L) Lam* (Rodríguez, 2008). Tiene un ciclo de cosecha de 120 días, con hojas de borde dentado, las adultas de color verde con manchas moradas en la base y las jóvenes violáceas por ambas caras. El PILP (punto de inserción limbo-pecíolo) es de color morado tanto en las hojas jóvenes como en las adultas. El tallo es grueso de color verde con ligero tinte violáceo en la parte apical, las raíces tuberosas de color crema y carne blanca de forma alargada con un promedio de 3,1 raíces, posee abundante desarrollo foliar y se adapta a suelos arenosos, donde puede plantarse todo el año. Posee un potencial de rendimiento de 43 t ha<sup>-1</sup> (600 g / m<sup>2</sup>

de restos secos de la cosecha). Este cultivo es considerado un competidor extremadamente exitoso en la germinación de las malezas, pues contiene aleloquímicos que interfieren el crecimiento de estas (Hernández, 2008).

El extracto de los restos de cosechas del boniato a una determinada concentración, posee un efecto significativo en el crecimiento del tallo, la raíz, la masa fresca y seca de diferentes cultivos, como el maíz, la calabaza, el melón y el sorgo, en sus primeras fases de desarrollo (Aguiar, 2002), otros estudios realizados por Harrison, demostraron que el cultivo del boniato presenta efectos estimuladores del crecimiento del tallo sobre especies hortícolas como el caso de la cebolla y el tomate.

En un estudio de la actividad alelopática del extracto de los restos de la cosecha de boniato (hojas y tallos) realizado sobre la germinación de la calabaza (Aguiar, 2002), se obtiene que el testigo superó el número de plantas germinadas en comparación con el tratamiento. El extracto acuoso de boniato demostró un efecto alelopático negativo sobre la germinación de las semillas de calabaza (*Cucurbita sp.*), efecto que puede explicarse por los altos niveles de taninos y cumarinas presentes en el boniato. Sin embargo se produjo una estimulación del crecimiento del tallo en los cultivos de melón (*Cucumis melo L.*), maíz (*Zea mays L.*), sorgo (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) y calabaza, mientras que en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) tuvo un efecto inhibitorio. La actividad biológica en plantas receptoras de aleloquímicos son dependientes de la concentración de entrada; la respuesta es de estimulación o atracción, con bajas concentraciones de aleloquímicos y de inhibición o rechazo al incrementarse estas.

En el trabajo realizado por Alvarez, (Alvarez, 2006) se demuestra que no hay efecto alelopático de los restos de boniato sobre la germinación de los cultivos del pimiento y el tabaco, no siendo así para la cebolla, en la que se mostró un efecto inhibitorio. En el crecimiento de las raíces, los restos de boniato mostraron un efecto de estimulación significativo del crecimiento radicular en el cultivo de la cebolla.

Por otra parte, en estudios realizados por Harrison, con cultivares de boniato, se demostró el efecto estimulador sobre especies hortícolas como la zanahoria, el

pepino, la lechuga, la cebolla y el tomate, mientras que los restos de boniato no mostraron efectos de estimulación, ni de inhibición sobre el crecimiento del tallo en el cultivo del pimiento (Alvarez, 2006).

Según el estudio realizado por Rodríguez, (Rodríguez, 2008) el extracto acuoso de *I. batatas* manifestó una estimulación en el cultivo del pepino en las variables, longitud del hipocótilo y longitud de la radícula alcanzando un 72 y 37% de estimulación respectivamente, mientras que no afectó al número de raíces secundarias, peso fresco y peso seco de las plántulas de pepino. Las diluciones del mismo no arrojaron diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las variables medidas. En este estudio además se utilizaron métodos no convencionales de fraccionamiento, específicamente la Ultrafiltración, los tratamientos a 10 000 Da, 150 000 Da y 10 000 Da (Np) no permeado no afectaron la longitud del hipocótilo, mientras el tratamiento de 150 000 Da redujo al 50% el crecimiento de la radícula. El número de raíces secundarias también fue afectado en los tres tratamientos siendo el más significativo 10 000 Da Np con 53% de respuesta inhibitoria. Con respecto a las variables peso fresco y peso seco no se produjeron alteraciones (Rodríguez, 2008).

Tosco, (Tosco, 2008) en su estudio demuestra que los residuos de boniato tienen un efecto estimulante en la longitud del tallo y el número y diámetro de las hojas en las plantas de cebolla comparadas con las plantas no tratadas, no siendo así para las plantas de rábano donde no se apreció ningún efecto, sin embargo se constató un efecto inhibitorio sobre la germinación de maleza a partir de los 15 días de sembrada la cebolla, efecto que persistió hasta los 30 días. La aplicación de residuos de follaje al suelo mejoró las poblaciones de hongos y bacterias totales, actinomicetos y hongos celulolíticos en el cultivo de la cebolla y tuvo tendencia a la reducción de las bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) con respecto al testigo sembrado de cebolla pero sin residuos. Sin embargo la presencia de cebolla y malezas en el testigo redujo las poblaciones de hongos totales y celulolíticos con respecto al suelo no sembrado, similar resultado se muestra en el suelo sembrado de rábano.

## **2. Generalidades del Proceso de Lixiviación.**

El proceso de obtención de los extractos alelopáticos se lleva a cabo mediante operaciones de lixiviación. Las operaciones de extracción sólido - líquido o lixiviación consisten en la disolución selectiva de una o varias sustancias de los cuerpos sólidos, que son mezclas de diferentes componentes, y representan en sí la extracción difusiva del componente o componentes a partir de materiales sólidos porosos utilizando un solvente.

La lixiviación en si consiste en la penetración del líquido en los poros del sólido, disolviendo los componentes a extraer (extracción física), o entrar en reacción con ellos (extracción química), la sustancia que pasa a la disolución, o el producto de la reacción se difunde hacia la superficie del cuerpo sólido y pasa a la masa fundamental del líquido. A veces la sustancia a extraer está disuelta en los poros del cuerpo sólido y pasa directamente al solvente por difusión (Villanueva, 2007).

### **2.1. Parámetros que influyen en la velocidad de la lixiviación.**

Independientemente del nombre con que se conozca, esta técnica es una de las operaciones más antiguas de la industria química. En la industria alimenticia y farmacéutica es usada para recuperar sustancias importantes como flavonoides y carotenos o para remover sustancias indeseables como contaminantes o toxinas. En todos los casos la extracción ocurre como resultado del efecto de la selectividad del solvente con respecto al soluto. Desde el punto de vista industrial es necesario evaluar algunos factores que influyen sobre la velocidad de extracción:

*Preparación del sólido:* En los materiales vegetales, es necesario considerar la estructura celular, aunque el soluto puede estar en la superficie de los mismos, en la mayoría de los casos se encuentra en capilares, espacios intercelulares o en la propia estructura de la célula, por eso la eficiencia del proceso extractivo depende de las características del sólido. Uno de los pretratamientos más comunes es la molienda, lo que incrementa el contacto entre las fases, además de que rompe las estructuras celulares (Schwartzberg, 2007). Sin embargo cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño se dificulta la posibilidad de que el solvente fluya a

través del sólido, aumentando la caída de presión por lo tanto debe buscarse un compromiso entre el tamaño y la caída de presión, generalmente diámetros de partículas entre dos y cinco mm. brindan características apropiadas para escala industrial.

*Velocidad de difusión:* debido a la complejidad de la estructura celular y a la existencia de poros, la difusividad de los materiales biológicos se denomina difusividad efectiva, la que depende además de la posición del soluto en el material sólido y de la composición de la matriz vegetal.

*Temperatura:* Las altas temperaturas proporcionan un incremento de la solubilidad del soluto en el solvente, lo que beneficia la transferencia de masa, sin embargo cuando se trabaja con productos naturales una elevación de la temperatura puede generar reacciones indeseables como la degradación de compuestos termolábiles.

*Elección del solvente:* La selección del solvente se basa en varios factores como el costo y la toxicidad, también deben considerarse la selectividad y la capacidad de disolución, así como la tensión interfacial, viscosidad, estabilidad, y reactividad. Debido a la toxicidad de algunos solventes orgánicos, existen algunas restricciones para el uso de los mismos en la agroindustria, entre estos se encuentran la acetona, acetato de etilo, 1-propanol, 2-propanol, entre otros, en otra categoría se encuentran el benceno, tetracloruro de carbono, dicloroetano, y tricloroetano que no pueden utilizarse por su alta toxicidad y por sus efectos en el ambiente. El uso de agua como solvente elimina las dificultades de toxicidad y tratamiento de otros solventes orgánicos. La química de los sistemas naturales se basa en el agua, por lo que es muy común el uso de este solvente barato y poco peligroso. Investigadores en esta área han descubierto que las reacciones en agua pueden optimizar las interacciones hidrofóbicas alcanzando altas selectividades (Sijbren and Engberts, 2003). El efecto acelerante del agua se debe a varios factores que incluyen el efecto hidrofóbico antes mencionado así como los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y los reactantes. (Breslow, 2004).

*Humedad del material sólido:* El contenido de agua en el material sólido puede competir con el proceso extractivo siempre que el solvente no sea agua, por otra

parte esta humedad es necesaria para permitir el transporte del soluto. Sin embargo en la mayoría de los casos el material sólido se seca para evitar la degradación de los compuestos.

*Agitación del líquido:* permite disminuir el grosor de la capa difusiva límite y distribuir regularmente las partículas sólidas en él, ofrece la posibilidad de acelerar considerablemente la disolución (Kasatkin, 1985).

## **2.2. Proceso de lixiviación de los restos de la cosecha de boniato.**

En la literatura consultada se reporta la obtención de extractos de los restos de la cosecha de boniato a escala de laboratorio, utilizando dos metodologías:

Aguiar, (Aguiar, 2002) propone para la obtención del extracto acuoso mezclar 20 gramos de restos (hojas y tallos de boniato) con 200 mL de agua destilada a una temperatura de 80° C durante 15 minutos, se filtra y al residuo de este filtrado se le añaden 100 mL de agua destilada, se somete nuevamente a una temperatura de 80° C durante 15 minutos y se filtra. Se mezclan los dos filtrados y se centrifugan a 3900 r.p.m. durante 15 minutos decantándose el sobrenadante.

Rodríguez, (Rodríguez, 2008) plantea recolectar las hojas, tallos y flores de *I. batatas*, en el período de cosecha, trocear el material vegetal y secarlo en una estufa a una temperatura de 45 °C por un período de 72 horas, el material seco es molido hasta un diámetro de partícula de 0,5 mm, para extraer con agua en una relación de masa a volumen igual a uno en diez durante 24 horas con agitación. La filtración se realiza con papel del filtro Watman 40 colocado en un quitazato acoplado a una bomba de vacío para así obtener el extracto acuoso (Pool), al que posteriormente se somete a ultrafiltración con membranas.

## **3. Generalidades del Proceso de Ultrafiltración por Membranas.**

### **3.1. Membranas. Concepto. Características.**

Una alternativa de separación que pudiera usarse en la etapa de purificación del extracto con características alelopáticas es la variante de separación usando membranas, como propone Rodríguez.

El término membrana empleado en biofísica, biología y química designa un sistema sólido o líquido cuyo espesor es muy pequeño comparado con su superficie y que separa dos fases macroscópicas (generalmente líquidas) posibilitando un control selectivo de la transferencia de masa y energía entre ellas (Merson, 1968), citado por (Báez., 2006). Una definición de membrana según Palacios (1999) es la siguiente: *“Cualquier región que actúa como una barrera entre dos fluidos, restringiendo o favoreciendo el movimiento de uno o más componentes, de uno o ambos fluidos a través de ella”*.

Las propiedades de las membranas que influyen en el proceso de permeación o transporte son: el espesor, la solubilidad de las especies permeables, la carga eléctrica sobre la superficie, el ancho y la tortuosidad de los poros (Báez, 2006).

Las técnicas que existen actualmente con la utilización de membranas semipermeables cubren el más amplio intervalo de tamaños de separación, igualado solo por los procesos de separación centrífuga. Estas son la microfiltración (MF), la ultrafiltración (UF), la nanofiltración (NF), la ósmosis y la ósmosis inversa (O, OI), la diálisis (D) y la electrodiálisis (ED).

