

Obtención de jugo de *Morinda Citrifolia* L. (Noni) por extracción sólido líquido

Obtaining *Morinda citrifolia* L. (noni) juice by solid-liquid extraction

Isnel Benítez Cortés^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-8969-6213>

María Eugenia O'Farril Pié² <https://orcid.org/0000-0001-6451-3065>

Juan Bautista de León Benítez² <https://orcid.org/0000-0002-1689-2301>

¹Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz. Cuba

²Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba

* Autor para la correspondencia: isnel.benites@reduc.edu.cu

RESUMEN

Introducción: La *Morinda Citrifolia* L. tiene compuestos de gran importancia para la producción de fármacos. La evaluación de varios solventes para su extracción en diferentes condiciones de operación, resulta de gran importancia para una futura planta a escala industrial.

Objetivo: Evaluar la influencia de las principales variables que afectan el proceso de extracción en el rendimiento y obtener los modelos que caracterizan su comportamiento.

Materiales: Se trabaja con el fruto de *M. citrifolia* recolectado en el campo de la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui, Venezuela. Se sometió a un proceso de tratamiento y se realizaron extracciones, a escala de laboratorio, con acetato de etilo y alcohol etílico al 40 % y 95 % de concentración. Se evalúan estos solventes a tres tiempos de contacto discontinuo: 24, 48 y 72 horas. Se determinan los modelos que relacionan la variación del índice de refracción y el pH con el rendimiento de extracción. Se realiza un estudio a escala piloto con alcohol etílico manteniendo las mismas condiciones estudiadas en el laboratorio.

Resultados: se pudo apreciar que el alcohol es mejor como solvente al 95 %, 40 °C y 72 h de contacto que el acetato de etilo, que muestra una pobre selectividad por los aceites de la *M. citrifolia*. Los modelos utilizados permiten predecir el rendimiento en aceite con el

tiempo de extracción, y el logarítmico es el que mejor se ajusta a los datos. La recuperación del solvente disminuye con el tiempo, lo que es más favorable para el acetato de etilo. Los resultados a escala piloto están entre 25,7-27,4 %, similares a los obtenidos a escala de laboratorio.

Conclusiones: el alcohol etílico al 95 % a una temperatura de 40 °C presenta mejores resultados para la extracción y los modelos obtenidos permiten predecir el comportamiento en el tiempo del proceso de extracción.

Palabras clave: Morinda Citrifolia; Noni; extracción sólido-líquido; solvente

ABSTRACT

Introduction: Morinda citrifolia L. contains compounds of great interest to drug manufacture. Evaluation of several solvents for their extraction under various operational conditions is very important for the construction of an industrial plant in the future.

Objective: evaluate the influence exerted by the main variables affecting the process of extraction upon the output, and obtain models characterizing behavior during that process.

Materials: M. citrifolia fruits were collected from the field at José Antonio Anzoátegui Polytechnic University in Venezuela. The fruits were subjected to treatment, performing extractions with ethyl acetate and 40% and 95% ethyl alcohol at laboratory-scale concentration. The solvents were evaluated at three discontinuous contact times: 24, 48 and 72 hours. Determination was made of models relating refractive index variation and pH to extraction output. A pilot study was conducted with ethyl alcohol under the same conditions as in the laboratory.

Results: alcohol is a notably better solvent at a concentration of 95%, a temperature of 40°C and during 72 h of contact than ethyl acetate. The latter displays poor selectivity for M. citrifolia oils. The models obtained allow to predict yield in oil for a given extraction time, the logarithmic model being the one that best adjusts to the data. Solvent recovery decreases with time, and is more favorable for ethyl acetate. Pilot scale results range between 25.7% and 27.4 %, similar to the ones obtained at laboratory scale.

Conclusions: ethyl alcohol at a concentration of 95% and a temperature of 40°C provides better extraction results. The models obtained allow to predict the behavior of the extraction process along time.

Key words: Morinda citrifolia; noni; solid-liquid extraction; solvent.

Recibido: 15/03/2017

Aceptado: 10/01/2019

Introducción

La *Morinda. Citrifolia* L. (noni) es un arbusto nativo del sudeste de Asia que pertenece a la familia *Rubiácea*, crece en ambientes cálidos tropicales y es cultivado en Polinesia, India, el Caribe y en ciertos países de Norte, Centro y Sur América.^(1,2) Es una planta perenne cuyo tamaño varía desde los tres centímetros, cuando se encuentra en las etapas iniciales en el vivero, hasta una altura de 7 m.

Cerca de 160 compuestos han sido identificados en la planta de *M. citrifolia*, entre ellos se encuentran compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y alcaloides.^(3,4) Los ácidos orgánicos más importantes son el caproico y caprílico, mientras que el alcaloide más importante es la xeronina. Contiene un 90 % de agua y los componentes más importantes de la materia seca aparecen como sólidos solubles y proteínas. El contenido de proteína de la fruta es sorprendentemente alto, representa el 11,3 % de la materia seca del jugo, y los aminoácidos más importantes son el ácido aspártico, ácido glutámico y la isoleucina.

