

## NUEVO MODELO PARA LA HIDROEXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Alfredo Palomino I.

\*Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química  
Departamento de Análisis y Diseño de Procesos  
Av. Venezuela s/n. Lima - Perú

**Abstract:** The governing variables and parameters of the hydroextraction of essential oils are the bulk density of the extracting bed, the volumetric velocity of steam throughout the bed; the relative volatility of essential oils, the mechanical resistance of the vegetal matrix, and diffusional resistances and dispersion in the bed. This fact would divert the system from a classical vapor distillation analysis to a rather more complex system of separation, in which certainly the phase change velocity might be the process controlling step, but not necessarily in all the cases.

Fortunately for us, most of the above mentioned variables and parameters are linked with each other in such a way that the degree of freedom is reduced and we may simplify our analysis. Stating some assumptions and fixing some parameters, in this work we formulate a new hydroextraction model using saturated steam as extractant.

**Key words:** Modelling, Hydroextraction, essential oil.

**Resumen:** Las variables y parámetros que gobiernan la hidroextracción de aceites esenciales son la densidad global del lecho de extracción, la velocidad volumétrica del vapor a través del lecho, la volatilidad relativa del aceite esencial, la resistencia mecánica de la matriz vegetal y las resistencias difusionales y dispersión en el lecho. Este hecho traslada el sistema desde un estudio de destilación por arrastre de vapor a un proceso de separación más complejo, en el cual ciertamente el efecto de la velocidad de cambio de fase podría ser el paso controlante del proceso; pero no necesariamente en todos los casos. Afortunadamente para nosotros, la mayor parte de las variables y parámetros mencionados están relacionados unos con otros, de manera que el grado de libertad se reduce y podemos simplificar nuestro análisis. Declarando algunas asunciones y fijando algunos parámetros, en este trabajo formulamos un nuevo modelo matemático para la hidroextracción usando vapor saturado como extractante.

**Palabras clave:** Modelamiento, Hidroextracción, aceites esenciales.

### INTRODUCCIÓN

La revisión de literatura muestra que la obtención de los aceites esenciales por arrastre con vapor, ha sido abordada tradicionalmente usando la teoría de la destilación fraccionada, la rectificación y la desorción o stripping (17, 18). Sin embargo, a la luz de un análisis más exhaustivo, el mecanismo de extracción del aceite esencial usando vapor en un lecho empacado, dista notoriamente de ser un proceso simple de destilación por arrastre con vapor. En efecto observamos que la hidroextracción de aceites esenciales en un lecho empacado, obedecería mas bien al efecto combinado de la difusión-evapo-convectiva.

En este trabajo presentamos la fundamentación fenomenológica para elaborar un nuevo modelo matemático, en procura de lograr una interpretación más realista del proceso de extracción con vapor, cuyo dominio

se consideraba hasta hoy en el campo exclusivo de la destilación por arrastre con vapor.

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### Usos de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales (ae\*) son sustancias conocidas también como aceites volátiles, éstos son sintetizados por algunas plantas, y pueden estar presentes en hojas, tallos, raíces, flores y fruto (2.5.11.15).

Una breve revisión sobre la estructura de los aceites esenciales revela que se trata de moléculas complejas, que son típicas para cada planta. Los principales grupos conformantes de los ae\* son los alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ciertos ácidos, organizados en estructuras más complejas de terpenos, sesquiterpenos y otros (2).

Los aceites esenciales han sido usados por el hombre desde hace más de 3000 años. Se sabe

E-mail: alfpalomino@hotmail.com



que los antiguos egipcios ya usaban los aceites esenciales para perfumería y en la preparación de bálsamos. La propia Cleopatra aparece bajo el espectro de sus conocimientos y práctica de perfumería en sus aventuras con hasta dos emperadores romanos, un siglo antes de la era cristiana (20).

Recientes estudios señalan que los aceites esenciales no sólo tienen la virtud de poder ser combinados entre ellos para la elaboración de perfumes, sino que son cada vez más intensivamente usados en medicina, la industria de alimentos y saborizantes, entre otros. Es importante observar por ejemplo, el resurgimiento de la aromaterapia, como una forma de tratamiento de enfermedades.

### MINTHOSTACHYS SETOSA (MUÑA)

Taxonómicamente el género *Minthostachys* es un género complejo de plantas aromáticas principalmente herbáceas. Pertenece a la familia de las lamináceas y crece en la zona andina del Perú. Al parecer los incas ya habían logrado domesticar esta planta para usarlo como preservante de granos y tubérculos por sus propiedades fungicidas, redescubiertas en recientes trabajos. Estudios realizados en la Universidad de Salerno (11) revelan que los principales componentes del género *Setosa* son la pulegona en un 43 %, la mentona en un 18 %, isomentona en un 6 %. Para el caso de la *Minthostachys mollis*, reportan un contenido de pulegona de hasta un 79 %, con la mentona en un 10 % y la piperitona hasta un 2 %.

En el Perú crecen al parecer tres variedades de *Minthostachys*, siendo conocidas como la muña-muña, sallqa muña o arash muña y la *orcco muña* (6,11,24) Esta planta crece mayormente de manera silvestre en la zona andina entre 2700 a 3400 snm. Las hojas y las flores son usadas como condimento en los alimentos, mientras que en la medicina nativa se lo usa como antiespasmódico y antimicótico luego de la cocción de las hojas. La infusión de las hojas viene encontrando mayor mercado como té de mesa debido a sus propiedades de acelerar la digestión, acción vermífuga, antidiarreica, antiespasmódico y tratamiento de afecciones respiratorias (6).

### PROCESOS DE EXTRACCIÓN

En la actualidad existen cuando menos siete procesos conocidos para la extracción de los aceites esenciales, éstos van desde la

extrusión, la destilación por arrastre de vapor (DAV), extracción mediante fluidos supercríticos (SFE), DAV al vacío, extracción usando ultrasonido, extracción por eflorescencia y extracción con solventes orgánicos convencionales (9,10,13).

De los procesos citados, el método convencional por arrastre de vapor tiene aún futuro asegurado, debido a sus bajos costos y ser una tecnología benigna con el medio ambiente. La limitación mayor de este método es el rango de temperatura de trabajo, en especial cuando se trata de extraer aceites lábiles a la temperatura.

En la actualidad se sabe de procesos continuos en los cuales se observan importantes innovaciones en el diseño y operación. Sin embargo, sus altos costos constituyen un serio inconveniente para su empleo.