### **3.2. La ultrafiltración como técnica general.**

La ultrafiltración como técnica general (incluidas la nanofiltración, la ultrafiltración y la microfiltración) es una operación básica de la industria química que permite la separación y/o concentración de las sustancias contenidas en una disolución mediante la utilización de una membrana semipermeable y bajo la acción de un gradiente de presión.

Estas operaciones reemplazan o complementan los métodos tradicionales (filtración, centrifugación, evaporación, destilación, etc.) pudiendo reducir los costos, reducir los problemas de equipamiento y reduciendo el peligro de contaminación de los materiales, incrementándose la recuperación del producto con mayor pureza, entre otras.

La UF retiene en el concentrado las moléculas mayores o sea de mayor peso molecular mientras que en el permeado se acumulan las moléculas de menor dimensión junto al solvente, que normalmente es el agua. El tamaño de las

moléculas retenidas está en función del tipo de membrana semipermeable utilizada. Las membranas se comercializan por su umbral de corte (cut-off), es decir por el peso molecular de una sustancia que quedase retenida por la membrana en un 98 %. En la ultrafiltración los caudales de producto a tratar son menores, pero los flujos de permeado son mayores, debido al tamaño de los poros de las membranas.

En la Tabla 1.1 aparece un resumen con los umbrales de corte y las posibilidades de separación de los procesos de membrana cuya fuerza impulsora es la presión.

Tabla 1.1 Umbrales de corte para diferentes operaciones de Separación por membranas.

Proceso	Umbral de corte (Kilo Dalton)	Escala micrométrica ( $\mu m$ )	Rango de partícula
OI	< 0.3	<0.002	Iónico.
NF	0.180-18.0	0.001-0.01	Iónico.
UF	12.0-250.0	0.008-0.1	Molecular
MF	>100.0	0.07-10	Macromoléculas y Micropartículas.

### 3.4. Influencia de las variables de operación.

Se ha podido comprobar que las variables más importantes en el proceso son la presión, la velocidad media del flujo, la temperatura y el grado de concentración. Como el gradiente de presión es la fuerza impulsora de estos procesos (MF, UF Y OI), será la presión la primera en considerar. Cuando se ultrafiltra agua pura, un aumento de presión de operación provoca un aumento de la densidad de flujo de permeado (J). Sin embargo cuando se ultrafiltra una solución se alcanza un valor limite. De forma que un aumento posterior de la presión no hace que J aumente sino que solo logra aumentos en el consumo energético. Esta invariabilidad del flujo indica que se ha producido una polarización de gel en la capa fronteriza, en este momento la permeabilidad de la membrana depende tanto de las

características de la misma como del espesor de la capa fronteriza del concentrado y del espesor y porosidad del gel.

En cuanto a la velocidad, un aumento de la misma implica un aumento en el número de Reynolds y, por tanto, del coeficiente de transferencia de masa, lo cual hace que disminuya el gradiente de concentración entre la superficie de la membrana y el seno de la disolución, hasta que llega un momento en que ambas concentraciones son muy próximas por lo que un aumento de la velocidad ya no se traduce en un aumento en el valor de flujo de permeado.

El que tampoco se pueda modificar el grado máximo de concentración alcanzable viene también determinado por este hecho ya que, a concentraciones elevadas, aunque se aumente mucho la velocidad y se anule el gradiente de concentración, la concentración existente en el seno de la disolución no es lo suficientemente elevada como para generar una presión osmótica capaz de contrarrestar la presión aplicada en el lado del retenido.

Un aumento de la temperatura hace que aumente la permeabilidad de la membrana y el coeficiente de transferencia de masa, por lo que el valor de flujo de permeado aumenta, especialmente a bajas concentraciones, pero ese aumento de temperatura no modifica apreciablemente la concentración en la superficie de la membrana e incluso aumenta, aunque ligeramente, la presión osmótica generada para una concentración dada, la cual viene definida por la ecuación termodinámica de Gibbs que relaciona estos parámetros.

No obstante un aumento de la temperatura disminuye la viscosidad del fluido, incrementándose por tanto la difusividad y por ello un aumento de  $J$ . Ahora, existe una desventaja adicional al trabajar con temperaturas elevadas, ya que un aumento de la temperatura provoca una variación en las características de las sustancias tratadas. La selección de estas variables depende del objetivo de la operación y de la naturaleza de la corriente de alimentación.

En la Tabla 1.2 se relacionan los rangos de presión que corresponden a cada técnica de separación.

Tabla 1.2. Rangos de presión para diferentes operaciones.

<b>Técnica de separación</b>	<b>Rango de presión</b>
Osmosis Inversa	2.0 a 7.0 MPa
Ultrafiltración	0.3 a 1.3 MPa
Microfiltración	0.05 a 0.4 MPa

Es importante aclarar que estos rangos de operación no son fijos, por lo que para un determinado sistema podrían ser mayores o menores. Siempre estos tienen que ser determinados experimentalmente para obtener un mejor resultado.

### **Conclusiones Parciales**

- ❖ La especie *Ipomoea batatas* (boniato) posee un demostrado carácter alelopático, los extractos a partir de este cultivo estimulan la germinación de cultivos como el pepino y el sorgo entre otros.
- ❖ La actividad alelopática de la *Ipomoea batatas* se atribuye a la presencia de flavonoides y compuestos fenólicos.
- ❖ Aunque se conoce que el proceso de obtención de extractos pasa por diferentes etapas de separación, no se han determinado los parámetros de trabajo para las operaciones principales como lixiviación y ultrafiltración.



## *Capítulo II*

## Capítulo 2. Resultados Experimentales.

En la producción de los extractos con características alelopáticas para comprobar la actividad de los mismos, autores como Rodríguez, Aro, Tosco entre otros, proponen realizar las siguientes etapas:

- Etapa de Reducción de Tamaño
- Etapa de Secado
- Etapa de Lixiviación
- Etapa de Purificación

Para comenzar el trabajo de obtención de extractos es necesario determinar a nivel de laboratorio las propiedades físico – químicas del boniato, así como los parámetros de las operaciones de separación que requiere el proceso, las que quedan definidas como lixiviación y ultrafiltración.

### 2.1. Propiedades químicos - físicas del boniato

#### 2.1.1. Humedad del boniato

Se determinó la humedad del boniato por el método volumétrico, se colocó una masa de 50 g en una estufa a 100°C, se pesó cada una hora hasta que se mantuvo el peso constante, la humedad determinada fue de 85% BH para el boniato húmedo y de 17 % BS para el boniato seco. Se realizaron tres experiencias, los resultados se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resultados de la determinación de humedad.

		Material Húmedo	Material Seco	
Réplicas	Masa (g)	Humedad (%BH)	Humedad (%BH)	Humedad (%BS)
1	50	84,96	14,89	16,66
2	50	85,12	15,20	17,62
3	50	84,92	14,93	17,03
<b>Total</b>		<b>85,00</b>	<b>15,00</b>	<b>17,00</b>

### 2.1.2. Densidad aparente por asentamiento

Se determinó empleando el método de la probeta, en una probeta graduada se añaden 50 g de la muestra (tallos y hojas), pesados en una balanza con una precisión de 0,001 g, se distribuye el material en la probeta y finalmente se mide el volumen final ocupado por el mismo. Se realizaron tres experiencias y el resultado promedio fue de 254 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.1.3. Cantidad de aleloquímicos en el boniato

Estudios realizados por Sosa y Rodríguez, arrojaron que la cantidad de aleloquímicos presentes en el boniato es de 15% en base seca (BS).

### 2.1.4. Capacidad calorífica del boniato $C_{pb}$ .

Earle, propone evaluar la Capacidad Calorífica a partir de la expresión:

$C_p = (P/100) + 0,2(100 - P)/100$ , donde P es el por ciento (%) de agua del alimento. El boniato con humedad de 17% BS, el  $C_{pb}$  es igual a 0,336 kJ/kg °C.

Tabla 2.2. Resumen de las Propiedades Químico- Físicas

Parámetro	Resultado	Unidades
Humedad Boniato Húmedo	85	% BH
Humedad Boniato Seco	17	% BS
Densidad Aparente	254	kg/m <sup>3</sup>
Capacidad calorífica del Boniato	0,336	kJ/ kg °C

## 2.2. Definición de los parámetros de la operación de lixiviación.

### 2.2.1. Temperatura

Autores como Aguiar y Aro han definido la temperatura de trabajo igual a 80 °C, para la extracción de los aleloquímicos sin que los mismos pierdan su actividad. La temperatura es un parámetro de gran importancia en la conservación de los extractos, en estudios realizados por Rodríguez, (Rodríguez, 2008) se ha demostrado que a temperaturas ambientales (27 a 31°C) los extractos se

fermentan con facilidad, esto se debe a la población microbiana, a la presencia de azúcares en el boniato entre otras.

#### 2.2.2. Diámetro de partícula

En estudios anteriores se ha demostrado que el diámetro de partícula ejerce gran influencia en la operación de filtración, pues el boniato tiene unas sustancias llamadas saponinas que son extraídas cuando se utilizan diámetros de partículas muy pequeños (un milímetro), las mismas forman una torta muy compacta que impide el paso del filtrado, además es poco práctico moler los materiales biológicos a tamaño suficientemente pequeño para exponer el contenido de las células individuales, para lixiviar productos como hojas y tallos. Para dar solución a este problema se realizó el estudio con un diámetro de partícula mayor (un centímetro).

#### 2.2.3. Velocidad de agitación

La velocidad de agitación ya ha sido estudiada por diferentes autores, como es el caso de Aguiar y Aro que la han definido con un valor igual a 400 rpm, obteniendo buenos resultados en la extracción.

#### 2.2.4. Tiempo de contacto

El tiempo de contacto entre las fases es un parámetro de gran importancia a la hora de la lixiviación, el mismo no está definido, existen diversos de criterios reportados en la literatura consultada, se propone realizar la extracción tiempos de 30 minutos y una hora.

#### 2.2.5. Humedad de las materias primas (hojas y tallos de boniato).

Se conoce que los constituyentes solubles de los materiales biológicos suelen estar dentro de las células y la velocidad de lixiviación es bastante baja debido a que las paredes celulares constituyen una resistencia adicional a la difusión es por ello que el secado del material antes de la extracción ayuda a romper las paredes celulares, de esta manera, el disolvente ataca directamente al soluto (Geankoplis, 1998). Para comprobar este planteamiento se realiza el estudio para la extracción de los aleloquímicos con las materias primas secas y húmedas.

Resumiendo lo expresado anteriormente para determinar los parámetros de operación del proceso de lixiviación a nivel de laboratorio se realizó un diseño de experimentos mediante el programa StatGraphic Plus 4.1, se tienen en cuenta las variables siguientes:

1. Humedad del material sólido: húmedo o seco.
2. Tiempo de contacto: 30 min. y una hora.
3. Relación masa de sólido / volumen de solvente: 1/15 y 1/20.

Se mantienen constantes algunas variables como son: la temperatura igual a 80 °C, la velocidad de agitación igual a 400 rpm y el tamaño de partículas de un centímetro. El objetivo de este diseño es conocer la influencia de los parámetros mencionados en la extracción de los compuestos alelopáticos (compuestos fenólicos, y flavonoides) de la masa vegetal.

### **2.3. Descripción de la Metodología Experimental.**

#### **2.3.1. Material seco**

Se trocea la materia prima (hojas y tallos de boniato) en tamaños de un centímetro, se seca al sol durante un período de tiempo de 15 días, hasta una humedad de 15% base húmeda, se utilizan las relaciones de masa sólido/ volumen de solvente (1/15 y 1/20), se pesan 390 gramos del material seco, se añaden los volúmenes de solvente según corresponda (5,85 L y 7,80 L respectivamente) a un tanque enchaquetado de volumen igual a 10 litros, se agita a una velocidad de 400 rpm, por un tiempo de contacto de 30 minutos o una hora y luego se filtra.

#### **2.3.2. Material húmedo**

Se trocea la materia prima (hojas y tallos de boniato) en tamaños de un centímetro, se utilizan las relaciones de masa sólido/ volumen de solvente (1/15 y 1/20), se pesan 390 gramos del material húmedo se añaden los volúmenes de solvente según corresponda (5,85 L y 7,80 L respectivamente) a un tanque enchaquetado de volumen igual a 10 litros, se agita a una velocidad de 400 rpm, por un tiempo de contacto de 30 minutos o una hora y se filtra.