El contenido de minerales en la materia seca es de un 8,4 %, y los más importantes son el potasio, azufre, calcio, fósforo y pequeñas cantidades de selenio, que se han encontrado en el jugo. En cuanto a los componentes activos, están presentes una cantidad importante de polifenoles y antioxidantes^(2,5,6,7,8) con probados poderes antiinflamatorios.⁽⁹⁾ Posee un elevado contenido de vitamina C, por encima de frutas como la naranja, limón, kiwi o guayaba, mientras que el de polifenoles totales se compara con los del banano, manzana, pera, uva y arándano azul.^(4,10) Dentro de estos últimos, se destacan las antraquinonas (damnacantal, morindone y morindín), scopoletina y otras que se han identificado como los glucósidos.⁽²⁾ Se reportan también la presencia de ácido isopropílico, glicerina, sorbitol y manitol.⁽¹¹⁾ También se ha identificado la presencia de proxeronina, la cual estimula al cuerpo humano a producir xeronina, que resulta ser un elemento vital para las moléculas proteicas del cuerpo.

Algunos compuestos que la *M. citrifolia* contiene presentan la característica de ser agentes antibacteriales comprobados (acubina, L. Asperuloside, alazaria),⁽¹²⁾ mientras que otras pruebas demuestran la acción antimicrobiana en contra de los patógenos: *Salmonella typhimurium* (y otros tipos) y *Shigella paradysenteriae*.^(13,14) En Venezuela, el aceite

esencial o néctar del fruto de la *M. citrifolia* es utilizado con fines medicinales dado las propiedades curativas y antibacteriales que posee. Otros estudios revelan que el jugo se puede utilizar para el ajuste de los niveles de colesterol en sangre,⁽¹⁵⁾ como analgésico,⁽³⁾ antimicótico⁽¹⁶⁾ y en el tratamiento de los trastornos ocasionados por el exceso de lípidos en el organismo,⁽¹⁷⁾ entre otros usos.

Dentro de los sistemas de obtención, se destacan los procesos de extracción sólido-líquido, usando diferentes solventes y relaciones de concentración. En estos procesos, el soluto está inicialmente en la fase sólida y la cantidad que se disuelve estará limitada por la saturación de la disolución, que será en función de la temperatura, presión y concentración de soluto y solvente, procesos estos controlados por etapas de difusión que inciden en el rendimiento y velocidad de extracción. Para el diseño de una planta de extracción de estos jugos a escala industrial, es necesario conocer el comportamiento en el tiempo del proceso de extracción, así como la influencia de estas variables. Por tales motivos, el objetivo de este trabajo es evaluar la influencia de las principales variables que afectan el proceso de extracción en el rendimiento del proceso, así como obtener los modelos que caracterizan su comportamiento.

Métodos

Estudios a escala de laboratorio

Se utiliza el fruto de la planta *M. citrifolia* L. en estado fresco, colectado en el campo de la Universidad Politécnica Territorial (UPT) José Antonio Anzoátegui, municipio El Tigre, Anzoátegui, Venezuela (Latitud: 8°53'15" N, Longitud: 64°14'43" O- 295 msnm). Un espécimen de la planta, con el número 12058, fue depositada en HIPC, herbario de la Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz. Los estudios se realizan en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UPT.

Se definen las variables independientes que afectan el proceso de extracción, como son la temperatura,⁽¹⁸⁾ tamaño de las partículas, tiempo de contacto, tipo de solvente y relación sólido-solvente. Las variables dependientes que se evalúan son: el rendimiento en jugo, la recuperación del solvente, el pH y el índice de refracción, utilizado este último como criterio para seguir el comportamiento del proceso.

Selección de la planta en estudio

Se selecciona el fruto de la *M. citrifolia* que esté libre de cortaduras, heridas y golpes para evitar las afectaciones que puedan provocar los microorganismos y bacterias y garantizar la calidad del producto final.

Lavado y troceado

Se lava con agua destilada a temperatura ambiente.⁽¹⁹⁾ Se mide la masa, pH, índice de refracción y grados Brix. Los frutos con grados Brix inferiores a 7,5 ° y superiores a 8,5 ° se descartan. Se corta en forma de cubos y rodajas para aumentar la transferencia de masa y se obtienen tamaños de partículas de 1 cm, tanto de las rodajas como los cubos.

Pesado

Se emplean muestras de 400 g cada una, pesadas en una balanza analítica marca Adventurer OHAUS modelo DV214C. Se inicia la experimentación seleccionando dos muestras similares de 200 g cada una: una que se somete al proceso completo de extracción sólido-líquido y otra hasta la etapa de escaldado y luego secado, para establecer condiciones iniciales de la *M. citrifolia* y, de esta manera, realizar el análisis gravimétrico sobre la base seca del fruto.