### SECCIÓN EXPERIMENTAL

#### Aparato Experimental

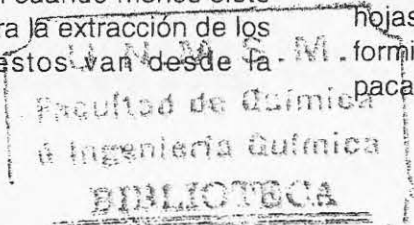
El hidroextractor consistió de una columna de 20 L de capacidad construido en acero inoxidable, con tapa plana bridada y cierre hidráulico, mostrado en la Fig.1. El condensador fue de doble tubo y el hervidor de 5 L de capacidad, dotado igualmente de cierre hidráulico, lo cual facilita ostensiblemente la velocidad de trabajo. Los restantes accesorios consistieron de las unidades convencionales de frasco separador, una pera de bromo, termómetros y cristalería de laboratorio.

#### Materia Prima

Para el proceso de hidroextracción se ha empleado la *Minthostachys mollis* y la *Mintostachys setosa*, (muña), tallos tiernos y hojas en buen estado, procedentes de la localidad de Canta y Ayacucho, respectivamente. Los lotes de ensayo fueron adquiridos entre los meses de Junio a Agosto.

#### Procedimiento Experimental

El aceite esencial fue obtenido mediante la acción del vapor saturado en el extractor a escala bench. La operación consistió en la selección y limpieza del material seco, esto es, hojas y tallos de muña, removiendo el material inapropiado para el proceso. Luego se procedió al empacado de la columna con las hojas y tallos seleccionados, procurando uniformidad en el lecho. Una vez concluido el empacado se procede a colocar la tapa bridada y





se pesa la columna rellena para obtener la masa efectiva de la materia vegetal a extraer.

Paralelamente se procede al calentamiento de aproximadamente 3 L de agua en el reboiler, el cual está equipado con calentamiento eléctrico regulable y acople hidráulico con la columna de extracción.

Una vez que el agua alcanzó a hervir vigorosamente, se procedió a colocar la columna empacada sobre el reboiler y se controló el tiempo de estabilización de la columna. Tan pronto como se observó presencia de vapor en el tope, se conectó el condensador del equipo y se tomó nuevamente el tiempo. Seguidamente se inició la colección del producto condensado en el frasco separador, controlando el tiempo desde la caída de la primera gota hasta que concluya el proceso. La velocidad de extracción se sigue mediante la lectura de los volúmenes de aceite obtenido, a intervalos variados de tiempo, según la velocidad del proceso. Finalmente, el aceite obtenido fue pasado a la pera de separación para su almacenamiento. Es importante remarcar que el almacenamiento debe ser hecho en un frasco ámbar para evitar el deterioro del aceite esencial. Así mismo, dada las dimensiones del equipo y la cantidad del material trabajado los volúmenes obtenidos por carga de material, para el caso de la muña, fueron del orden de los 40 a 60 mL.

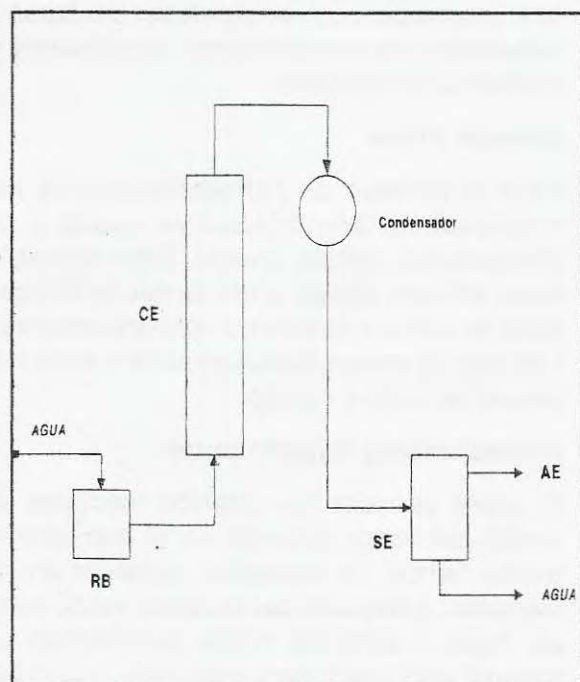


Fig.1 Esquema del equipo de extracción

La temperatura fue monitoreada continuamente por medio de dos termómetros, uno colocado en el tope de la columna y el otro en el reboiler del equipo.

La regulación de la velocidad de flujo del gas fue realizada variando la velocidad de calentamiento.

## MODELAMIENTO MATEMÁTICO

### Consideraciones Fundamentales

Este modelo describe el caso general de la extracción de aceites esenciales ( $ae^*$ ) de matriz vegetal mediante vapor saturado en una columna de extracción empacada con materia prima seca. Como premisa fundamental del modelamiento asumimos que el proceso guarda analogía con la operación de una columna empacada con generación de producto y pérdida de actividad catalítica de manera irreversible.

El mecanismo de extracción de los  $ae^*$  se interpreta aquí que se debe al efecto combinado del fenómeno de transporte intrapartícula por difusión molecular del vapor caliente, el rompimiento de las paredes celulares de los sacos que guardan los aceites esenciales, la subsecuente evaporación de dichos aceites y la difusión de los aceites esenciales junto con el vapor caliente hacia la boca del poro. Una interpretación plausible del fenómeno de evaporación de los  $ae^*$  en el interior de la matriz vegetal (hojas, tallos, raíces, etc.), supone que la misma está gobernada por la volatilidad relativa del  $ae^*$ , la temperatura y calidad del vapor, el tamaño de los poros, las tensiones locales en el interior de la matriz vegetal y el esfuerzo necesario para el rompimiento de los sacos capilares. De todos estos factores tomamos como el más relevante la energía necesaria para el cambio de fase, donde la velocidad de evaporación de los  $ae^*$  es favorecida por la disminución de la presión parcial debido a la presencia del vapor de agua. En suma habría la necesidad de contabilizar dos resistencias a vencer en esta parte del proceso, siendo estas la resistencia difusional y la resistencia a la vaporización del  $ae^*$  propiamente. A partir de esto, podemos decir que la velocidad de transporte de los  $ae^*$  desde las partes alejadas de la boca de poro será más lenta que desde las cercanías. Así mismo, los sacos que almacenan los  $ae^*$  colapsarán al romperse y evaporarse los  $ae^*$ . De esta manera el perfil de concentración entre la zona interna y externa de la matriz ve-