## 2.4. Resultados del diseño de experimento.

En la tabla 2.3 se muestran los resultados del diseño de experimento, se realizaron 3 experiencias para cada alternativa mostrada en la tabla y se reportan los resultados promedios.

Tabla 2.3 Resultados del diseño de experimento.

VARIABLES			RESULTADOS	
Humedad Material	Tiempo (min)	Relación (m/v)	C. Fenólicos (mg/L)	Flavonoides (mg/L)
Seco	30	1/15	51,940	6,835
Húmedo	30	1/15	3,6148	3,615
Seco	60	1/15	53,657	13,671
Húmedo	60	1/15	2,3851	2,3851
Seco	30	1/20	51,371	13,671
Húmedo	30	1/20	8,5428	0,3417
<b>Seco</b>	<b>60</b>	<b>1/20</b>	<b>69,589</b>	<b>57,106</b>
Húmedo	60	1/20	3,3062	3,0361

## 2.5. Análisis de los Resultados

Como se observa en la tabla 2.3 los mayores resultados para la concentración de los compuestos alelopáticos (compuestos fenólicos y flavonoides) en los extractos se manifiesta cuando se trabaja con el material seco, tal y como era de esperar, también es interesante la influencia de la cantidad de solvente, debido a la baja densidad del material vegetal.

Para determinar los parámetros de la operación de lixiviación, se analizaron las respuestas de las variables por separado y de esa forma determinar las mejores condiciones de operación.

### 2.5.1. Extracción de Flavonoides.

En el análisis de varianza (ANOVA) las variables fueron: la humedad del material (húmedo y seco), el tiempo de contacto, la relación masa de sólido/ volumen de solvente y interacciones entre ellas. Como se aprecia en la figura 2.1, todas las

variables y las combinaciones (el material y la relación masa / volumen, el material y el tiempo de contacto, la relación masa / volumen y el tiempo) fueron significativas con una  $R^2 = 94.53\%$  y una P-value  $< 5\%$ , siendo la variable de mayor influencia la humedad del material. (Anexo 1).

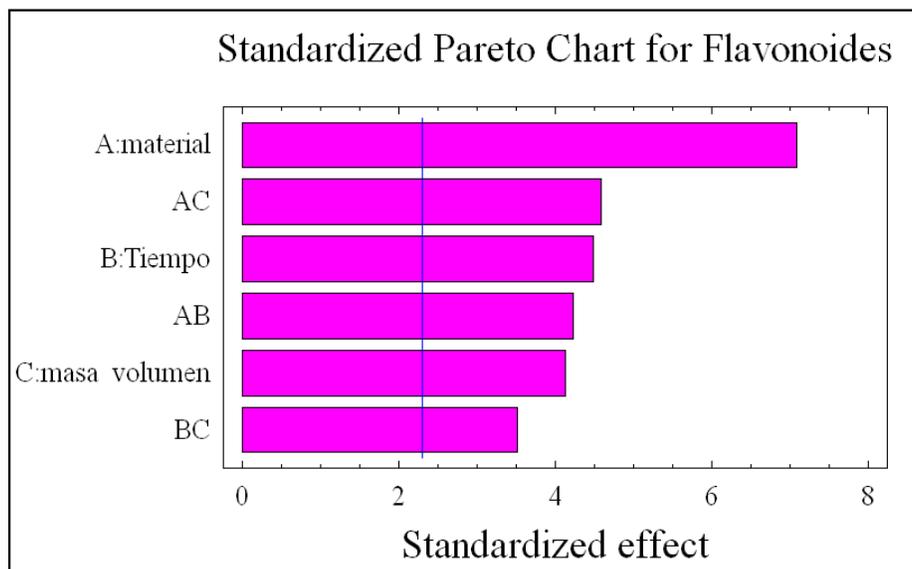


Figura 2.1. Gráfico de Pareto para Flavonoides

La influencia del tiempo y la humedad del material en la extracción de flavonoides, se puede apreciar en la figura 2.2, en la misma se muestra que a medida que el tiempo tiende a su valor máximo con el material seco, le corresponden los valores máximos a los flavonoides. Para analizar la influencia de la humedad, para un tiempo constante y diferentes valores de humedades, se aprecia que el material más seco le corresponde los valores mayores de los flavonoides, ocurre de manera similar para el caso de la humedad constante y analizando diferentes tiempos, al mayor tiempo se obtiene una mayor cantidad de flavonoides.

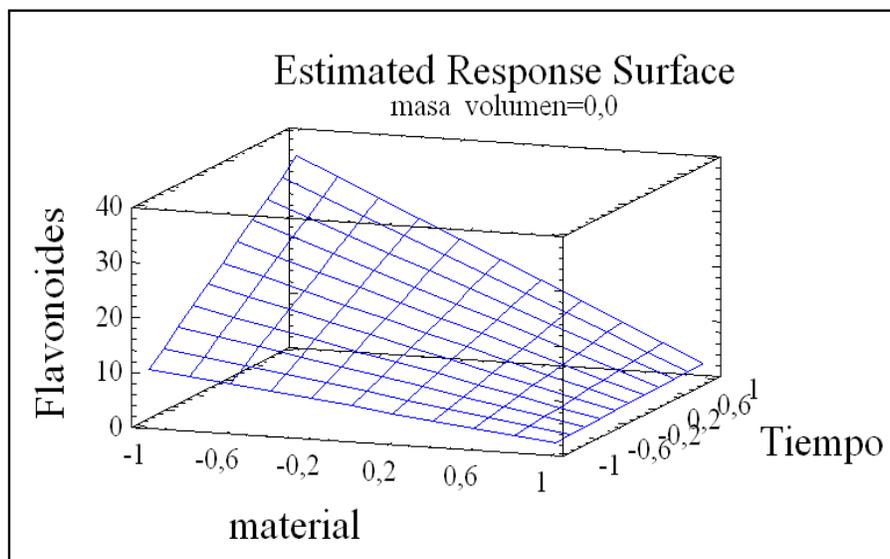


Figura 2.2. Relaciones entre material, tiempo y extracción de flavonoides.

### 2.5.2. Extracción de compuestos fenólicos.

En el análisis de varianza (ANOVA) las variables fueron: la humedad del material (húmedo y seco), el tiempo de contacto, la relación masa de sólido/ volumen de solvente y las combinaciones entre ellas. Como se aprecia en la figura 2.3, las variables significativas fueron la humedad del material, la interacción entre humedad del material - tiempo y la relación masa de sólido/volumen de solvente. En este caso el tiempo no tiene influencia en la extracción de los compuestos fenólicos ni las interacciones tiempo –relación masa/volumen y material – relación masa/volumen. Coincide con los resultados de los flavonoides que la más significativa es la humedad del material, con un  $R^2 = 99.07\%$  y con  $P\text{-value} < 5\%$  en los tres casos que resultaron significativos. (Anexo 2).

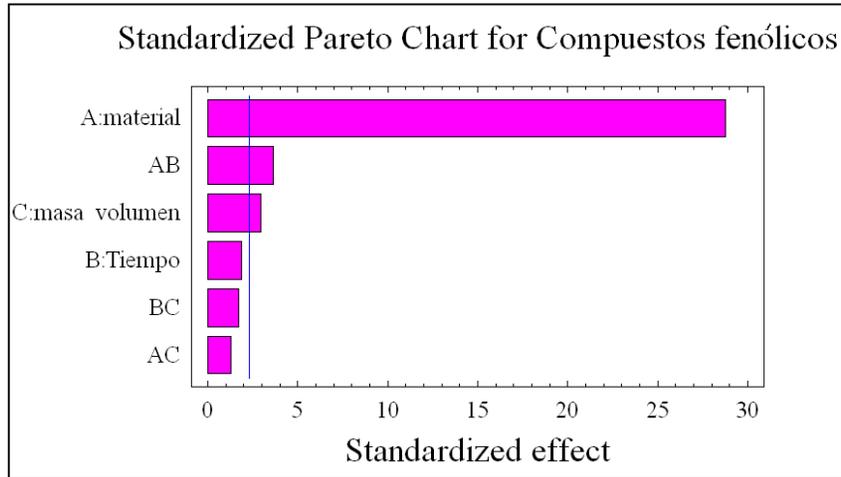


Figura 2.3. Gráfico de Pareto para Compuestos Fenólicos.

La influencia de la humedad del material en la extracción de los compuestos fenólicos, se observa en el figura 2.4, para el material más seco le corresponden los valores de los compuestos fenólicos mayores.

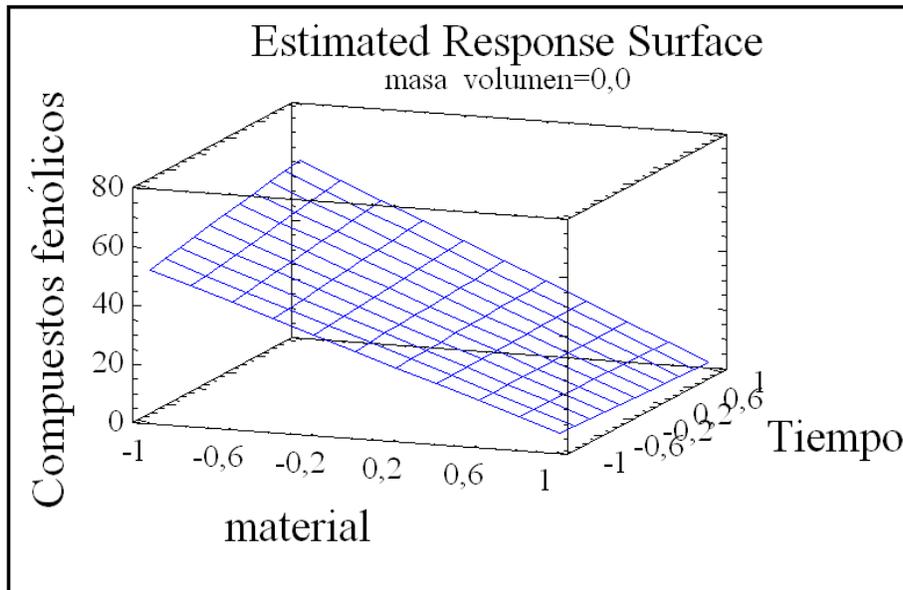


Figura 2.4. Relaciones entre material, tiempo y extracción de Compuestos Fenólicos.

## 2.6. Etapa de purificación con membrana (Ultrafiltración).

Con los parámetros definidos para la operación de extracción, se continúa con el estudio en la etapa de purificación de los extractos con características alelopáticas. Para ello se utiliza un módulo de membrana, con membranas de diámetros de los poros iguales a 10 000Da y 150 000 Da, que han sido estudiados anteriormente por Rodríguez, 2008, en el caso del diámetro de poro igual a 10 000 Da la solución no atravesó la membrana, esto puede deberse a un ensuciamiento de las mismas o al reducido diámetro de los poros. Se realizaron tres experiencias para el diámetro de 150 000 Da y en la tabla 2.4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 2.4. Resultados de la Ultrafiltración.

Ultrafiltración		Permeado (mg/L)		Rechazo (mg/L)	
Exp.	Diámetro de poro	Compuestos Fenólicos	Flavonoides	Compuestos Fenólicos	Flavonoides
1	150 000 Da	13,68	50,33	13,76	68,49
2	150 000 Da	13,65	50,23	12,97	68,62
3	150 000 Da	13,66	50,15	14,3	68,44
<b>Total</b>		<b>13,66</b>	<b>50,23</b>	<b>13,67</b>	<b>68,51</b>

Como se observa en la tabla 2.4 la concentración de los compuestos fenólicos y flavonoides tanto en el rechazo como en el permeado es la misma, esto demuestra que el diámetro de poro de 150 000 Da no separa los compuestos alelopáticos.

### Conclusiones Parciales

- ❖ Se determinaron las propiedades químico - físicas del boniato necesario para continuar el trabajo.
- ❖ Los mejores resultados para la extracción se obtienen para una relación sólido solvente de 1/20, un tiempo de contacto de una hora y usando el material seco.
- ❖ El proceso de purificación no demuestra ser eficiente para los diámetros de poros de las membranas estudiados.