Escaldado y escurrido

Se trabaja a 75, 80 y 90 °C durante 1 min. Se introduce la muestra en un vaso de precipitado de 200 ml de agua destilada, previamente calentada a la temperatura del ensayo, y se agita con el objetivo de inactivar las enzimas, ablandar el fruto y reducir parcialmente los microorganismos presentes.⁽²⁰⁾ Se logra, además, la eliminación parcial de los gases intercelulares, fijación y acentuación del color natural, desarrollo del sabor característico y disminución de la selectividad de las paredes de la célula, entre otros.

Se procede a escurrir durante 15 min para eliminar el exceso de agua. Se determina el pH, índice de refracción y grados Brix del agua después del escaldado, para determinar si ha existido transferencia de masa entre la *M. citrifolia* y el agua. El pH se mide en un pH-metro marca Profesional Benchtop de Didacta C.A modelo BP 3001 y los grados Brix y el índice de refracción en un refractómetro marca Bausch & Lomb serial No 0221067 cat 33.46.10.

Pesado y secado

Se pesa el fruto después del filtrado⁽²⁰⁾ para determinar la cantidad de masa perdida durante el escaldado, que posteriormente entra al proceso de extracción y, de esta manera, establecer un patrón de comparación una vez terminado el proceso. Se selecciona la muestra, la cual se somete al proceso de secado sin ser tratada en el proceso de extracción, para realizar comparación sobre la base de la masa seca antes y después del proceso. El proceso se lleva a cabo por un tiempo de 24 h a una temperatura de 60 °C, ya que a partir de estas condiciones comienza la degradación del fruto. Este proceso se realiza en una estufa Digital marca J.P Selecta Dighiteat modelo 2001245.

Extracción sólido-líquido

Se estudian tres solventes para el proceso de extracción: etanol⁽²¹⁾ al 40 %, etanol al 95 % y acetato de etilo⁽²²⁾. Se inicia la experimentación con etanol a una concentración del 40 %, y se emplea para la extracción dos temperaturas (ambiente y 40 °C) y tres tiempos de contacto solvente-soluto (24, 48 y 72 horas).

Se colocan 50 g de *M. citrifolia* en un vaso de precipitado de 500 ml con agitación. En el caso del experimento a temperatura ambiente, se colocan en un lugar fresco y alejado de los rayos solares para evitar la degradación del fruto y pérdida de la calidad del extracto obtenido. Para el experimento a temperatura de 40 °C, se colocan las muestras en la misma estufa por el tiempo establecido para cada extracción. Se realizan las corridas experimentales a escala de laboratorio y se efectúan siete réplicas por cada combinación, para establecer resultados estadísticamente confiables.

Filtrado, pesado y secado

Se usa un tanque percolador por 20 min para separar la fase sólida de la fase líquida. Se pesa el fruto posterior al proceso de extracción para determinar la cantidad de masa perdida y por ende la cantidad de soluto extraído. El sólido se lleva a una estufa a una temperatura de 60 °C por un período de 24 horas para comparar la pérdida de masa sobre la base de la masa seca inicial y la masa posterior al proceso de extracción sólido-líquido.⁽²³⁾

Recuperación del disolvente

Se emplea la destilación por arrastre de vapor. La recuperación del solvente se puede considerar aceptable entre un 70 y 80 %. Se realizan mediciones de pH, índice de refracción y grados Brix tanto al solvente recuperado como al extracto obtenido.

Eficiencia global del proceso de extracción sólido-líquido

Se determina el porcentaje de rendimiento a cada una de las réplicas sobre la base de la masa seca:

$$RTO = \frac{MNSI - MNSDE}{MNSI} \times 100 \quad (1)$$

RTO = rendimiento (%)

MNSI = masa de noni seca inicial (g)

MNSDE = masa de noni seca después de la extracción sólido-líquido (g)

Cálculo de la recuperación del solvente

Se determina cuál es la diferencia entre el solvente inicial añadido y el solvente recuperado y se determina el porcentaje.

$$SR = \frac{VSR}{SI} \times 100 \quad (2)$$

VSR: = Volumen de solvente recuperado (mL)

VSI = Volumen de solvente inicial (mL)

Determinación de la relación entre rendimiento con la variación del pH y el índice de refracción

Para medir la velocidad y el grado de avance del proceso de extracción, se determina el pH y el índice de refracción de los solventes puros y al cabo de 24, 48 y 72 h para establecer un criterio que indique esta relación. Se realiza un análisis de regresión lineal manteniendo como variables independientes el pH y el índice de refracción y como variable dependiente el rendimiento.