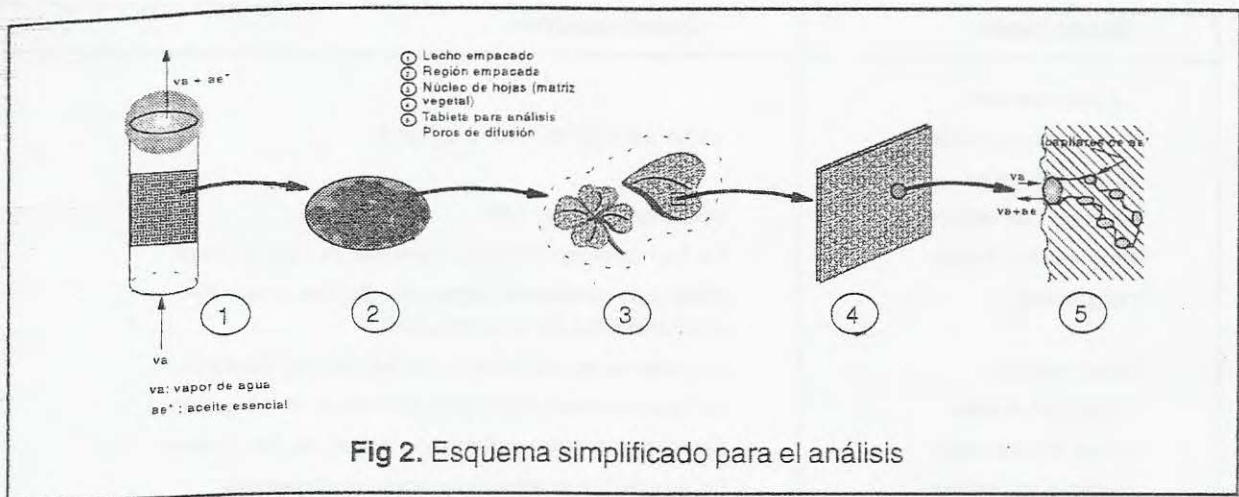


Fig 2. Esquema simplificado para el análisis

getal será cada vez menos pronunciado a medida que pasa el tiempo, hasta que eventualmente al agotarse los  $ae^*$ , el perfil de concentración de  $ae^*$  en el interior de los poros se hará prácticamente plano. Por otra parte, la transferencia de los aceites esenciales hacia la corriente principal de vapor, se puede interpretar mediante la teoría de película, entre la concentración de boca de poro  $C^*$  y la corriente principal, cuya concentración en aceite esencial es  $C$ .

La tercera resistencia a vencer viene a ser la referida a la convección de la fase fluida, puesto que el lecho está empacado. Esta resistencia puede ser caracterizada mediante parámetros o grupos adimensionales, tomando en cuenta la hidrodinámica del sistema. Por vía de simplificación tomamos aquí la asunción de que no hay caída de presión apreciable en el lecho, aunque disponemos de la ecuación de Ergun (19) para su cálculo. Es interesante observar por otro lado, que la columna se podría comportar como un stripper, si se cumple que los  $ae^*$  no se vaporizan completamente sino que forman microgotas, las cuales no se asocian entre sí y son transportadas por el vapor caliente hasta el tope de la columna; nótese que los  $ae^*$  y el agua no son miscibles y tienen diferentes densidades.

### Consideraciones para la derivación del Modelo

En concordancia con lo señalado arriba, tomamos la matriz vegetal de extracción como si fuera un catalizador poroso con zonas activas que se desactivan rápidamente de manera irreversible. Luego tomando la geometría de tableta, ver Fig 3.

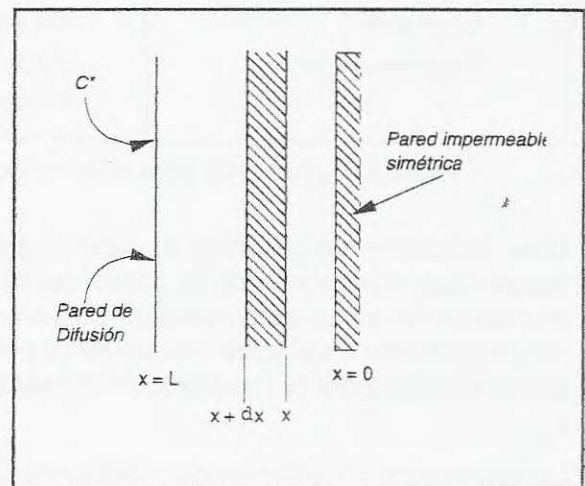


Fig 3. Modelo simplificado de tableta

Aplicando el balance diferencial sobre el elemento de volumen de la Fig 3. Obtenemos

$$D \frac{d^2 S}{dx^2} + \mathcal{R}_{exs} = 0 \quad (1)$$

Con las condiciones de frontera

$$x = L, S = C^* \quad (2)$$

En el centro de la tableta las condiciones de simetría exigen:

$$\frac{dS}{dx} = 0, \text{ en } x = 0 \quad (3)$$

de modo que el flujo neto a través del plano  $x = 0$ , es cero.

Que puede ser resuelta conociendo la forma de  $\mathcal{R}_{exs}$ , la cual representa la velocidad con la cual el aceite es liberado de los sacos capilares, gobernado por la resistencia al cambio de



Asunciones	Observaciones
La columna tiene anisotropía continua	Válido para $(dt/dp)^3 \geq 10$ y $L_e/dp^3 \geq 6$
El perfil radial de velocidad es uniforme	Válido para $(dt/dp)^3 \geq 30$
Propiedades físicas constantes	No hay variación en la transferencia de calor y masa radial. Las cantidades como $\Delta H_v$ , $C_p$ , $D_e$ , $r$ , etc. son independientes de la temperatura.
Isotermalidad	La columna es isotérmica y no hay efectos de pared
Extracción simple	Se asume modelo lineal para la cinética de extracción.
Fases involucradas	Se considera que existen fases sólido, líquido y vapor.
Pérdidas de Proceso	Se asume que el agua floral contiene cantidades despreciables de $ae^*$ .
Extractante	Vapor saturado a 98 C. y 1 atm.
Naturaleza del $ae^*$	Se asume que el $ae^*$ es puro y se halla en fase líquida en la matriz vegetal.

**Tabla 1.** Asunciones para la formulación del modelo del hidroextractor empacado

fase (constante de partición de fase) y las resistencias mecánicas de la pared celular (constante de rompimiento celular). En general estos dos efectos estarían determinados por el coeficiente global de transferencia de masa  $k_1$ .