## *Capítulo III*

**Capítulo 3. Diseño y Análisis Económico de una Planta Piloto para la obtención de extractos con características alelopáticas.**

Una vez determinados los parámetros de trabajo para la operación de lixiviación, en este capítulo se realizará el diseño a escala de planta piloto para obtener el extracto con características alelopáticas.

**3.1. Propuesta y evaluación del esquema tecnológico. Balances de Masa y Energía.**

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques con las etapas del proceso de obtención de extractos con características alelopáticas.

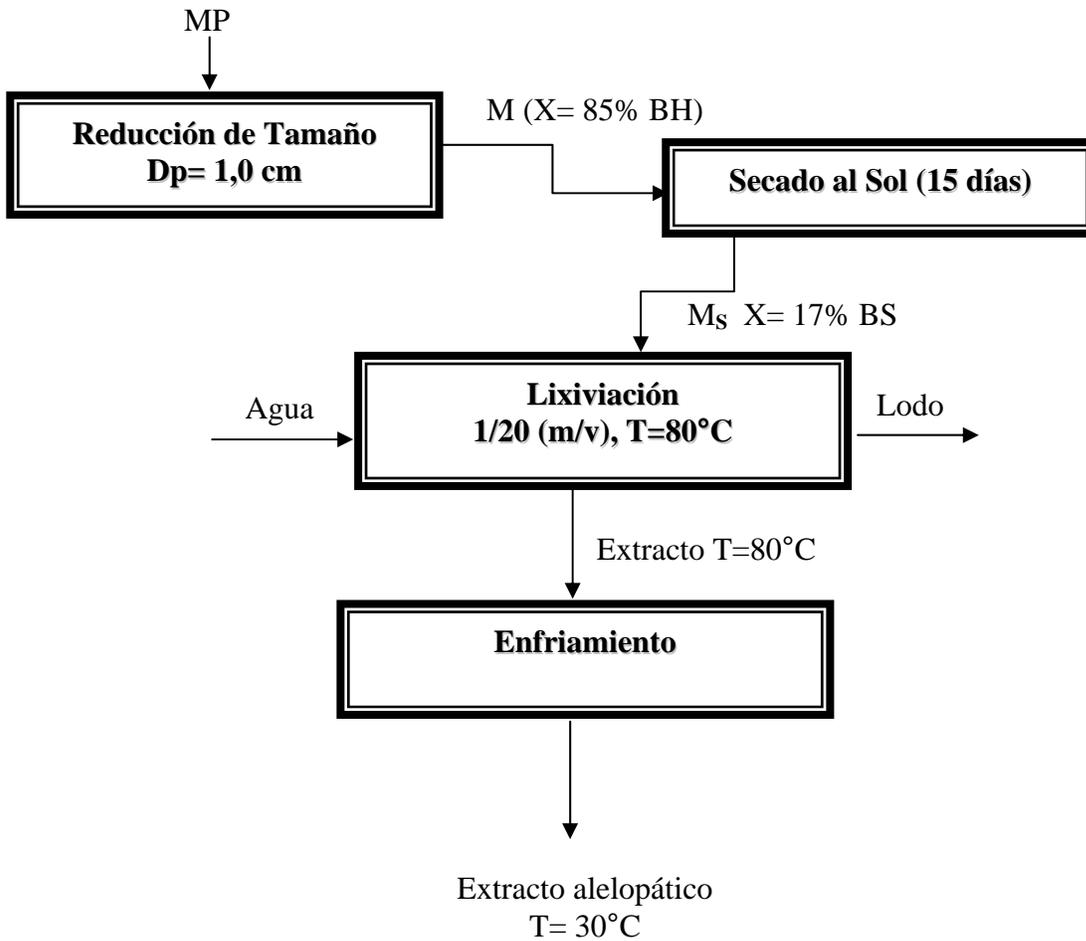


Figura 3.1 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Extracto Alelopático

### *Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Se propone trabajar con 1500 Kg. de desechos de boniato al día, lo que permitirá la producción de la cantidad de extracto necesaria para las necesidades de las cosechas de la región central del país, partiendo de esta premisa se procede a la realización de los balances de materiales y energía.

#### **3.2. Balances de Materiales y Energía**

##### ❖ Etapa de Lixiviación

En esta etapa se extraen los compuestos que presentan las características alelopáticas, llamados aleloquímicos (compuestos fenólicos, flavonoides, etc.) utilizando agua como solvente.

Los cálculos se realizaron según la metodología planteada por Treybal, (Treybal, 2000) y se toma como base de cálculo un día de operación.

##### Nomenclatura para los Balances de Materia:

A: Solvente (agua).

B: Sólido inerte en los tallos y las hojas de boniato.

C: Solute (aleloquímicos).

F: Kg de A+C en la alimentación.

E<sub>1</sub>: Kg de A+C en el sólido lixiviado.

R<sub>0</sub>: Kg de A+C en el solvente.

R<sub>1</sub>: Kg de A+C en la solución de lixiviación.

X:  $\frac{KgC}{Kg(A+C)}$  en la solución.

Y:  $\frac{KgC}{Kg(A+C)}$  en el sólido.

N:  $\frac{KgB}{Kg(A+C)}$  (solución retenida en el sólido)

##### Nomenclatura para los Balances de Energía:

ρ - Densidad, kg/m<sup>3</sup>

μ- Viscosidad, Pa-s

C<sub>p</sub> - Capacidad calorífica, kJ/kg °C

λ - Calor latente de vaporización, kg/kg

Q - Flujo de calor, kJ

P<sub>s</sub>, T<sub>s</sub> - Presión y temperatura del vapor de agua saturado, atm y °C

T, t -Temperaturas de las corrientes frías y calientes, °C

h<sub>a</sub> - Coeficiente combinado de convección y radiación

Q<sub>p</sub> - Calor transferido por pérdidas en el equipo

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

<b>Tabla 3.1 Balance de Masa en la Extracción</b>		
<b>Datos</b>	<b>Ecuaciones</b>	<b>Resultados</b>
Humedad= 17 % BS	$F = (\% \text{aleloquímicos} + \% \text{agua}) * M_{\text{boniato}}$	480,00 kg/d
Aleloquímicos MP= 15 % BS	$B = M_{\text{boniato}} - F$	1020,00 kg/d
	$N_F = B / F$	2,13
$R_o = 29\ 871 \text{ kg/d}$	$R_1 = \text{kg agua} + \text{kg aleloquímicos en el líquido}$	13480 kg/d
$M_{\text{boniato}} = 1500 \text{ kg/d}$	$E_1 = \text{kg agua} + \text{kg aleloquímicos en el sólido}$	16870,33 kg/d
$M_{\text{agua}} = 29,871 \text{ t/d}$	$X_1 = C / (A + C)_{\text{en el líquido}}$	0,0200
$\rho_{\text{boniato}} = 254 \text{ kg /m}^3$	$Y_1 = C / (A + C)_{\text{en el sólido}}$	0,0009
$\rho_{\text{agua } 30^\circ\text{C}} = 995,7 \text{ kg/m}^3$	Aleloquímicos en el líquido lixiviado= $R_1 * X_1$	269,61 kg
$\rho_{\text{agua } 80^\circ\text{C}} = 971,8 \text{ kg /m}^3$	Aleloquímicos en el sólido lixiviado= $E_1 * Y_1$	15,18 kg
carga/ día = 6	Agua en el líquido lixiviado = $0,5769 * R_o$	17232,58 kg
Tiempo de 1 carga = 1 h	Agua en el sólido lixiviado = $0,4231 * R_o$	12638,42 kg
	$N_1 = B / E_1$	0,0605

```

graph LR
    B[Boniato seco] --> E[Extracción de Aleloquímicos]
    A[Agua] --> E
    E --> S[Sólido lixiviado]
    E --> W[Agua+aleloquímicos]
    
```

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

<b>Tabla 3.2 Balance de Energía en la Extracción</b>		
<b>Datos</b>	<b>Ecuaciones</b>	<b>Resultados</b>
M <sub>boniato</sub> =750 kg/d=125 kg/carga (en cada tanque)	$Cp_{mezcla} = \%_{boniato} * Cp_b + \%_{agua} * Cp_{agua}$	3,99 kJ/kg K
M <sub>agua</sub> =29871kg/d=2489,25kg/carga	$M_{tanque1} = M_{tanque2} = M$	2614,25 kg/carga
Ps <sub>vapor</sub> =10.68 atm	$M = M_{agua} + M_{boniato}$	
Ts <sub>vapor</sub> =183.28°C	$Q_1 = M_{tanque1} * Cp_{mezcla} * (T_2 - T_1)$	573697,16 kJ/carga
λs=478.63 Kcal/Kg=2000,67 kJ/kg	$Q_2 = M_{tanque2} * Cp_{mezcla} * (T_2 - T_1)$	573697,16 kJ/carga
Cp <sub>boniato</sub> = 0,336 kJ/kg K	$Mv_1 = Q_1 / λs$	286,75 kg/carga
Cp <sub>agua</sub> = 4,18 kJ/kg K	$Mv_2 = Q_2 / λs$	286,75 kg/carga
Horas de trabajo por día: 8 h	$ha = 9.5 + 0.053 * (T_2 - T_a)$	12,26 W/m <sup>2</sup> °C
carga/día: 6	$Qp_1 = Qp_2 = ha * Dj * π * (T_2 - T_a)$	10,55 cal/hm <sup>2</sup> °C
Tiempo de duración: 1hora	$Mv_{Rep1} = Qp_1 / λs$	1034,11 kJ/carga
T <sub>1</sub> = 25°C	$Mv_{Rep2} = Qp_2 / λs$	0,52 kg/carga
T <sub>2</sub> = 80 °C	$\%pérdidas = (Q_1 + Q_2) / (Qp_1 + Qp_2) * 100$	0,18
T <sub>ambiente</sub> = T <sub>a</sub> = 28 °C	$Mv_{Total} = Mv_1 + Mv_2 + Mv_{Rep1} + Mv_{Rep2}$	574,54 kg/ carga
Pérdidas de agua = 42,31 %	$Mv_{Total} / d = Mv_{Total} * 6$	3447,23 kg/día
η = 100% (eficiencia de la TC)		

### 3.3. Selección y Diseño de los Equipos Tecnológicos (Ulrich, 1985).

#### 3.3.1. Transportadores de sólidos

Para alimentar el sólido a los tanques de mezclado en necesario transportar entre los transportadores de sólidos se encuentran los siguientes:

- Transportador de tornillo sin fin.
- Transportador de banda.
- Transportador de cangilones.

En el Anexo 3, se especifican las características de estos equipos para el transporte de sólidos. Se escogió el transportador de banda, porque no tiene limitaciones para el tipo de material a transportar, es de bajo costo y un consumo de potencia bajo.

### **3.3.2. Trituradores**

Las materias primas (hojas y tallos de boniato) tienen un largo de medio metro aproximadamente, y en el proceso es necesario reducirlas a un tamaño de un centímetro, para eso se pueden utilizar los siguientes trituradores:

- Molino de martillo.
- Molinos de energía de fluidos o de chorro (jet).
- Cortadoras.

De acuerdo al uso y a las especificaciones (Anexo 4) se escoge la cortadora porque es la más adecuada para el tipo de materiales y tiene un moderado costo.

### **3.3.4. Agitadores**

Para el diseño de los agitadores, se necesita realizar una selección de los mismos de acuerdo al uso que tendrán, en el Anexo 5 se muestran las especificaciones técnicas.

- Agitadores de turbina.
- Agitadores de paletas.
- Agitadores de propelas marinas (hélice).

Se escoge el agitador de propela marina, porque cumple con los requerimientos de la lixiviación, es decir, trabajar con por cientos de sólidos en el líquido inferiores a 50%, bajo costo, bajo consumo de energía, provocar la agitación en grandes volúmenes de líquidos y además se pueden colocar varios agitadores en el mismo eje para asegurar el mezclado en todo el recipiente. Por esa razón se procede al diseño del mismo.