Estudios a escala piloto

Se parte de la misma metodología expresada para los estudios a escala de laboratorio, hasta las etapas de filtrado, pesado y secado. Se utiliza una instalación experimental a escala piloto marca DIDACTA modelo IC47D-04. Se llena el depósito de solvente con tres litros de etanol y se coloca en funcionamiento el sistema de calentamiento hasta una temperatura de 60-65 °C para que el etanol alcance la temperatura de extracción necesaria. Se colocan 5 kg de *M. citrifolia* previamente tratados en la malla del tanque percolador, ubicado en el equipo de extracción sólido-líquido y se ajustan todas las válvulas de seguridad para evitar fugas en el proceso. Se pasa el etanol caliente hacia el extractor. Los vapores del alcohol suben hasta entrar en contacto con el condensador

ubicado en el tope del equipo de extracción por el cual está fluyendo en su interior agua a condiciones ambientales. El alcohol condensado cae gota a gota por efecto de la gravedad sobre el recipiente extractor que contiene la *M. citrifolia*. Este proceso se lleva a cabo hasta conseguir que el etanol cubra la *M. citrifolia* hasta un nivel de 5 a 10 cm por encima del sólido. Se comienza a contar a partir del instante en que el etanol se pone en contacto con el sólido. Se abre la válvula del fondo del extractor y se regula la operación a un flujo estacionario del extracto entre 20-30 mL/min, por ajuste de la válvula de alimentación del solvente para mantener constante el nivel del líquido en el extractor. La figura 1 muestra un esquema de la instalación experimental.

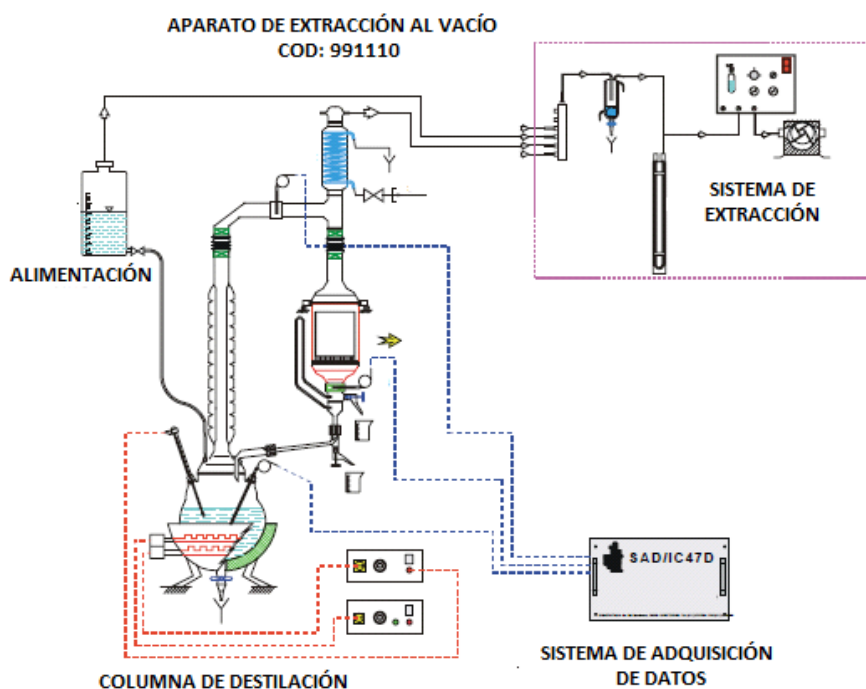


Fig. 1 - Esquema del equipo de extracción. (A-recipiente del disolvente extractor y camisa calentadora; B-Columna de tubos concéntricos; C-condensador; D-extractor; D1-extracción líquido/sólido; D2-extracción líquido/líquido (disolvente pesado); D3-extracción líquido/líquido (disolvente ligero); F-alimentación eléctrica calentamiento; H-termómetro con contacto eléctrico para regulación temperatura).

Fuente: Manual del equipo DIDACTA modelo IC47D-04

Se toman muestras cada 20 min y se determina su índice de refracción, hasta que sea constante, lo que indica que se ha culminado el proceso de extracción. Para cada tiempo se mide la temperatura del fluido a la entrada, a la salida del extractor y en el reservorio de solvente. Una vez finalizada la toma de muestras se cierran las válvulas y se mide el volumen retenido en el extractor y su respectivo índice de refracción. Los resultados se obtienen para tres muestras similares, a las cuales se les determina el valor promedio.

Estadística

Los valores de rendimientos en aceite fueron procesados en el software Statgraphics Centurion v. 16.2. Un análisis de regresión lineal permite obtener los modelos que relaciona el rendimiento en función del índice de refracción y el pH. Se reportan los resultados para cada uno de los solventes.

Resultados

Extracción con solventes

En los estudios a escala de laboratorio se aprecia que a medida que aumenta el tiempo de contacto, aumenta el rendimiento en aceite, lo que muestra un valor mayor para el caso del etanol al 95 % (Fig. 2).