La solución de (1), asumiendo cinética lineal para la extracción, es decir con

$\mathcal{R}_{exs} = k_1 \cdot S$ , desde la fase sólida mediante conduce a :

$$S = C^* \frac{\cosh(\xi x)}{\cosh(\xi L)} \quad (4)$$

donde:

$$\xi = L \left( \frac{k_1}{D_e} \right)^{1/2} \quad (5)$$

definiendo  $\xi$  como el **Módulo de Extracción**, que viene a ser el radio de la tendencia de la velocidad de extracción del  $ae^*$  sobre la tendencia a la velocidad de transporte difusional. Aquí usamos la analogía con el módulo de Thiele, de la teoría de difusión con reacción en catálisis heterogénea [4,7,18,19]. Como primera aproximación podemos asumir que la velocidad de extracción del  $ae^*$  es aproximadamente igual a la velocidad relativa de evaporación del

$ae^*$ , determinado por la constante de partición de fase.

La velocidad de extracción observada por unidad de área se considera que está dada por el flujo neto de aceite esencial que deja la superficie del material (hojas y tallos en nuestro caso), esto es  $(\mathcal{R}_{exs})_{x=L}$ . En ausencia de limitaciones difusionales idealmente los aceites estarían sobre la superficie de las hojas, y la velocidad de evaporación de los  $ae^*$  por unidad de área estará dada por

$$\mathcal{R}_{evap} = k_1 A_p C^* \quad (a)$$

Ahora, definiendo el **Factor de Efectividad de Extracción**,  $\mathcal{S}$ , como el ratio entre la velocidad de extracción observada (incluyendo el efecto difusional) sobre la velocidad de extracción referido a la boca de poro, esto es sin tomar en cuenta efectos difusionales,

$$\mathcal{S} = \frac{(-\mathcal{R}_{exs})_{x=L}}{-\mathcal{R}_{evap}} = \frac{2A_p D_e \left( \frac{dS}{dx} \right)_{x=L}}{2A_p L k_1 C^*} \quad (6)$$

La cual es resuelta diferenciando (4), evaluando la diferencial para  $\mathcal{S} = L$ , y reemplazando el resultado en (6), para dar :

$$\mathcal{S} = \frac{\tanh(\xi)}{\xi} \quad (7)$$



De este modo, bajo las asunciones declaradas, el Factor de Efectividad de la Extracción resulta ser una función única del Módulo de Extracción. Para pequeños valores de  $\xi$ , la transferencia de masa será rápida relativa a aquel para el transporte a través de la intrapartícula de la matriz vegetal, y el factor de efectividad de la extracción se aproximará a la unidad. Para valores grandes de  $\xi$ , la transferencia de masa será lenta respecto a la velocidad de evaporación, y la extracción estará limitada por la transferencia de masa, en otros términos,  $\mathcal{S}$  será menor que 1.

Aceptando que el Módulo de Extracción es generalizable para diferentes geometrías de partículas, llámese esféricas, cilíndricas y tableta, de manera similar a la generalización del módulo de Thiele hecha por Bichoff (22) y Petersen (23). La generalización conduce a la predicción matemática que para valores de  $\xi \geq 5.0$  una buena aproximación para el Factor de Efectividad de Extracción es  $\mathcal{S} = 1/\xi$

#### Modelo de extracción

Tomando en consideración las asunciones dadas en la tabla 1, el balance global despreciando efectos de dispersión axial sobre una sección del lecho de altura  $dz$  se puede escribir como sigue:

Vel. Acc + Vel. neta de flujo =

Veloc. de extrac. desde la fase sólida

$$\varepsilon V \frac{\partial C}{\partial t} + V \cdot v_o \frac{\partial C}{\partial z} = -(1 - \varepsilon) V A_i \mathcal{R}_{exs} \quad (8)$$

Con las condiciones iniciales y de frontera

$$\begin{aligned} \text{Para } t = 0, \quad C &= 0 \\ z = 0, \quad C &= 0 \\ z = H, \quad C &= C_{ex} \end{aligned} \quad (9)$$

Considerando que no hay acumulación en el extractor, una vez que sale la primera gota de producto en el condensador, la ec. en PDE se reduce a una ecuación diferencial ordinaria. Es decir considerando que  $\partial C / \partial t = 0$ . Así mismo, usando una cinética lineal para la pérdida de aceite desde la matriz sólida,

$$\mathcal{R}_{exs} = \frac{dS}{dt} = -k_1 \cdot S \quad (b)$$

Integrando (b) entre los límites, para  $t = 0$ ,  $S = S_o$ , y reemplazando en la EDO obtenida a partir de (8) resulta:

$$\frac{v_o}{\varepsilon} \frac{dC}{dz} = \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon} A_i k_1 S_o \mathcal{S} \exp(-k_1 t) \quad (10)$$

Resolviendo la ecuación (10) y aplicando las condiciones de frontera tenemos luego de simplificaciones:

$$C_{ex} = \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon} \frac{H \varepsilon}{u} k_1 S_o \mathcal{S} \exp(-k_1 t) \quad (11)$$

donde:

$$u = \frac{v_o}{A_i} \quad (c)$$

La ec. (11) debe ser usada para estimar la concentración del aceite que sale de la columna de extracción en función del tiempo, donde  $k_1$ , involucra los términos concernientes a las resistencias evaporativas para la extracción y  $\mathcal{S}$ , es una medida de la influencia de efectos difusionales en el proceso. Este parámetro es cuantificable de manera global mediante la experimentación.

Por otra parte, aún cuando la determinación del Factor de Efectividad de Extracción  $\mathcal{S}$ , requiere del conocimiento del Módulo de Extracción, es factible su determinación experimental, conforme explicaremos más adelante. En determinaciones más rigurosas, se debe efectuar un diseño experimental para determinar el coeficiente de difusividad efectiva, en base a la difusividad molecular, la porosidad de las partículas y el factor de tortuosidad.

La productividad del sistema de extracción se puede estimar a partir de

$$Y = \int C_{ex} v_o dt \quad (12)$$

#### Resultados y Discusión

Conforme podemos observar de los resultados analizados con el modelo, existe una adecuada relación con la fenomenología del proceso, de manera que la determinación de los parámetros es facilitada mediante el empleo de expresiones analíticas de uso simple.



El modelo ajusta apropiadamente los datos experimentales, proporcionando así una nueva herramienta para el diseño y operación de unidades de extracción con arrastre de vapor. La evaluación estadística del coeficiente de regresión está en el orden del 96 al 99 por ciento, con un intervalo de confianza del 95 %.

El proceso podría ser simulado mediante el conocimiento del coeficiente de partición de fase, dado que se trata del parámetro más sensible, el cual es a su vez el principal componente del coeficiente global de transferencia de masa. Actualmente este parámetro podemos estimarlo como un parámetro globalizado a partir de los datos experimentales de extracción.