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Tabla 3.3 Resultados del diseño del Agitador de Hélice

Datos	Ecuación	Resultados	Referencia
<b>Agitador de Propela Marina o Hélice (Extracción de aleloquímicos)</b>			
$D_{\text{tanque}} = 0,22 \text{ m}$ $H_{\text{tanque}} = 0,5 \text{ m}$ $n = 400 \text{ rpm}$ $\rho = 971,8 \text{ Kg/m}^3$ $\mu = 0,0008 \text{ Pa-s}$ b- ancho de la paleta d- diámetro del agitador	$d = 0,33 \cdot D$ $b/d = 0,2$ $Re_m = n d^2 \rho / \mu$ $K_N = N / \rho n^3 d^5$ $N = K_N \text{ corregido } \rho n^3 d$ $N_{\text{arranque}} = 2 \cdot N$	$d = 0,073 \text{ m}$  Curva N° 7 $b = 14,6 \text{ mm}$ $Re_m = 4,31 \cdot 10^5$ (Régimen Turbulento) $K_N = 0,48$  $K_N \text{ corregido} = 0,72$ $N = 0,43 \text{ W}$ $N_{\text{arranque}} = 0,86 \text{ W}$	(Rosabal, 2006) Tabla. 21 Tabla 9.1  Fig. 9.7

**3.3.5. Tanques de extracción de los compuestos alelopáticos.**

Para realizar el diseño de los tanques de extracción se emplea el método de escalado, a partir de los datos obtenidos a escala de laboratorio.

El estudio se realizó en un mezclador modelo de 10 litros, el escalado del equipo se realiza de acuerdo a la demanda del extracto con características alelopáticas, la misma se garantiza empleando dos tanques de capacidad igual a  $2,0 \text{ m}^3$  cada uno, realizando la operación en 6 cargas por día, con una hora de duración cada una.

El criterio de escalado más utilizado para procesos controlados por la carga es el de potencia por unidad de volumen constante, por lo que se decide aplicar los criterios de similitud geométrica y el de potencia por unidad de volumen constante para hallar las proporciones del mezclador a una escala superior.

A partir de los datos del modelo se realizará el escalado del mezclador, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

- Existe similitud geométrica entre el diámetro del modelo y del prototipo, es decir, la forma del prototipo será igual a la forma del modelo, tanto para lo que concierne al tanque como al agitador, tomando como criterio de similitud geométrica la relación:

$$D_2 / D_1 = (V_2 / V_1)^{1/3} \text{ (Rosabal, 2006).}$$

- En el escalado de los tanques de mezclado se toma en cuenta el criterio: potencia por unidad de volumen constante.

La metodología de escalado se aplica de la siguiente forma:

Tabla 3.4 Resultados del diseño del tanque de mezclado.

<b>1. Similitud Geométrica. (Rosabal, 2006).</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Datos</b>	<b>Ecuaciones</b>	<b>Resultados</b>
D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub> = 0,22 m	$\frac{D_2}{D_1} = \frac{d_2}{d_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{1/3}$	d <sub>2</sub> = 0,45 m
	d <sub>1</sub> = 0,0784 m		
d <sub>1</sub>	V <sub>1</sub> = 10 L		D <sub>2</sub> = 1,26 m
	V <sub>2</sub> = 2000 L		
<b>2. Potencia por Unidad de Volumen Constante</b>			
H <sub>2</sub>	H <sub>1</sub> = 0,35 m	$H_2 = \frac{V_2}{\pi * D_2^2 * 4}$	H <sub>2</sub> = 1,60 m
A <sub>R</sub>	ρ = 971,8 kg/m <sup>3</sup>		Ar = 9487926,35
n <sub>2</sub>	ρ <sub>p</sub> = 334,2 kg/m <sup>3</sup>		
Re <sub>m1</sub>	μ = 0,357 cP	$A_R = \frac{D_p^3 \cdot \rho \cdot (\rho_p - \rho) \cdot g}{\mu^2}$	Re <sub>m1</sub> = 8,96 * 10 <sup>□</sup>
Re <sub>m2</sub>	n = 400rpm = 6,67 rps		Re <sub>m2</sub> = 2,44 * 10 <sup>□</sup>
P <sub>1</sub>	D <sub>p</sub> = 0,01 m	$R_{em} = C \cdot Ar \cdot \left( \frac{D_p}{d} \right)^{0.5} \left( \frac{D}{d} \right)^k$	KN <sub>1</sub> corregido = 0,56
P <sub>2</sub>	k = 1,0		
KN <sub>1</sub> corregido	Z = 3	$P = K_{N.corregido} \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5$	KN <sub>2</sub> corregido = 0,34
KN <sub>2</sub> corregido	C = 6,6	$\frac{P_2}{V_2} = \frac{P_1}{V_1}$	P <sub>1</sub> = 0,47 W
	α = 40°		P <sub>2</sub> = 141 W
	Para A <sub>R</sub> entre 2.4*10 <sup>4</sup> - 4.1*10 <sup>11</sup>	$n_2 = \sqrt[3]{\frac{P_2}{K_{N.corregido} \cdot \rho \cdot d_2^5}}$	n <sub>2</sub> = 225 rpm
	D <sub>p</sub> /d entre 2.33*10 <sup>4</sup> - 1.2*10 <sup>-2</sup>		

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Nomenclatura:

$d_1$  y  $d_2$ : Diámetro del impelente modelo y del impelente prototipo.

$D_1$  y  $D_2$ : Diámetro interior de los tanques de extracción del modelo y prototipo.

$V_1$  y  $V_2$ : Volumen total del tanque modelo y del prototipo.

$H_1$  y  $H_2$ : Altura del tanque modelo y prototipo.

Ar: Criterio de Arquímedes

$Re_{m1}$  y  $Re_{m2}$ : Criterio de Reynolds modificado para el modelo y el prototipo.

$K_{N1}$  corregido y  $K_{N2}$  corregido: Número de potencia para el modelo y el prototipo

$P_1$  y  $P_2$ : Potencia de agitación del modelo y del prototipo

$n_1$  y  $n_2$ : Velocidad de agitación del modelo y del prototipo

$\rho$ ,  $\rho_p$ : Densidad de la mezcla y de la partícula

$\mu$ : Viscosidad de la mezcla

$D_p$ : Diámetro de la partícula

C y k: Constantes de la ecuación de  $Re_m$

z: Número de paletas

$\alpha$ : Ángulo de inclinación del plano de las paletas con la horizontal.

Tabla 3. 5 Resultados para el tanque modelo y prototipo.

Parámetros	Valores		Unidades
	Prototipo	Modelo	
Volumen Total (V)	2000	10	L
Diámetro del extractor (D)	1,26	0,22	M
Altura total del tanque (H)	1,60	0,35	M
Diámetro del impelente (d)	0,45	0,078	M
Temperatura del equipo (T)	80	80	$^{\circ}\text{C}$
Número de Reynolds ( $Re_m$ )	$2,44 \cdot 10^6$	$8,96 \cdot 10^5$	-
Potencia del agitador (P)	141	0,47	W
Velocidad de mezclado (n)	400	225	rpm

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

La etapa de extracción sólido – líquido está compuesta por:

- Dos tanques de extracción.
- Agitador de hélice con 3 paletas y accesorios.
- Serpentín del vapor para el calentamiento hasta 80°C.
- Dispositivo para la filtración o retención del boniato en el tanque.

### **3.3.6. Diseño del Serpentín de vapor.**

Se necesita un intercambiador de calor para mantener la temperatura de 80°C en la etapa de extracción. Para esto se propone un serpentín de vapor.

#### ❖ Cálculo del Serpentín de Vapor

Datos

$M=2614,25\text{kg/carga}=5878,99\text{ lb/carga}$	$R_d = 0.00088\text{ m}^2\text{ }^\circ\text{C/W}$
$C_p = 3,99\text{kJ/kg }^\circ\text{C}=0,998\text{ BTU/lb }^\circ\text{F}$	$t_1 = 25^\circ\text{C} = 77\text{ }^\circ\text{F}$
$T_{1\text{ vapor sat}} = 183,28\text{ }^\circ\text{C}= 387,54^\circ\text{F}$	$t_2 = 80^\circ\text{C} = 201,6\text{ }^\circ\text{F}$
$T_2 = 183,28\text{ }^\circ\text{C} = 387,54^\circ\text{F}$	$\theta = 10\text{ min} = 0,17\text{ horas}$
$\lambda_v = 319,68\text{ kJ/kg} = 76,48\text{ kcal/kg}$	$T_a = 28\text{ }^\circ\text{C} = 108\text{ }^\circ\text{F}$
$\lambda_v = 303\text{ BTU/lb}$	$D_{\text{serpentín}}=0,80\text{ m}$
$k_{\text{fluido}} = 0,398\text{ BTU/ (hpie}^2) (\text{ }^\circ\text{F/pie)}$	$DE = 0,0381\text{m} = 1,5\text{ plg}$
$n_2 = 225\text{ rpm} = 13500\text{ rph}$	$DI = 0,0345= 1,36\text{ plg}$
$d_2 = 0,52\text{ m} = 1,71\text{ pie}$	BWG 16
$H_2 = 1,90\text{ m} = 6,23\text{ pie}$	$A_{\text{flujo tubo}} = 0,0009 = 1,44\text{ plg}^2$
$D_j = 1,47\text{ m} = 4,82\text{ pie}$	$S_{\text{pie lineal}} = 0,0999= 0,3271\text{pie}^2/\text{pie}$
$\rho = 971,8\text{ kg/m}^3 = 60,54\text{ lb/pie}^3$	Duración de un carga = 1 hora
$\mu = 0,337 \cdot 10^3\text{Pa s} = 0,86\text{ lb/pie-h}$	$h_{io}=8505\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}=1500\text{ BTU/hpie}^2\text{ }^\circ\text{F}$

Se sigue la metodología propuesta por Kern, (Kern, 1999), la que se encuentra desarrollada en el Anexo 7. En la tabla 3.6 se muestran los resultados.

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Tabla 3.6. Resultados del diseño del serpentín de los tanques de extracción.

<b>Requerimientos Energéticos</b>				
<b>Parámetros</b>		<b>Resultados</b>		<b>Unidades</b>
Número de serpentines		2		-
Temperatura de trabajo		80		°C
Calor Transferido en cada tanque		544583,30		BTU/carga
		573642,30		kJ/carga
		3441853,80		kJ/d
Masa de vapor total en cada tanque		8693,35		lb/ carga
		3951,52		Kg/carga
		23709,12		Kg/d
<b>Diseño del Serpentín de Vapor</b>				
Coeficientes peliculares		$h_{io}$	3819,59	$W/m^{2\circ}C$
		$h_o$	8640	$W/m^{2\circ}C$
Coeficientes totales		$U_C$	2641,48	$W/m^{2\circ}C$
		$U_D$	737,10	$W/m^{2\circ}C$
Área de transferencia de calor		217,37		$pie^2$
		20,19		$m^2$
Área de una vuelta		8,23		$pie^2$
		0,76		$m^2$
Número de vueltas		27		-
Altura del serpentín		1,50		m
Diámetro del serpentín		0,80		m
Distancia entre vueltas		10,30		Cm
Diámetro ext. del tubo		1½		Plg

### 3.3.7. Recipientes de almacenamiento para el proceso.

Se necesitan cuatro tanques para el almacenamiento de las diferentes corrientes. Las dimensiones de estos se muestran en las tablas 3.8, 3.9 y 3.10.

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Tabla 3.8. Tanque de almacenamiento del Extracto Alelopático

Volumen	14	m <sup>3</sup>
Diámetro	2,986	M
Altura	2,0	M
Material de construcción	Acero inoxidable	
Sustancias a manipular	Extracto acuoso	
Temp. de almacenamiento	30	°C
Presión de trabajo	1	Atm

Tabla 3.9. Tanque de recolección del extracto.

Volumen	3,0	m <sup>3</sup>
Diámetro	1,78	M
Altura	1,20	M
Material de construcción	acero inoxidable	
Sustancias a manipular	Agua	
Temp. de almacenamiento	80	°C
Presión de trabajo	1	Atm

Tabla 3.10. Tanque de agua de proceso.

Volumen	30	m <sup>3</sup>
Diámetro	3,0	M
Altura	6,0	M
Material de construcción	Acero al	
Sustancias a manipular	Agua	
Temp. de almacenamiento	25	°C
Presión de trabajo	1	Atm

### 3.3.8. Requerimientos del proceso

Los requerimientos del proceso se reportan en la tabla 3.11, en la misma se reflejan los principales índices de consumo energético de cada equipo.