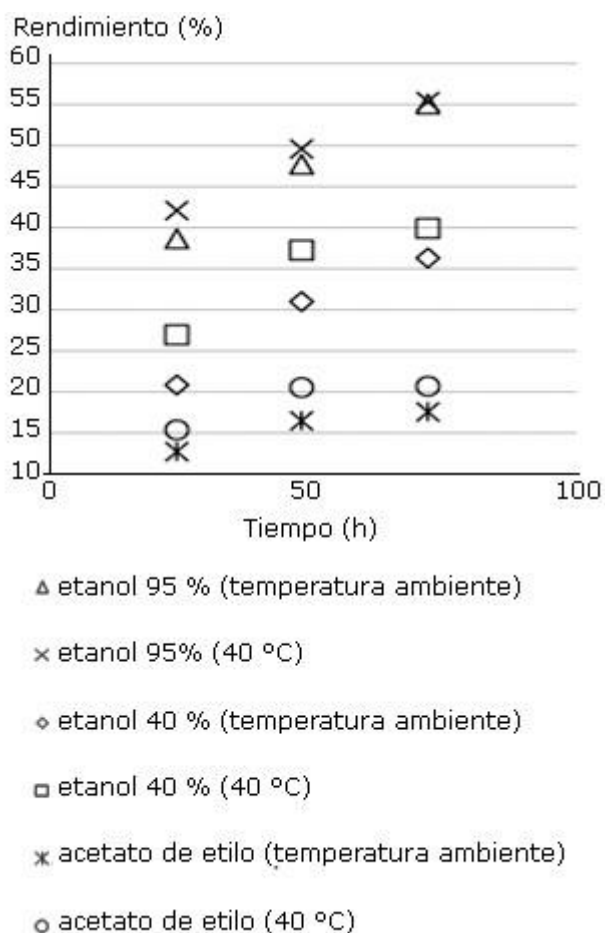


Fig. 2: Rendimientos en aceite

Se observa que el rendimiento mayor se obtiene para el etanol al 95 %, 40 °C y tiempo de contacto de 72 h. Para estas condiciones extremas, los rendimientos con alcohol al 40 % y acetato de etilo, representan un 72,4 % y 37,4 % respectivamente, del valor mayor obtenido correspondiente al alcohol al 95 %. Por otra parte, se aprecia que, a las 72 h de contacto, los rendimientos para el alcohol etílico a 95 % a la temperatura de 40 °C y a condiciones ambientales son similares (Tabla 1).

Tabla 1 - Modelos que caracterizan el rendimiento en aceite

Solvente	Temperatura	Modelo	R2
Etanol al 95 %	40 °C	$R_{to}=11,936\ln(t) + 3,9786$	0,9917
Etanol al 95 %	Ambiente	$R_{to}=14,705\ln(t) - 8,3358$	0,9692
Etanol al 40 %	40 °C	$R_{to}=12,10\ln(t) - 10,937$	0,9662
Etanol al 40 %	Ambiente	$R_{to}=14,248\ln(t) - 24,346$	0,9991
Acetato de etilo	40 °C	$R_{to}=5,1243\ln(t) - 0,4425$	0,8791
Acetato de etilo	Ambiente	$R_{to}=4,403\ln(t) - 0,9832$	0,9713

Los modelos obtenidos permiten predecir el rendimiento en aceite que se obtiene en función del tiempo de extracción. El modelo logarítmico es el que mejor se ajusta a los datos experimentales ya que indica la saturación en aceite del solvente a medida que pasa el tiempo, lo que disminuye la capacidad de absorción. Este aspecto se visualiza en la tendencia a una fase de meseta para el caso del acetato de etilo para tiempos mayores de 50 h, mientras que la tendencia para el alcohol es para tiempos superiores a las 72 h, y se aprecia mejor para el caso del etanol al 40 %. En el caso del etanol al 90 % se logra este comportamiento para tiempos superiores a las 72 h de contacto.

Recuperación del solvente

En cuanto a la recuperación del solvente, se observa que a medida que aumenta el tiempo de contacto, la recuperación del solvente va disminuyendo (Fig. 3).

Como el proceso de separación es por destilación y las temperaturas de ebullición de ambos solventes son similares, es de esperarse que la velocidad de recuperación de estos sea similar. No obstante, se observa que el acetato de etilo se recupera a una mayor velocidad que el alcohol. En el caso de las muestras con alcohol, no se observa una separación bien definida entre las fases del solvente y el aceite de *M. citrifolia*, o que sea posible la formación de pequeñas gotas de aceite en el alcohol. Esto puede provocar

dificultades en la difusión del alcohol, a través de las capas de aceite hacia la superficie del líquido limitando de esta forma el proceso de separación. Por otra parte, en condiciones ambientales se observa una mayor recuperación del solvente. Esto se debe a que la evaporación de los solventes se incrementa mientras más alta es la temperatura, lo que aumenta la presión de vapor dentro del frasco, y limita la capacidad de recuperación del solvente en el sistema.