Por otra parte, observando la **figura 4**, podemos establecer como criterio de operación, que la concentración extrapolada para el tiempo cero en la cabeza de la columna viene a ser la concentración inicial de  $ae^*$  disponible en la matriz vegetal, esta asunción es muy importante para determinar el rendimiento del proceso y cuantificar el avance de la extracción en función del tiempo.

El uso de la concentración para seguir la velocidad de extracción es debido a la facilidad de interpretación física que ésta otorga, puesto que permite entender las limitaciones que impone el sistema y evaluar la cantidad mínima de vapor requerido para el proceso. Sin duda esta es una ventaja para poder trasladar información para el diseño.

Por otra parte, si observamos los parámetros cuantificables, tales como el **Módulo de Extracción, el Factor de Efectividad de Extracción y el Coeficiente Global de Extracción**; la precisión del modelo dependerá de la precisión con la cual se pueda obtener la información experimental. Así por ejemplo, a partir de los datos globales y los tamaños promedios de la tableta, podemos encontrar los valores del coeficiente de difusividad efectiva para el proceso. De manera análoga, si trabajamos dos experimentos: uno en la cual extraemos los  $ae^*$  en columna empacada y otro extrayendo  $ae^*$  desde la fase líquida, se puede determinar el Factor de Efectividad de la Separación, a partir del radio de ambas velocidades de extracción, es decir  $S = \text{velocidad de extracción usando columna empacada} / \text{velocidad de extracción desde la fase líquida}$ .

Mediante este modelo logramos tener un mejor entendimiento de la fenomenología del proceso y una apreciación integral de lo que ocurre al interior de la columna de extracción. En efecto, desde que la fase sólida de la matriz vegetal es la que contiene a los sacos de  $ae^*$  necesariamente debemos tomar en cuenta los efectos difusionales, para ensamblarlo con la información relativa al coeficiente de partición de fase. Esto explica porque no todos los  $ae^*$  serán factibles de ser separados mediante esta técnica de separación. Aún cuando queda por demostrar en mayor profundidad la influencia del tamaño de partículas en este proceso, debemos decir que una molienda previa del material a dimensiones del orden de los 0.25 mm, tiene efectos mas bien negativos para el proceso. Esta respuesta se atribuye al hecho de que las partículas de la matriz vegetal tienden a asociarse unas con otras impidiendo la difusión adecuada del vapor. En general la densidad del lecho de extracción es un factor decisivo para un adecuado contacto entre el vapor y los  $ae^*$  y la subsecuente evaporación de estos últimos.

El hecho de trabajar con un equipo a escala *bench*, conduce a hacer generalizaciones de estado estacionario, que a la luz de los resultados viene a ser una asunción plausible.

Por otra parte, la variabilidad de las concentraciones observadas en ciertos momentos del proceso, en las diferentes corridas, se podría deber a la presencia de zonas estancadas en la columna o a la evaporación selectiva de los  $ae^*$ . De ser el primero, otorgaría una alternativa inesperada para el estudio de la hidrodinámica del sistema.

El perfil de rendimiento con respecto a la relación másica de vapor/aceite extraído, muestra que es innecesario conducir el proceso hasta el agotamiento, dado que la ganancia en rendimiento no es significativa en la etapa final de la extracción.

De acuerdo con la literatura, y nuestras comprobaciones usando GC-MS la composición de los  $ae^*$  de la *Myrthostachys setosa* peruana muestra, proporción dominante de la *pulegona* y la *mentona* (11).

La vista microscópica de las hojas empleando microscopio óptico, muestra que la teoría de las hojas porosas es una hipótesis adecuada para la interpretación del proceso.



Los rendimientos globales observados se pueden considerar altos, pues se logra recuperaciones de hasta el 98 % de aceite disponible.

### CONCLUSIONES

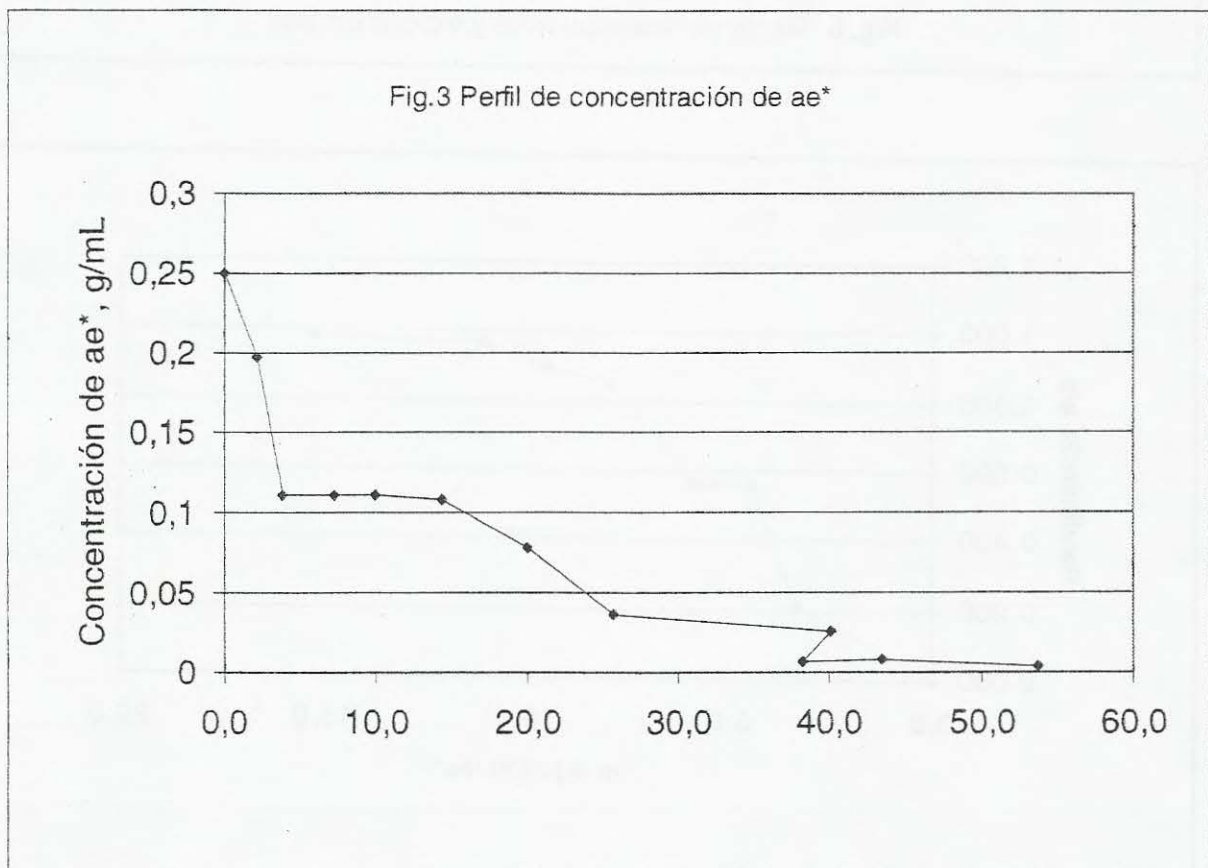
1. El modelo obtenido para la hidroextracción de los aceites esenciales ajusta apropiadamente los datos experimentales obtenidos en un equipo a escala bench, constituyendo un nuevo camino para el análisis fenomenológico del proceso, toda vez que toma en cuenta aspectos hasta hoy no considerados en el estudio de la separación de aceites esenciales usando vapor, proporcionando así un basamento teórico global para interpretar el proceso.