**Tabla 3.11. Requerimientos energéticos de cada equipo**

Equipo	Requerimientos	Valor	Unidades
Tanque de extracción	Vapor sat.	21 310	Kg/día
	Electricidad	1.20	kW
Tanque de extracción	Vapor sat	21 310	Kg/día
	Electricidad	1.20	kW
<b>TOTAL</b>	<b>Vapor sat.</b>	<b>42 620</b>	<b>Kg/día</b>
	<b>Electricidad</b>	<b>2,40</b>	<b>Kw</b>

### 3.4. Análisis económico de la planta piloto para la producción de extracto alelopático.

Una vez dimensionados los equipos fundamentales de la planta, se efectuó el análisis económico de la misma, sobre la base del cálculo del costo de inversión, el costo de producción, la ganancia y los indicadores de rentabilidad.

El estimado de los indicadores se obtuvo aplicando la metodología planteada por Peter (*Peter, 2003*). Se asume un precio de venta del extracto de 1,39 \$/L teniendo en cuenta valores estimados para otros extractos alelopáticos.

#### 3.4.1. Estimado del Costo Total de Inversión del proyecto.

Para el estimado del costo total de inversión, se determinó el costo del equipamiento utilizado.

##### ❖ Costo de Inversión.

Costo de Inversión = Inversión Fija + Inversión de trabajo

Inversión Fija = Costos Directos + Costos Indirectos

##### ❖ Costos del Equipamiento:

Costo actual = Costo Original \* índice actual / índice original

Índice Original 109.1 (Peter, 1967)

Índice Actual 525.4 (Chemical Engineering, 2008)

Costo actual = Costo Original \* 4.816

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

En la tabla 3.12 se muestran los costos de los equipos fundamentales de la Planta. Estos costos fueron obtenidos a partir de varias fuentes: (Peter, 1991), (Ulrich, 1985), y (Perry, 1999).

**Tabla 3.12. Costo del Equipamiento**

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Actual(\$)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Cortadora	1	1450	1450
Elevador de Banda	1	530	530
Tuberías y accesorios		1250	1250
Tanque Extracción	2	11 500	23000
Bombas(B-1)	2	2650	5300
Tanque de almacenamiento agua	1	6300	6300
Tanque de almacenamiento extracto	1	5000	5000
Tanque de mezclado	2	4300	8600
<b>Total</b>			<b>51430</b>

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Tabla 3.13. Costos Directos e Indirectos

		Indicador	Fórmula	Costo	
Costos directos		Equipamiento	-	\$ 51 430	
		Instalación de equipos	6% del costo de equipamiento	\$ 3 085.80	
		Aislamiento	1% del costo de equipamiento	\$ 514.30	
		Instrumentación y control	2% del costo de equipamiento	\$ 1028.60	
		Tuberías	4% del costo de equipamiento	\$ 2 057.20	
		Instalaciones eléctricas	2% del costo de equipamiento	\$ 1028.60	
	Servicios		Generación de vapor	2% de la inversión fija	0.02*IF
			Distribución del vapor	1% de la inversión fija	0.01*IF
			Suministro de agua	1% de la inversión fija	0.01*IF
			Distribución de la electricidad	0.4% de la inversión fija	0.004*IF
Costos indirectos		Supervisión y Ingeniería	4% de la inversión fija	0.04*IF	
		Gastos de construcción	2% de la inversión fija	0.02*IF	
		Gastos de puesta en marcha	1% de la inversión fija	0.01*IF	
		Imprevistos	2% de la inversión fija	0.02*IF	

Inversión Fija (IF) = Costos Directos (CD) + Costos Indirectos (CI)

**IF = \$ 91 174.10**

Inversión de trabajo (It) = \$4525.84

Costo de Inversión total (IT) = Inversión fija (IF) + Inversión de trabajo (It)

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

**IT = \$ 96 174.10 (Inversión total del proyecto)**

**3.4.1. Costos totales de producción.**

En el estimado del Costo de Producción, para la obtención del producto de la tecnología propuesta, se tuvieron en cuenta, los gastos de materia prima, mano de obra y requerimientos del proceso, los demás elementos se determinaron, según la metodología expuesta por Peter (Peter, 2003).

Costos Totales de Producción (CTP) = Costos de Fabricación (CF) + Gastos Generales (GG)

Costos de fabricación (CF) = Costos Directos (CD) + Costos Fijos (CF) + Costos Indirectos (CI)

❖ Costo de la materia prima:

En la tabla 3.14 se muestran los costos de las materias primas.

Tabla 3.14. Costo de las materias primas empleadas

<b>Materia Prima</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Restos de la cosecha de boniato	3 \$/ton	1,5 ton/día	4,5 \$/día 1350 \$/año
Agua	0,08 \$/kg	30 ton/día	2400 \$/día 720 000 \$/año
<b>Costo Total de las Materias Primas</b>			<b>2 400 \$/día</b> <b>720 000 \$/año</b>

❖ Costo de la mano de obra:

La cantidad de obreros es: 2 obreros (tabla 21 del Peter)

Costo Mano Obra = 4 800 \$/año

❖ Costo de la electricidad:

La potencia requerida para la planta es: 10,2 kW

El precio de la electricidad es 0.09 \$/kW-h

Costo Electricidad = 0,918 \$/día = 275,4 \$/año

❖ Costo del vapor de agua saturado:

Cantidad de vapor a utilizar: 42 620 Kg/día

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Precio del vapor: 0.009 \$/Kg de vapor

Costo del consumo de vapor = 383,60 \$/día =115 074 \$/año

En la tabla 3.15 se muestran los resultados del cálculo de los costos de fabricación.

Tabla 3.15. Costos de Fabricación.

Costos de fabricación	Costos directos de producción	Indicador	Fórmula	Costo/día	Costo/año
		Materias primas	-	\$ 2 400	\$ 720 000
		Mano de obra	-	\$ 16	\$ 4 800
		Supervisión	0.1*Mano de obra	\$ 1,6	\$ 480
		Requerimientos de electricidad, vapor y agua	-	\$ 384.61	\$ 115 350
		Mantenimiento y reparaciones	0.02*IF	-	\$ 3892.96
		Suministros	0.1*Mtto y Rep.	-	\$ 389.29
		Laboratorio	0.1*Mano de obra	-	\$ 480
	Costos fijos	Depreciación	IT/(Vida útil)	-	\$ 9 592,2
	Seguros	0.004*IF	-	\$ 365.593	
Impuestos	0.01*IF	-	\$ 916.483		
Costos ext.	Otros costos	0.5*(M.Obra+Sup.+ Mtto)	-	\$ 3503,30	
<b>Costos de Fabricación</b>				<b>\$ 856 266.08</b>	

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

Tabla 3.16. Costos Totales de Producción

	Costo diario	Costo anual
Costos de Fabricación	\$ 2854.22	\$ 856266.08
Gastos Generales	\$ 120,94	\$ 36 280
<b>COSTOS TOTALES DE PRODUCCION</b>	<b>\$ 2975.16</b>	<b>\$ 892548</b>

### 3.4.2 Cálculo de la ganancia del proceso

Tabla 3.17. Valor de la producción

Productos	Extracto alelopático
Precio de venta	1.34 \$/L
Producción	13 870 L/día
Valor de la producción	18 585.80 \$/día
	5 575 740 \$/año

Ganancia = Valor de la producción – CTP

**Ganancia = 4683192 \$/año**

**Tiempo de recuperación de la inversión:**

$$\frac{\text{Inversión Total}}{\text{Ganancia}} = \frac{96174.10}{4683192} = \mathbf{0.02 \text{ años}}$$

### 3.4.3. Indicadores dinámicos.

Indicadores de rentabilidad. VAN, TIR, PRD.

La valoración de la factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo del indicador dinámico VAN, tomando una tasa de interés del 15%.

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujodecaja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión total}$$

Los resultados obtenidos se determinaron por un programa realizado en Excel, donde se evaluaron los indicadores económicos mediante la metodología planteada por Peter (Peter, 2003).

*Capítulo III. Diseño y Análisis técnico- económico de una planta para la obtención de extractos con características alelopáticas.*

En la tabla 3.18 se muestran los resultados de dicha evaluación y la figura 3.2 representa el perfil del VAN.

Tabla 3.20. Valor de los indicadores de factibilidad.

Valor Actual Neto. VAN	\$711,464.35
Tasa Interna de Rentabilidad. TIR	144%
Período de Recuperación al descuento. PRD	1,3 años

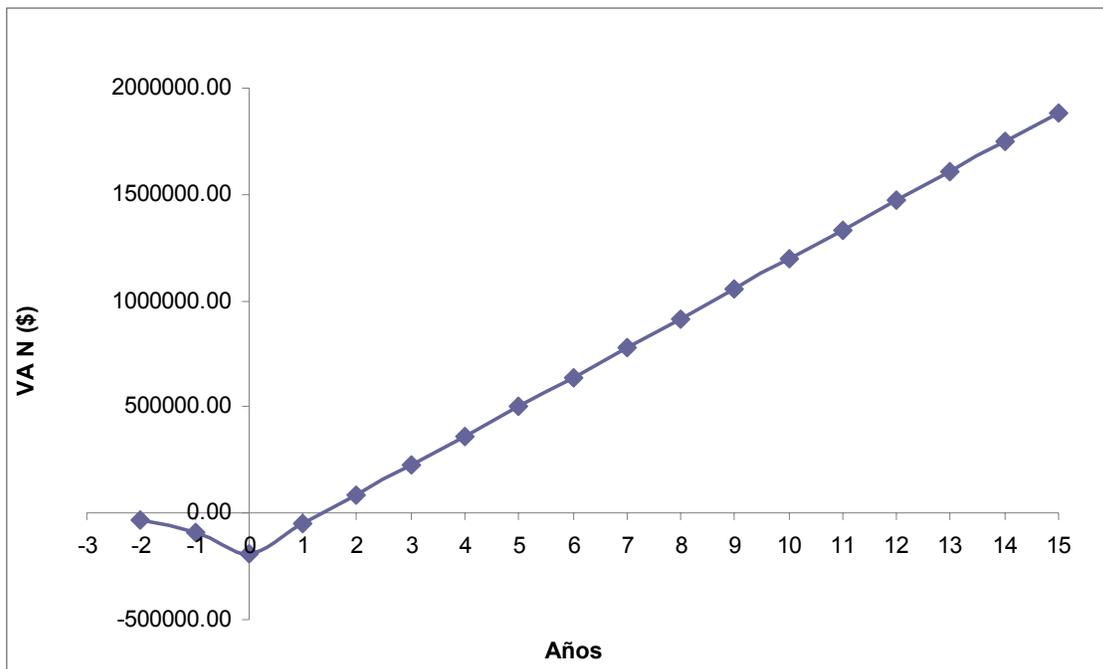


Figura 3.2 Perfil del VAN.

**Conclusiones Parciales**

- ❖ Teniendo en cuenta el precio que se fija para la venta del extracto alelopático el proceso es rentable hasta la etapa que se diseña, mostrando adecuados valores de los indicadores dinámicos de costo.



*Conclusiones*

**Conclusiones.**

1. El extracto obtenido a partir de una operación de lixiviación de los desechos de *Ipomoea batata*, presenta características alelopáticas.
2. El proceso que se propone para la obtención de estos extractos prevee una operación de fraccionamiento, sin embargo las membranas de ultrafiltración que se utilizaron en este trabajo no presentaron efectividad.
3. La planta piloto que se dimensiona presenta adecuados valores de rentabilidad, pero es necesario tener en cuenta que un proceso de producción de estos extractos requiere de las etapas de conservación y envase además de las posibles variantes de purificación.



*Recomendaciones*

**Recomendaciones**

1. Continuar el estudio de la operación de extracción trabajando con valores mayores de relación sólido solvente y tiempo de contacto.
2. Profundizar en el estudio para determinar el diámetro de partícula óptimo para la operación lixiviación.
3. Determinar la composición del desecho de boniato en cuanto a compuestos fenólicos y flavonoides para que se posibilite el cálculo de la eficiencia de extracción.
4. Realizar un estudio de estabilidad de los extractos para determinar la temperatura a que deben ser conservados y el tiempo de efectividad de los mismos.
5. Continuar el estudio del fraccionamiento de los extractos con la utilización de diferentes alternativas de separación, o mediante el uso de membranas de diferentes porosidades.