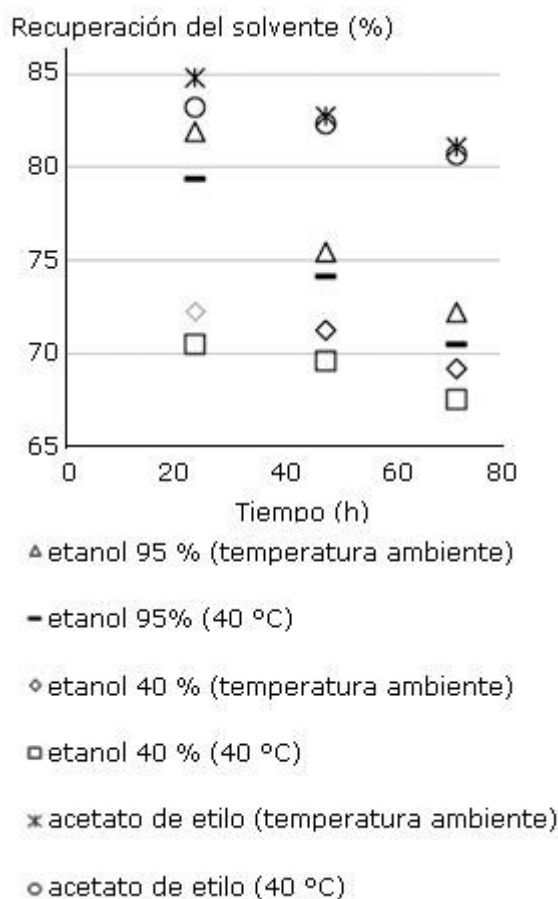


Fig. 3 - Recuperación del solvente

Comportamiento del índice de refracción y el pH

Los resultados del índice de refracción muestran que los valores van aumentando a medida que pasa el tiempo, con tendencia a alcanzar valores de 1,36 a partir de las 20 horas, los que se incrementan, solo ligeramente, en el caso de ácido etílico al 90 % y etanol al 95 %. El etanol al 40 % solo llega a valores de 1,345. Los mayores valores se obtienen para el acetato de etilo y etanol al 95 %. En todas las variantes estudiadas, para los niveles de temperaturas mayores de 40 °C se obtienen mejores resultados. El análisis estadístico mostró niveles promedio entre 1,3562-1,3422 para acetato de etilo y alcohol al 40 %

respectivamente. La desviación estándar oscila entre 0,0071-0,0164 para el alcohol al 40 % a 40 °C y acetato de etilo a la misma temperatura respectivamente. Los coeficientes de variación se encuentran entre 0,5347 % y 1,1256 %.

El pH muestra un incremento a medida que el proceso de extracción avanza. Los mayores cambios de pH se experimentan con el alcohol etílico al 95 % como solvente, mientras la menor variación se obtiene para el acetato de etilo. Para el caso de etanol como solvente, existe un incremento de este hasta transcurridas las 48 h de extracción. Este comienza entre 4,4593-4,4500 para todas las combinaciones y alcanza su valor máximo a las 48 h de 4,7186 y 4,7143 para 40 % y 95 % de concentración respectivamente. Para este solvente se aprecia un valor mayor para las experiencias a 40 °C. En el caso de la extracción con acetato de etilo, los valores iniciales se encontraban en 4,5421 y 4,5507 para temperatura ambiente y 40 °C respectivamente, y aumentan en el tiempo hasta llegar a valores de 4,7143 y 4,7186.

El análisis estadístico de estos resultados muestra valores de desviación estándar entre 0,0750 y 0,1321 los más altos son para el etanol a 95 %. Los valores promedio oscilan entre 4,6482-4,6699, con coeficientes de variación entre 1,6102 % y 2,8429 %.

Modelación matemática del rendimiento del proceso de extracción

Para establecer una relación matemática que caracterice la relación entre el índice de refracción y el pH con el rendimiento de la extracción, se realiza un análisis de regresión cuyos resultados aparecen en la tabla 2. Los modelos se ajustaron por análisis de regresión múltiple utilizando el software Statgraphics Centurion v. 16.2. En las combinaciones del etanol al 95 % a las dos temperaturas y el de acetato de etilo a temperatura ambiente, se obtuvieron modelos donde el pH y el índice de refracción mostraron gran influencia sobre el rendimiento, lo que no fue así en los otros casos, donde el pH no representaba influencia sobre el rendimiento. Para todos los casos, el valor de probabilidad es menor que 0,05, lo que indica que existe una relación estadísticamente significativa entre el rendimiento y el índice de refracción, con un nivel de confianza del 95,0 %. Por otra parte, se muestran valores del coeficiente de determinación por encima del 93 %, y en la mayoría de los casos se encuentra por encima del 99 %, lo que muestra un adecuado ajuste de estos a los resultados experimentales.

Tabla 2 - Resultados del análisis de regresión simple

Solvente	Temperatura	Modelo	R2	p
----------	-------------	--------	----	---

Etanol al 40 %	Ambiente	$Rto = 1,52e^{-2} + 2,26/ref + 845871/ref^2$	99,659	0,047
Etanol al 40 %	40 °C	$Rto = -3272,7 + 2457/ref$	93,414	0,033
Etanol al 95 %	Ambiente	$Rto = -17170,2 - 2091,24pH + 198861/ref$	99,699	0,054
Etanol al 95 %	40 °C	$Rto = 21254,3 - 2966,57pH + 25912,61/ref$	99,824	0,041
Acetato de etilo al 90 %	Ambiente	$Rto = -513,334 + 72,3543pH + 138,69/ref$	99,855	0,037
Acetato de etilo al 90 %	40 °C	$Rto = -771,386 + 579,3561/ref$	95,782	0,021

El análisis estadístico de los valores de índice de refracción y pH obtenidos indican que a pesar de que ambos aumentan en el tiempo, los valores de desviación estándar respecto al valor medio no son significativos y presentan valores del coeficiente de variación por debajo del 10 %, lo que demuestra que existe poca variación de estos parámetros en el proceso de extracción durante las 72 horas. De forma general, estos modelos permiten evaluar el grado de avance del proceso de extracción. La determinación del índice de refracción y del pH en los casos donde es significativa su influencia, permitirá establecer el valor del rendimiento que se obtiene en el proceso.