2. La hipótesis demostrada proporciona un argumento para profundizar investigaciones en este campo, al tiempo de señalar una alternativa para proponer tecnología propia para el estudio, diseño y simulación de tales procesos.

3. La determinación de todos los parámetros del modelo exige un diseño experimental adecuado, con lo cual se podría tener el mapa completo del fenómeno de hidroextracción de aceites esenciales. Por ejemplo, la determinación del Factor de Efectividad de Extracción para diferentes matrices vegetales, permitiría encontrar las condiciones más apropiadas de operación para unidades comerciales.

### Agradecimientos

al Ing. Manuel Cerpa Chávez por su colaboración en la etapa de experimentación. A la Compañía Import Export Ankowa S.A., por financiar los costos de compra de materia prima para el estudio, a Rovill Ingenieros por el préstamo del equipo. Así mismo, a la Prof. Anna Zegarra de la UNSCH por la donación de muestras de *Myrthostachys setosa* para la extracción y al Ing. Albert Palomino por sus sugerencias e ilustraciones del trabajo.





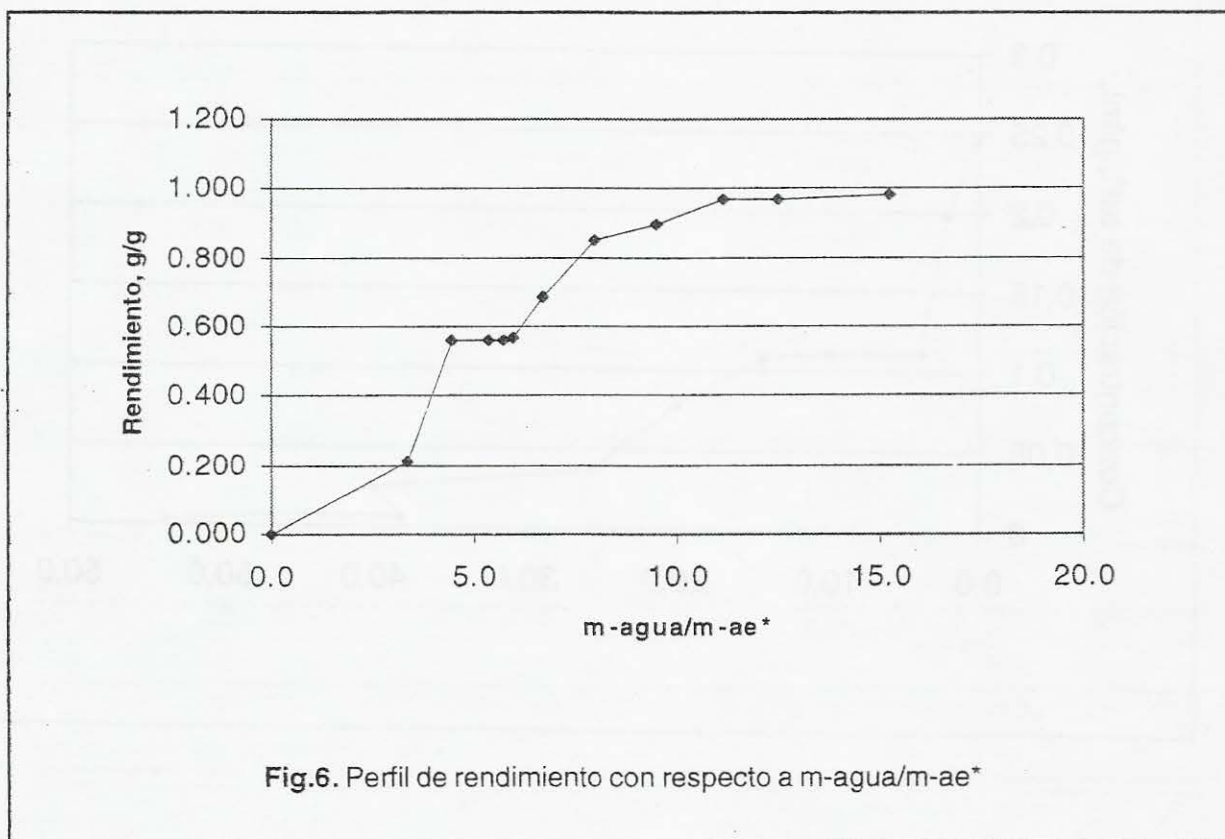
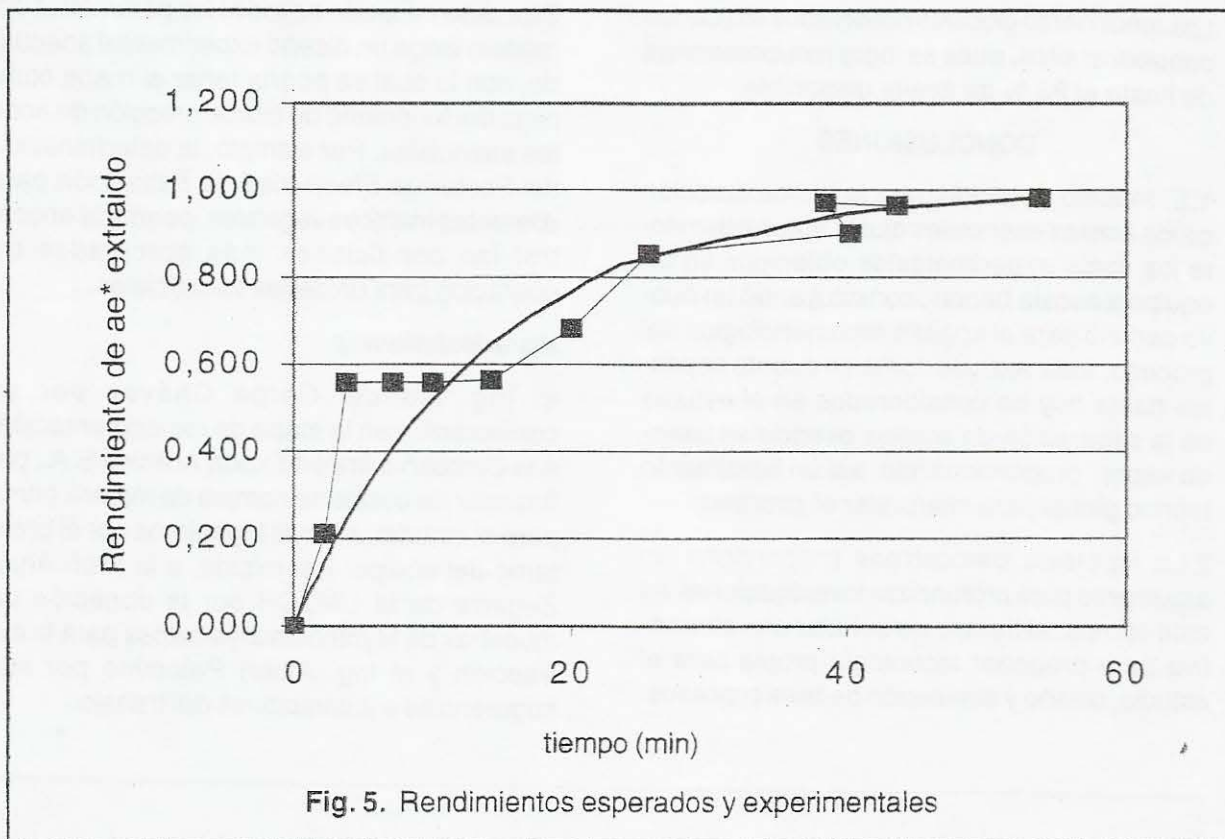