# *Bibliografía*

## **Bibliografía**

1. Aguiar, M. G. P. (2002) Efecto alelopático del boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. *Agronomía*. Santa Clara Universidad Central Marta Abreu de las Villas (UCLV).
2. Albright, L. F. (2008) *Albright's Chemical Engineering Handbook*
3. Alvarez, G. M. F. (2006) Efecto alelopático del extracto de boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam, sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. *Agronomía*. Santa Clara UCLV.
4. Anastas, P. T. (2005) *Green Separation Processes. Fundamentals and Applications* IN A C. (Ed.) Portugal.
5. Arango, D. U. (2007) Efecto alelopático de las fracciones obtenidas de diferentes extractos vegetales sobre hongos fitopatógenos del suelo. *Agronomía*. Santa Clara, UCLV.
6. Aro, M. H. (2007) Actividad alelopática de *Wedelia Trilobata* (L.) y *Hitchc.* e *Ipomoea Batatas* (L.) Lam sobre malezas y cultivos hortícolas. *Agronomía*. Santa Clara, UCLV.
7. Báez, A. Z. (2006) Separación con membranas como método alternativo de purificación en la empresa Ronera Central. S.A. *Ingeniería Química*. Santa Clara, UCLV.
8. Barreras, E. T. (2006) Efecto del Botón de oro (*Wedelia Trilobata* (L.) Hitchc.) sobre el crecimiento y germinación de cultivos y malezas. *Agronomía* Santa Clara, UCLV.
9. Blank, L. T. (1999) *Ingeniería Económica* IN H., E. A. (Ed.) 4<sup>ta</sup> ed. Bogotá, McGraw-Hill Interamericana, S. A.
10. Branan, C. (1998) *Rules of Thumb for Chemical Engineers*. 2da ed. Hudson, Texas, Gulf Publishing Company.
11. Calera, A. (1990) Allelopathic Potential of Compounds Isolated from *Ipomoea tricolor* Cav. (Convolvulaceae). *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 16 No 7.

12. Castellanos, E. (2001) Balances de Masa y Energía Métodos Clásicos y Técnicas no Convencionales IN FEIJOÓ, E. (Ed.) Primera ed. Cuba y Mexico.
13. Chon, S. (2005) Difference in Allelopathic Potential as Influenced by Root Periderm Colour of Sweet Potato (*Ipomoea batatas*). *Journal of Agronomy and Crop Science*, Volumen 191, 75-80.
14. Darby, R. (2001) Chemical Engineering Fluid Mechanics. Second ed.
15. Doble, M. (2007) Green Chemistry and Processes. Elsevier ed.
16. Earle, R. L. (1971) *Ingeniería de Alimentos* Cuba, Ediciones Revolucionarias.
17. Feyt, R. (2007) Estudio y diseño de una Planta Demostrativa para la producción de Biodiesel a partir de un residuo de la Industria Azucarera. *Ingeniería Química*. Santa Clara, UCLV.
18. García, S. T. (2003) Efecto alelopático del boniato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)), sobre la germinación y crecimiento de cultivos y malezas. *Centro Agrícola*, año 30, no. 1, enero-marzo.
19. Geankoplis, C. J. (1998) Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Tercera ed. México.
20. Gomis, A. M. (1998) Introducción a las Operaciones de Separación Cálculo por etapas de Equilibrio. 2da Edición ed. Alicante.
21. Gomis, A. M. (1999) Introducción a las Operaciones de Separación Contacto Continuo. IN ESPAGRAFIC, E. E. (Ed.) Edición Electrónica Espagrafic ed. Alicante, Publicaciones de la Universidad de Alicante.
22. González, C. E. F. (2002) Efecto alelopático de extractos acuosos de Girasol (*Helianthus annuus* L.), sobre la germinación y desarrollo de malezas bajo diferentes condiciones climáticas. *Agronomía*. Santa Clara, UCLV.
23. Gorintain, S. (2009) Comparative control of bioactivity of some frequently consumed vegetables subjected to different processing conditions. *Food Control* Vol. 20

24. Harriot, P. (1998) Operaciones Unitarias en Ingeniería Química 4<sup>TA</sup> Edición ed.
25. Hernández, M. (1998) Plaguicidas naturales de origen botánico. *Instituto de investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt"*
26. Hernández, Y. N. (2008) Efecto de residuos de Ipomoea batatas L. (Lam.) sobre el crecimiento y rendimiento de Cucumis sativus. L. *Agronomía*. Santa Clara, UCLV.
27. Holman, J. P. (1999) Transferencia de calor. IN MADRID, C. F. (Ed.) 8<sup>va</sup> Edición, 1<sup>ra</sup> en Español ed. España.
28. Kasatkin, A. G. (1985) *Operaciones Básicas y Aparatos en la Tecnología Química*, Cuba.
29. Kern, D. Q. (1999) Procesos de Transferencia de Calor. Trigésima Primera Reimpresión ed. México, Compañía Editorial Continental, S.A. DE C.V.
30. Kreuth, F. (1999) Heat and Mass Transfer.
31. Lazic, Z. R. (2004) Design of Experiments in Chemical Engineering. IN VCH, W. (Ed.).
32. Levenspiel, O. (1987) Chemical Reaction Engineering. IN BARREIRO, D. G. T. (Ed.) *Ingeniería de las Reacciones Químicas*. 2<sup>da</sup> Edición ed. México, Editorial Reverté, S. A.
33. Lienhard, J. (2003) A Heat Transfer Textbook 1<sup>ra</sup> Edition ed.
34. Meneses, M. (2002) Effect of alcoholic extracts of wild plant on the inhibition of growth of *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *P. expansum*, *fusarium moniliforme* y *fusarium poae*. *Rev. Iberoamericana de Micología*.
35. Nieves, G. (2007) Extracción de polifenoles durante la maceración en la vinificación en tinto clásica. *Rev. Enología # 4*, Vol 4.
36. Pavlov, K. F. (1981) *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas en tecnología química*, Moscú, Editorial Mir Moscú.
37. Perry, R. H. (1999) Chemical Engineers Handbook. IN HANDBOOK, M. G.-H. (Ed.) 7<sup>ma</sup>.

38. Peters (1991) Plant Design and Economics for Chemical Engineers. IN B.J. CLARK, J. M. M. (Ed.) Fourth ed.
39. Peterson, J. (1991) Isolation of substance from sweet potato (*Ipomoea batatas*) periderm tissue that inhibits seed germination. *Journal of Chemical Ecology*, Volumen 17, Number 5 / May, 1991, 943-951.
40. Peterson, K. (2000) Sublethal Effects of Resin Glycosides from the Periderm of Sweet potato Storage Roots on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, Volumen 93, 388-393.
41. Ray, M. (1989) Chemical Engineering Design Project. IN HUGHES, R. (Ed.) 2<sup>th</sup> ed.
42. Rodríguez, A. P. (2008) Actividad alelopática de las fracciones del extracto acuoso de *Ipomoea batatas* (L) Lam sobre el crecimiento de algunos cultivos. *Agronomía*. Santa Clara, UCLV.
43. Rosabal, J. (Ed.) (2006) *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas* Habana.
44. Sampietro, D. A. (2001) Alelopatía: Conceptos, Características, Metodología de Estudio e Importancia (en línea).
45. Schwartzberg, H. C. (2007) Leaching Organic Materials. Department of Food Engineering University of Massachusetts ed. Amherst, Massachusetts.
46. Silveira, M. (2004) Concentración de pectinasas por UF con membranas de polisulfonas. *Rev. Iberoamericana de Polímeros*, Vol 5 # 3.
47. Sun, D.-W. (2009) Extracting Bioactive Compounds for Food Products. Theory and Applications. IN M. ANGELA, A. M. (Ed.). Brazil.
48. Tosco, M. V. (2008) Efecto alelopático de residuos de *Ipomoea batatas* (L). Lam. sobre la germinación y crecimiento de cultivos hortícolas y malezas en campo. *Agronomía*. Santa Clara, UCLV.
49. Treybal, R. E. (2000) Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda Edición ed. México.
50. Ulrich, G. (1985) Procesos de Ingeniería Química
51. Viera, B. R. (1991) *Diseño y Análisis de Reactores Químicos*, La Habana.
52. Villanueva, G. (2007) Operaciones de Lixiviación. Diseño y Evaluación. Red UCLV.

53. Walas, S. M. (1990) *Chemical Process Equipment Selection and Design*. IN TECHNOLOGY, H. B. M. I. O. (Ed.). Washington.
54. Walker, T. (1989) Influence of decaying sweet potato crop residues on nutrient uptake of sweet potato plants *Agriculture, Ecosystems & Environment* 26, 45-52.
55. Young, R. R. (2004) *The Requirements Engineering Handbook*. IN VALDMAN, I. (Ed.).



*Anexos*

**Anexo 1. Análisis de varianza de flavonoides (ANOVA)**

<b>Análisis de Varianza de Flavonoides</b>					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F- Ratio	P-value
A: material	1677,1100	1,0000	1677,1100	50,2700	0,0001
B: tiempo	669,1400	1,0000	669,1400	20,6000	0,0021
C: masa/volumen	567,6000	1,0000	567,6000	17,0100	0,0033
AB	595,5190	1,0000	595,5190	17,8500	0,0029
AC	699,4250	1,0000	699,4250	20,9600	0,0018
BC	410,5340	1,0000	410,5340	12,3000	0,0080

The ANOVA table partitions the variability in Flavonoides into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 6 effects have P-values less than 0, 05, indicating that they are significantly different from zero at the 95, 0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 94, 5375% of the variability in Flavonoides. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 90, 8959 %. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 5, 77613. The mean absolute error (MAE) of 4, 08434 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

**Anexo 2. Análisis de varianza de compuestos fenólicos (ANOVA)**

Análisis de Varianza de Compuestos Fenólicos					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F- Ratio	P- value
A: material	10889,9000	1,0000	10889,9000	828,5600	0,0000
B: tiempo	43,5328	1,0000	45,3528	3,4500	0,1003
C: masa/volumen	112,4990	1,0000	112,4990	8,5600	0,0191
AB	174,2600	1,0000	13,2600	0,0066	0,0066
AC	22,6330	1,0000	1,7200	0,2258	0,2258
BC	39,0269	1,0000	2,9700	0,1231	0,1231

The ANOVA table partitions the variability in Composts fenólicos into separate pieces for each of the effects. It then tests the statistical significance of each effect by comparing the mean square against an estimate of the experimental error. In this case, 3 effects have P-values less than 0.05, indicating that they are significantly different from zero at the 95, 0% confidence level. The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99,0768% of the variability in Composts fenólicos. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 98.4613%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be 3.62535. The mean absolute error (MAE) of 2.56351 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

**Anexo 3. Especificaciones de los transportadores de sólidos.**

<b>Tipo de transportador de sólidos</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>De Correa</b>	<b>Tornillo sin fin</b>	<b>Elevador de cangilones</b>	<b>De Banda</b>
Diámetro o anchura (m)	0.5-2	0.15-0.50	0.15-0.5	0.3-2.0
Longitud (m)	oct-50	may-25	ago-25	oct-50
Capacidad máxima de sólidos m <sup>3</sup> /s	0.06	0.08	0.02	0.007-0.8 <sup>a</sup>
Compatibilidad Sólidos fibrosos	Limitaciones modestas	Excelente o sin limitaciones	Limitaciones modestas	Excelente
Transporte hacia arriba en un plano inclinado	Limitaciones modestas	Excelente o sin limitaciones	Excelente o sin limitaciones	Limitaciones modestas
Elevación vertical	Inaceptable	Con unidades especiales (costo)	Excelente o sin limitaciones	Inaceptable
Ángulo de inclinación limitado	30°	Ninguno	Ninguno	30°
Costo relativo anual	Moderado	Alto	Moderado	Bajo
Consumo de potencia	Mas bajo	Mas alto	Mas alto	Mas bajo

**Anexo 4. Características de los Trituradores (Tabla 4.5 Ulrich)**

<b>Selección de los equipos de Reducción de Tamaño</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Cortadoras</b>	<b>Martillos</b>	<b>Energía de Fluidos</b>
Diámetro máx. D, (m)	0,5	-	-
Relación de reducción	10 cm a 1 mm	10 cm a 10 $\mu$ m	1 mm a 1 $\mu$ m
Capacidad (Kg/s)	50	2	1
Costo	Costo moderado	Costo moderado	Alto
Consumo Potencia Mat. Duros 8-10 Moh Mat. Medios 4-7 Moh Mat. Suaves 1-3 Moh	100m	40 m In R	1-10 <sup>b</sup>
Compatibilidad con diferentes materiales: Sustancias Duras Materiales Abrasivos Sustancias Cohesivas Materiales Suaves Sustancias Elásticas	X X A A X	A A D D	A A D D
Materiales específicos del tipo de triturador	Madera Plásticos Resinas Yeso	Hueso Carbón Negro Granos y cereales Coque	Arcilla

A-Excelente o sin limitaciones

D- Limitaciones en ese aspecto

C- Unidad específica disponible para reducir los problemas al mínimo.