Comportamiento de la extracción a escala piloto

En los resultados a escala piloto se aprecia que el porcentaje de rendimiento en el equipo de extracción sólido-líquido oscila entre 25,7-27,4 % con un valor medio de 26,26 % y una desviación estándar de 0,7605. La recuperación promedio resultó de 79,15 % y el índice de refracción mostró una disminución en el proceso a escala piloto con respecto al laboratorio. De forma general, los coeficientes de variación obtenidos del rendimiento en aceite, el índice de refracción y el pH oscilaron entre 0,0429-2,8743.

En cuanto al porcentaje de recuperación del solvente, este resulta satisfactorio, los resultados son mayores que en el proceso de extracción a escala de laboratorio.

Discusión

En el estudio realizado, el acetato de etilo y alcohol etílico, a diferentes concentraciones y temperaturas, mostraron selectividad con el jugo de *M. citrifolia*, mientras que la extracción con alcohol etílico es mejor de maneja apreciable. En este caso, algunos estudios previos muestran su capacidad para extraer diferentes compuestos presentes en el jugo, como los carbohidratos, terpenoides y glicósidos,⁽¹⁹⁾ mientras que a concentraciones

de un 40 % y temperaturas de 65 °C, se presentan las mayores capacidades de extracción de los compuestos fenólicos y flavonoides.⁽²¹⁾

Estudios similares de extracción de jugo de *M. citrifolia* con etanol se han realizado con diferentes partes de la planta (hojas, fruto, flores) para obtener los metabolitos fundamentales que los componen, como taninos, quinonas, lactinas, flavonoides, entre otros.⁽²³⁾ Dentro de sus objetivos se encuentran evaluar la actividad hipotensora de extractos alcohólicos de *M. citrifolia*,⁽²⁴⁾ así como su uso como antiinflamatorio.⁽²⁵⁾ Por otra parte, las extracciones de jugo de *M. citrifolia* con acetato de etilo han mostrado potencialidades por su actividad antibacterial en peces.⁽²⁶⁾

En este estudio se reportan los modelos que permiten predecir el rendimiento en aceite que se va obteniendo con el tiempo de extracción en función de la temperatura, concentración de solvente y tiempo de contacto, no reportados por la literatura.

Los resultados obtenidos sobre la recuperación del solvente permiten predecir que estos procesos deben realizarse a la menor temperatura posible, para evitar su evaporación. Por su parte, los modelos reportados acerca del rendimiento de la extracción en función de los valores de índice de refracción y pH obtenidos, resultan una herramienta importante para el seguimiento de la cinética del proceso extractivo, siempre que se mantengan los rangos estudiados.

Estos resultados, no reportados para la *M. citrifolia* cultivada en el campo de la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui, Venezuela, se recomiendan para establecer los criterios cinéticos para el diseño posterior y escalado de una planta de extracción a escala piloto.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Politécnica Territorial José Antonio Anzoátegui, Venezuela.

Referencias bibliográficas

1. Krishnaiah D, Hiaw K, Sarbatly R, Anisuzzaman M, Nithyanandam R. Spray drying of *Morinda citrifolia* L. and *Beta vulgaris* L. fruit extract and its synergistic effect, IJCEA 2012;3(6).