Fig. 7a

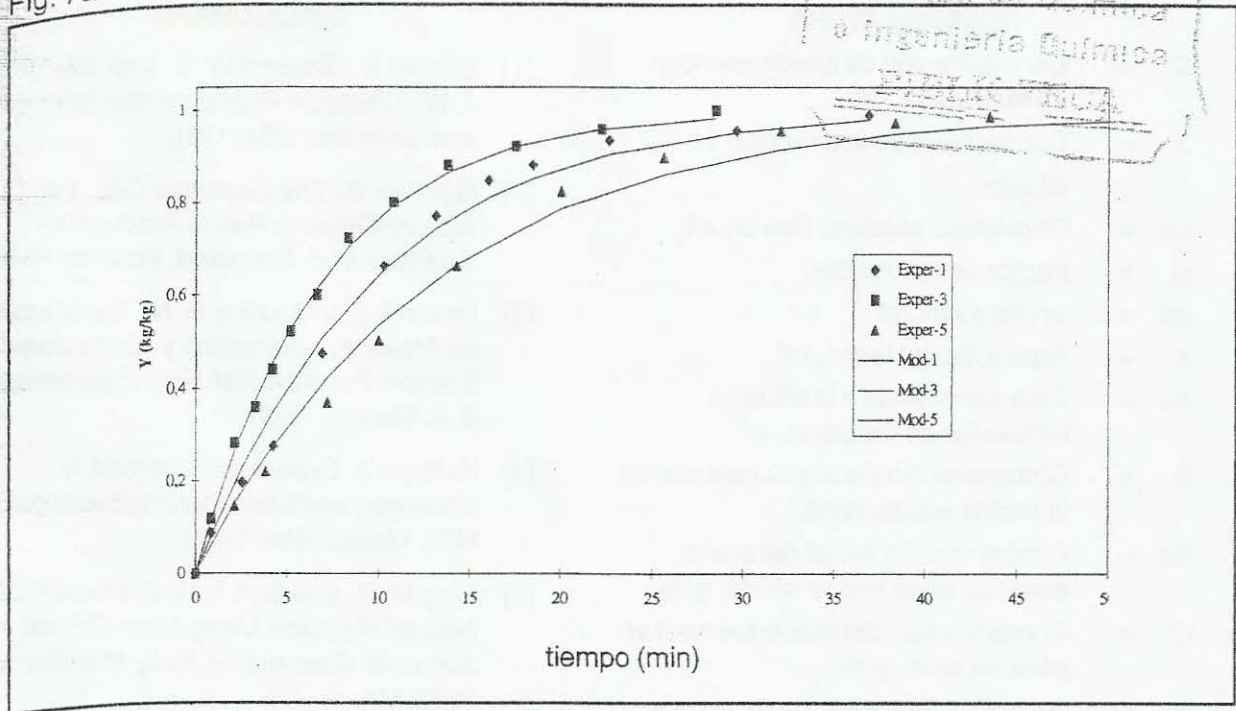
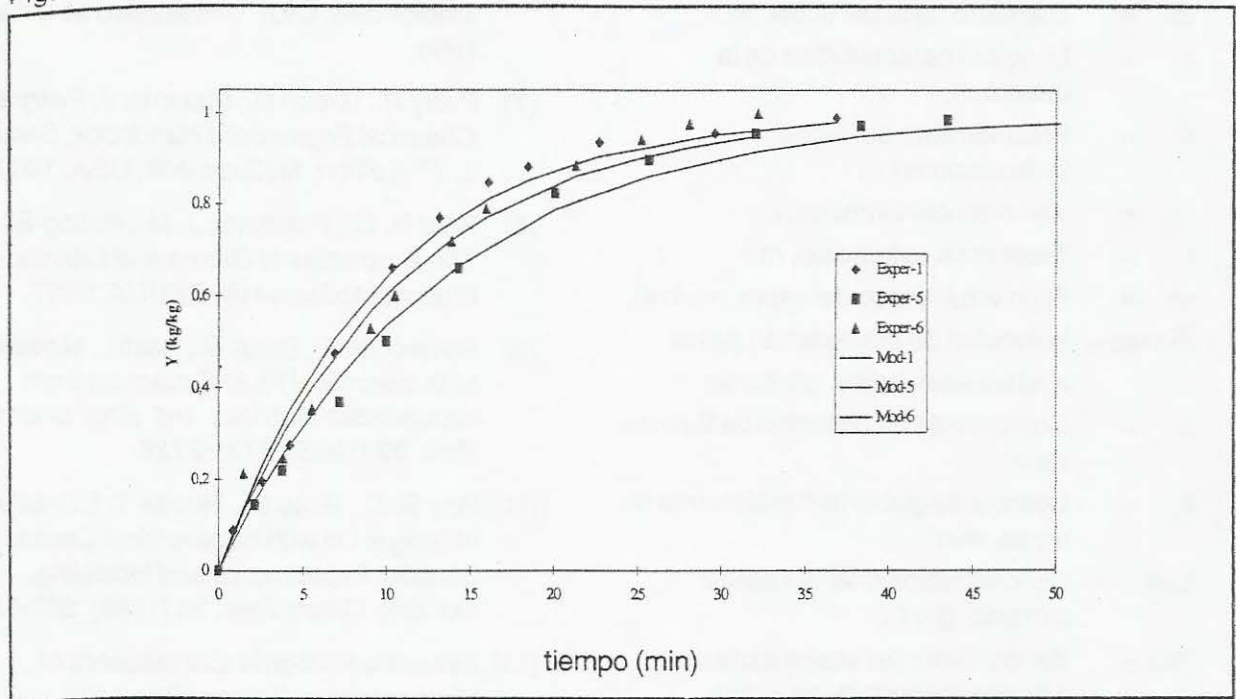