X- Adecuado para el tipo de material.

**Anexo 5. Especificaciones de los Agitadores.**

<b>Selección de los Agitadores</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Tipo de agitador</b>		
	<b>Hélice o Propela</b>	<b>Turbina</b>	<b>De Paleta</b>
Velocidad de Rotación	300-1000 rpm	300 rpm máx.	150 rpm máx.
Velocidad circunferencial en función de la viscosidad	3.8-16 (100 cP) 3.8-10 (4000 cP)	2.5-10 (100 cP) 2.5-7.0 (4000 cP)	1.5-5 (500 cP) 1.5-3 (3000 cP)
Costo	Bajo costo	Costo moderado	Bajo costo
Consumo de Energía	Bajo	Alto	Bajo
Volumen de Agitación	Grandes	Menores de 2.5 m <sup>3</sup>	Grandes
Suspensiones	Hasta 50% masa de sólidos	Hasta 80% masa de sólidos	Bajos contenidos de sólidos
Cantidad de impelentes en el eje	Pueden usarse varios	Pueden usarse varios	Pueden usarse varios
Otras características	Crea un flujo ascendente o descendente	Flujo radial (eficaces en mezcla de gas – líquido )	Donde se requiera un grado de agitación pequeño

## Anexo 6. Metodología de cálculo del serpentín de vapor.

### 1. Balance térmico.

$$Q = M C_p (t_2 - t_1) = m_v \lambda_v$$

$$Q = 573\,642,3 \text{ kJ/carga}$$

$$m_v = Q / \lambda_v = 3951,52 \text{ Kg/carga}$$

Donde:

Q: calor transferido en el equipo.

M: masa del extracto

$m_v$ : masa de vapor

$\lambda_v$ : calor latente de vapor

### 2. Cálculo de las pérdidas de calor en el equipo:

Suposiciones: Se desprecia la resistencia de la película de condensado, la resistencia de la pared y la del material aislante de la tubería, al paso del calor.

Se realizan los siguientes cálculos:

- El coeficiente combinado de convección y radiación  $h_a$  según la ecuación:

$$h_a = 9,5 + 0,053 (t_2 - T_a) \quad [\text{W/m}^2\text{°C}]$$

$$h_a = 12,256 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

- Las pérdidas de calor según la ecuación:

$$Q_{\text{perdido}} = h_a \pi D_1 (t_2 - T_a) \quad [\text{W/m}]$$

$$Q_{\text{perdido}} = 8287 \text{ W/m}$$

- La masa de vapor de reposición según la ecuación:

$$m^*_{\text{v de reposición por pérdidas}} = Q_{\text{perdido}} / \lambda_v$$

$$m^*_{\text{v de reposición por pérdidas}} = 553 \text{ kg/d}$$

$$M_{\text{total de vapor}} = 957,306 \text{ Kg/día}$$

### 3. Determinación de los coeficientes de Transferencia de calor ( $h_i$ y $h_{io}$ :

Coeficiente referido al exterior y al interior de la tubería, respectivamente).

Las correlaciones de transferencia de calor en tanque con serpentines helicoidales, tienen la forma:

$$\frac{hD_j}{k} = 0.87 \left( \frac{d_2^2 N_r \rho}{\mu} \right)^{0.62} \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Para un rango de  $300 < Re < 4 \cdot 10^5$

Para vapor saturado  $h_o = 1500 \text{ BTU/ h pie}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

$$h_i = \frac{0.87k}{D_j} \left( \frac{d_2^2 N_r \rho}{\mu} \right)^{0.62} \left( \frac{C_p \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Se calcula el coeficiente pelicular para el exterior del serpentín.

$$h_i = 743 \text{ BTU/ h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_{io} = h_i \text{ DI} / \text{DE} = 673,65 \text{ BTU/ h pie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

Donde:

k: conductividad térmica.

D<sub>j</sub>: diámetro interior del tanque.

$$Re_{\text{mezclado}} = L^2 N_r \rho / \mu = Re = 8,2 \cdot 10^4$$

d<sub>2</sub>: diámetro del agitador.

N<sub>r</sub>: velocidad del agitador.

ρ, μ: densidad y viscosidad del líquido.

#### 4. Cálculo del coeficiente total U<sub>D</sub>:

$$U_C = \frac{h_o \cdot h_{io}}{h_o + h_{io}}$$

$$U_C = 464,87 \text{ BTU/hpie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_d = \frac{1}{R_d}$$

$$h_d = 200 \text{ BTU/hpie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d$$

$$U_D = 139,87 \text{ BTU/hpie}^2 \text{ }^\circ\text{F}$$

#### 5. Cálculo del Área de Transferencia de Calor en estado no estacionario.

$$\frac{dQ}{d\theta} = MC_p \frac{dT}{d\theta} = U_D \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_1 - t$$

$$\frac{dt}{d\theta} = \frac{U_D \cdot A}{MC_p} \cdot \Delta T$$

$$\int_{t_1}^t \frac{dt}{T_1 - t} = \frac{U_D A}{MC_P} \cdot \int_0^\theta d\theta$$

Se integra de  $t_1$  a  $t_2$  y el tiempo se integra de 0 a  $\theta$ .

$$\text{Ln} \left( \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \right) = \frac{U_D \cdot A \cdot \theta}{MC_P}$$

$$A = \text{Ln} \left( \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} \right) \cdot \frac{MC_P}{U_D \theta}$$

El tiempo de calentamiento ( $\theta = 10$  min)

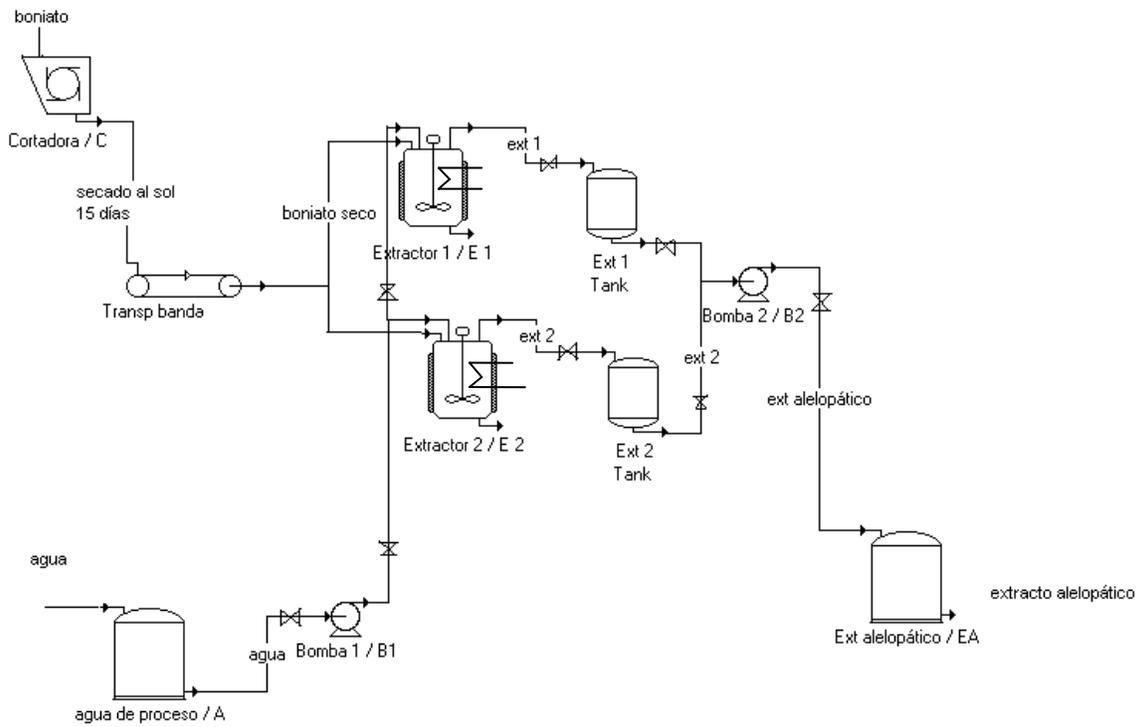
$$A = 217,37 \text{ pie}^2 = 20,19 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{vueltas}}^o = \frac{A}{A_{\text{1vuelta}}}$$

$$A_{\text{1vuelta}} = \pi \cdot D_{\text{serp}} \cdot a = 8,3 \text{ pie}^2 = 0,76 \text{ m}^2$$

$$N_{\text{vueltas}}^o = \frac{A}{A_{\text{1vuelta}}} = \frac{217,37}{8,23} = 27 \text{ vueltas}$$

# Anexo 7. Esquema Tecnológico



Esquema Tecnológico

## **Anexo 8. Técnicas de determinación de los compuestos fenólicos y flavonoides.**

### **Determinación de los compuestos fenólicos totales:**

La determinación de la concentración de compuestos fenólicos totales, fue realizada por el método descrito Singleton y Rossi (1965) con algunas modificaciones. Se toma 1 ml de muestra o soluciones Standard de ácido gálico (20, 40, 60, 80 y 100 mg L<sup>-1</sup>), se transfiere a un volumétrico de 25 ml conteniendo 9 ml de ddH<sub>2</sub>O. Se añade 1 ml de solución Folin & Ciocalteu's, se agita la solución, a los 5 minutos, se añaden 10 ml de solución 7 % de Na<sub>2</sub>HCO<sub>3</sub>, se agita y se completa el volumétrico con ddH<sub>2</sub>O, se mezcla. Se incuba la a 23°C durante 90 min. Se lee la absorbancia a 750 nm. Los compuestos fenólicos totales son expresados en mg equivalentes de ácido gálico AGE/100 g de muestra fresca. Las muestras se realizan por triplicado. Las concentraciones se calculan mediante la función matemática obtenida en el ajuste de la curva de calibración (Rodríguez, 2008).

**Determinación de los flavonoides totales:** La determinación de la concentración de compuestos flavonoides totales, fue determinada por el método calorimétrico descrito por Zhishen *et al.*, (1999). Se toma 1 ml de muestra o soluciones Standard de luteolina (20, 40, 60, 80 y 100 mg/L), se transfiere a un volumétrico de 10 ml conteniendo 4 ml de ddH<sub>2</sub>O, a tiempo 0, se añaden 0,3 ml de Na NO<sub>2</sub> 5 %, se agita la solución. A los 5 minutos, se añaden 0,3 ml de ALCL<sub>3</sub> 10 %. Pasado 6 minutos, se adicionan 2 ml de NaOH 1N, finalmente se completa el volumen con ddH<sub>2</sub>O. Se lee la absorbancia a 510 nm. Los compuestos flavonoides totales son expresados en mg equivalentes de luteolina LUE/100 g de muestra fresca. Las muestras se realizan por triplicado. Las concentraciones se calculan mediante la función matemática obtenida en el ajuste de la curva de calibración (Rodríguez, 2008).

## Anexo 9. Fotos de la experimentación.



Figura 1. Boniato húmedo y seco.



Figura 2. Equipos de extracción y módulo de membrana.



Figura 3. Extracto permeado y no permeado.

**Anexo 10. Fotos de la actividad alelopática de algunas especies.**



- Pepino var. Hatuey-1.



- Sorgo var. CIAP 132R.



- Frijol var. ICA-Pijao.