2. Gupta R, Patel A. Do the Health Claims Made for *Morinda citrifolia* (Noni) Harmonize with Current Scientific Knowledge and Evaluation of its Biological Effects. *APJCP* 2013;14:4495-504.
3. Nandhasri P, Punjanon T. Analgesic effect of the alcoholic extracts from the fruits of *Morinda citrifolia* L. *ISHS*. 2005;678.
4. Nagalingam S, Sheela S, Mammen K. Extraction and preliminary phytochemical screening of active compounds in *Morinda citrifolia* fruit. *AJPCR* 2012;5(2):179-81.
5. Bramorski A, Cherem AR, Paula C, Torresani C, Mezdari T, Silva AA. Total polyphenol content and antioxidant activity of commercial Noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and its components. *BJPS* 2010;46(4):651-6.
6. Valli G, Murugalakshmi M, Mareeswari P. Evaluation of anti-inflammatory, analgesic and DNA binding studies of Manjanathi fruit extract. *IJRPC* 2014;4(1):61-6.
7. Thani W, Vallisuta O, Siripong P, Ruangwises N. Anti-proliferative and antioxidative activities of Thai Noni/Yor (*Morinda citrifolia* L leaf extract. *Southeast Asian j Trop. Med. Public. Health* 2010;41(2):482.
8. Rafiee Z, Jafari, SM, Alami M, Khomeiri M. Microwave-assisted extraction of phenolic compounds from olive leaves; a comparison with maceration, *JAPS* 2011; 21(4):738-45.
9. Srinivasahan V, Durairaj B. Antioxidant and free radical scavenging effect of *Morinda citrifolia* fruit extract. *IJPPS* 2014;6(4):55-9.
10. Ramamoorthy P, Bono A. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid content of *Morinda citrifolia* fruit extracts from various extraction processes. *JESTEC* 2007;2(1):70-80.
11. Rivera A, Cedillo L, Hernández F, Castillo V, Sánchez A, Castañeda D. Bioactive constituents in ethanolic extract leaves and fruit juice of *Morinda citrifolia*. *Ann Biol Res* 2012;3(2):1044-9.
12. Chatterjee S. *Phytomedicines in Dentistry*. *IOSR-PHR* 2014;4(4):01-3.
13. Sivaraman D, Muralidharan P. Evaluation of Anti-microbial and Anti-inflammatory activity of *Morinda tinctoria*. *AJEBS* 2010;1(1):8-13.
14. Sibi G, Chatly P, Adhikari S, Ravikumar KR. Phytoconstituents and their influence on antimicrobial properties of *Morinda citrifolia* L. *JMPR* 2012;441-8.
15. Palu A, Brown A, Deng S, Kaluhiokalani N, West B. The effects of Noni (*Morinda citrifolia* l) fruit juice on cholesterol levels: a mechanistic investigation and an open label pilot study. *JAPS* 2012; 2(9):025-30.

16. Pandey V, Narasingam M, Mohamed Z. Antipsychotic-like activity of Noni (*Morinda citrifolia* L.) in mice BMC. Complementary and Alternative Medicine 2012;12:186.
17. Mandukhail SR, Aziz N, Gilani AH. Studies on antidyslipidemic effects of *Morinda citrifolia* (Noni) fruit, leaves and root extracts. Lipids Health Dis 2010;9:88.
18. Thirukkumar S, Vennila P, Maheswari T. Investigation of total antioxidant activity and phenol in Indian noni fruit (*Morinda citrifolia* Linn.) juice extraction, JPP 2017;6(2):241-3.
19. Manju M, Arul S, Rani MA. Comparative study on phytochemical and biochemical of the fruit and ferment juice of *Morinda Citrifolia*, L., (Noni), IJASE 2017;2(3):01-4.
20. Da Silva AM, Soares RM, Silva JC, Fernandez A, Paschoal R, Coelho A, Biotechnological Potential Assessment of Noni Fruit (*Morinda citrifolia* Linn.), MOJFPT 2017;5(4):1-6.
21. Najla SJ, Amin I, Alfi K, Fawzi M, Nazamid S, Muhammad W, *et al.* *Morinda citrifolia* L. leaf extract prevent weight gain in Sprague-Dawley rats fed a high fat diet, Food Nutr. Res. 2017;61:1-13.
22. Coutinho B, Reis J, Vinicius M, Alvares T, Lazo JE, do Prado T, *et al.* *Morinda citrifolia* (Noni) Fruit Juice Reduces Inflammatory Cytokines Expression and Contributes to the Maintenance of Intestinal Mucosal Integrity in DSS Experimental Colitis, Mediators of Inflammation 2017:1-10.
23. Valencia M, Ancona J, Reyes J, García M, León F. Evaluación de los metabolitos del Noni (*Morinda citrifolia*), ReIbCi 2017;4(4):16-22.
24. Wigati D, Anwar K, Agung EN. Hypotensive Activity of Ethanolic Extracts of *Morinda citrifolia* L. Leaves and Fruit in Dexamethasone-Induced Hypertensive Rat, Evidence-Based Complement Alt Med 2017;22(1):107-13.
25. Huang HL, Ko CH, Yan YY, Wang CK. Antiadhesion and anti-inflammation effects of noni (*Morinda citrifolia*) fruit extracts on AGS cells during *Helicobacter pylori* infection, J Agric Food Chem 2014;62(11):2374-83.
26. Nugraheni ER, Adriani GR, Munawaroh H. Antibacterial Activity of Ethyl Acetate the Extract of Noni Fruit (*Morinda citrifolia* L.) Against Bacterial Spoilage in Fish. IOP Conf. Mat Sci Eng 193 2016. 2016 [acceso: 14/05/2017]. Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017MS%26E.193a2019N>.

Conflicto de intereses

Los autores refieren no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Yennitza del Carmen Ravelo Díaz: Gestora de la investigación. Seleccionó la especie de estudio y realizó la extracción de los compuestos.

Isnel Benítez Cortés: Asesor para el tratamiento y análisis de los resultados. Escribió y conformó el artículo. Realizó el diseño metodológico de la investigación y la modelación matemática de los resultados.

María Eugenia O'Farril Pié: Realizó el diseño metodológico de la investigación y el análisis de los resultados.

Juan Bautista de León Benítez: Realizó el diseño metodológico de la investigación.