Fig. 7b



Rendimientos experimentales y pronosticados para diferentes comidas

UNMSM  
Facultad de Química  
e Ingeniería Química  
BIBLIOTECA



## NOMENCLATURA

C	=	Concentración de aceite esencial en fase fluida, g/mL
X	=	Coordenada de la dirección de difusión
De	=	Difusividad efectiva, $De = D_A \cdot e/t_0$
$\tau_0$	=	Factor de tortuosidad
ae*	=	aceite esencial
A <sub>t</sub>	=	Area total del lecho, m <sup>2</sup>
A <sub>p</sub>	=	Area transversal a la difusión molecular en los poros, m <sup>2</sup>
S	=	Concentración del aceite esencial en la matriz sólida, g/mL.
S <sub>0</sub>	=	Concentración inicial del aceite esencial en la matriz sólida, g/mL.
C*	=	Concentración del aceite esencial en boca de poro, g/mL.
dt	=	Diámetro del equipo de extracción, m.
dp	=	Diámetro de la partícula, m.
L	=	Longitud característica de la tableta, m.
$\mathcal{E}$	=	Fracción libre del lecho (adimensional)
V	=	Volumen del extractor, L.
t	=	Tiempo de extracción, min.
v <sub>0</sub>	=	Flujo volumétrico del vapor, mL/min.
$\mathcal{R}_{evap}$	=	Velocidad de evaporación de los aceites esenciales, g/mL.min
z	=	Coordenada de dirección de flujo de vapor
k <sub>g</sub>	=	Coefficiente global de transferencia de masa, min <sup>-1</sup>
C <sub>ex</sub>	=	Concentración final del aceite extraído, g/mL.
Y <sub>ex</sub>	=	Rendimiento del aceite extraído, g.aceite extraído/g. de aceite disponible.
$\xi$	=	Módulo de extracción del aceite esencial (adimensional)
$\mathcal{S}$	=	Factor de efectividad de extracción (adimensional)
u	=	Velocidad lineal, m/min.
$\mathcal{R}_{exs}$	=	Velocidad de extracción desde la fase sólida, g. de ae*/mL.min.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bird R. B., Stewart W. E. and Lightfoot E.W. *Transport Phenomena*. John Wiley and Sons Inc, USA, 1960.
- [2] Günther E. *The Essential Oils. Vol 1: History-Origin in Plants-Production-Analysis*. Van Nostrand, Holand, 1948.
- [3] Hines A. L. y Maddox R. N. *Transferencia de Masa: Fundamentos y Aplicaciones 1<sup>a</sup> Edición*. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. México, 1987.
- [4] Kafarov V. *Cybernetic Methods in Chemistry and Chemical Engineering*. Edit. MIR, Moscú, 484, 1976.
- [5] King M. B. and Bott T. R. *Extraction of Natural Products Using Near-Critical Solvents*. Chapman & Hall, 1<sup>st</sup> Edition, 1993, UK.
- [6] Pérez Beatriz. *Catálogo de Plantas Medicinales*. CIDI. Universidad de Lima, 1994.
- [7] Perry R., Green D., Maloney J. *Perry's Chemical Engineers's Handbook, Section 2, 7<sup>th</sup> Edition*, McGraw-Hill, USA, 1997.
- [8] Reid R. C., Prausnitz J. M., Poling B. E. *The Properties of Gases and Liquids. 4<sup>th</sup> Edition*, McGraw-Hill, EEUUA, 1987.
- [9] Reverchon E., Densi G., Sesti L. Modelling of Supercritical Fluid Extraction from Herbaceous Matrices. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **32** (1993), 2721-2726.
- [10] Roy B. C., Goto M., Hirose T. Extraction of Ginger Oil with Supercritical Carbon Dioxide: Experiments and Modeling. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35** (1996), 607-612.
- [11] Senatore F. Volatile Constituents of *Mintostachys Setosa* (Briq.) Epl (Lamiaceae) from Perú. *Flavour Fragr. J.*, **13** (1998), 263-265.
- [12] Shankar and Others. Effect of Solute Solute Correlations on Rapid Reactions in Supercritical Fluids. *AIChE Journal*, February, 1995.
- [13] Yohida M. Control of the Temperature Distribution in a Supercritical Gas Extractor. *ICE*, February, 1990.
- [14] Yoshida N. and others., *ICE*, **30** No. 1 (1990), p.142.



- [15] Zhi Yong Liu. Prediction of Critical Pressure of Dilute Multicomponent Mixtures. *AIChE Journal*, July, 1998.
- [16] Zhukova T. Pisarenko, V. Y Kafarov., *ICE*, **30**, No.1 (1990), p.57.
- [17] Bennett C. And Myers J. *Momentum, Heat and Mass Transfer*, Third edit. Mc-Graw Hill, 1982.
- [18] Coulson J. And Richardson J. *Chemical Engineering*, Volume three, 2nd. Edition, Pergamon Press, G.B., 1979.
- [19] Fogler Scott. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [20] Folha do Sao Paulo, Brasil, Dom. 14-03-99, p.11, *Sec. Ciencia*.
- [21] Roy B., Goto M. and Hirose T., *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35** (1996), 607-612.
- [22] Bischoff K. B. *AIChE Journal*, **11** (1965), 351.
- [23] Petersen E. E., *Chem.Eng. Sci.*, **8**, (1958), 284.
- [24] Palacios Vaccaro Julio. *Plantas Medicinales Nativas del Perú*. Edic. CONCYTEC, Serie Ciencias, 1997.
-