

## Cinética de lixiviación de la corteza de mangle rojo en agua

### Leaching kinetics of the red mangrove bark in water

Lic. Yanet Rodríguez Perdomo,<sup>I</sup> Dra. C. Caridad Curbelo Hernández<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Dirección de Producciones Biofarmacéuticas. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup> Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (ISPJAE), Marianao, La Habana, Cuba.

---

#### RESUMEN

**Objetivo:** determinar la naturaleza del fenómeno que rige la transferencia de masa durante la lixiviación del mangle rojo en agua mediante el estudio de la cinética del proceso.

**Métodos:** se estudió la cinética de lixiviación de la corteza de mangle rojo en agua a escala de laboratorio, en una relación sólido/líquido 1:4 a diferentes temperaturas (25, 45, 70 y 90 °C). Para cada temperatura en particular se determinó la constante cinética a partir de la ecuación fundamental de la lixiviación mediante un modelo ajustado empleando el programa estadístico CurveExpert 1.4 para Windows. °

**Resultados:** los valores de la concentración de sólidos solubles totales correspondientes a 25 y 45 °C presentaron un incremento apreciable durante los primeros 20 min, y los correspondientes a 70 y 90 °C lo alcanzaron a los 30 min. El valor de la energía de activación obtenida en el experimento correspondió a 2,884 kJ.

**Conclusiones:** la naturaleza de la lixiviación de la corteza de mangle rojo se produce por vía física.

**Palabras clave:** cinética, energía de activación, lixiviación, mangle rojo, plantas medicinales.

---

#### ABSTRACT

**Objective:** to determine the type of phenomenon ruling the mass transfer during leaching of red mangrove in water by studying the kinetics of this process.

**Methods:** the kinetics of leaching of red mangrove bark into water at lab was studied

in a solid/liquid ratio of 1:4 at different temperatures (25, 45, 70 and 90 °C). For each temperature, the kinetic constant was estimated from the fundamental leaching equation by a fitted model using the statistical program CurveExpert 1.4 for Windows.

**Results:** the total soluble solid concentration values showed a sizeable increase at 25 and 45 °C in the first 20 minutes and at 70 and 90 °C in 30 minutes. The activation energy in the experiment amounted to 2.884 kJ.

**Conclusions:** the leaching of the red mangrove bark is of physical origin.

**Key words:** kinetics, activation energy, leaching, red mangrove, medicinal herbs.

---

## INTRODUCCIÓN

Entre las especies vegetales estudiadas en Cuba se encuentra *Rhizophora mangle* L., comúnmente llamado mangle rojo, a la cual Roig<sup>1</sup> le atribuyó diferentes propiedades en su uso popular, por ejemplo, para el tratamiento de enfermedades de la garganta y en la tuberculosis pulmonar. También se ha informado su empleo contra la lepra, el asma, el envenenamiento con pescados contaminados, la úlcera péptica, los trastornos digestivos, las infecciones de la piel y las enfermedades venéreas.

En el último decenio del pasado siglo se comenzaron a realizar estudios orientados a corroborar el efecto etnomédico de esta planta, y se demostraron las propiedades farmacológicas del extracto acuoso de la corteza de *Rhizophora mangle* L., para la prevención de la mastitis bovina,<sup>2</sup> y la eficacia en la curación de las heridas,<sup>3</sup> así como sus propiedades antimicrobianas;<sup>4,5</sup> a su vez resultó exitoso en el tratamiento de las infecciones uterinas en bovinos,<sup>6</sup> y las úlceras gastroduodenales;<sup>7</sup> recientemente se demostraron sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes.<sup>8</sup>

Estas propiedades farmacológicas son atribuidas a la compleja composición química del extracto acuoso de la corteza de mangle rojo, informado por Sánchez,<sup>9</sup> en cuya composición se han identificado polifenoles, carbohidratos, ácidos grasos, fitoesteroles y aceites esenciales.

La operación unitaria más significativa durante el proceso de fabricación del ingrediente farmacéutico activo (IFA) de mangle rojo es la lixiviación de la corteza en agua, donde los parámetros de operación del sistema, como: tamaño de partículas, temperatura, presión, velocidad de agitación y tiempo de extracción están establecidos. Sin embargo, la determinación de los parámetros cinéticos de este proceso de transferencia de masa no se informan en la literatura científica consultada.

El objetivo propuesto en el presente trabajo es determinar la naturaleza del fenómeno que rige la transferencia de masa durante la lixiviación del mangle rojo en agua mediante el estudio de la cinética del proceso.

## MÉTODOS

El estudio cinético se realizó variando la temperatura (25, 45, 70 y 90 °C) del proceso de lixiviación de la corteza de mangle rojo. El tamaño de partícula de la corteza de mangle rojo se fijó en 2 mm y las condiciones de operación del reactor de acero inoxidable a escala de laboratorio fueron las siguientes:

- Volumen efectivo: 0,002 m<sup>3</sup>
- Relación corteza de mangle/agua: 1/4 (25 %)
- Velocidad de agitación 200 min<sup>-1</sup>
- Área de transferencia de calor: 0,103 m<sup>2</sup>
- Presión de trabajo 101,3 kPa.

Se realizaron tres réplicas en todos los puntos experimentales, tomando muestras cada 10 min durante 90 min para cada temperatura, y se determinó la concentración de sólidos solubles totales (C<sub>SST</sub>) mediante el método gravimétrico, utilizando una balanza Sartorius tipo 73-93-A.

Los datos experimentales se ajustaron utilizando el programa CurveExpert 1.4 para Windows.

## RESULTADOS

La C<sub>SST</sub> que corresponde a las temperaturas 25 y 45 °C tiene un incremento apreciable durante los primeros 20 min, y la que corresponde a 70 y 90 °C lo alcanza a los 30 min (Fig. 1). A partir de ese momento para todos los casos el aumento es más discreto hasta los 90 min que dura el experimento.

Desde el punto de vista experimental, los datos se ajustaron a la ecuación fundamental de la lixiviación descrita por *Backhurst* y otros,<sup>10</sup> teniendo en cuenta que el tratamiento matemático de esta operación resulta relativamente complejo, debido al carácter multicomponente y no estacionario de esta.

$$C = C_s (1 - e^{-kt})$$

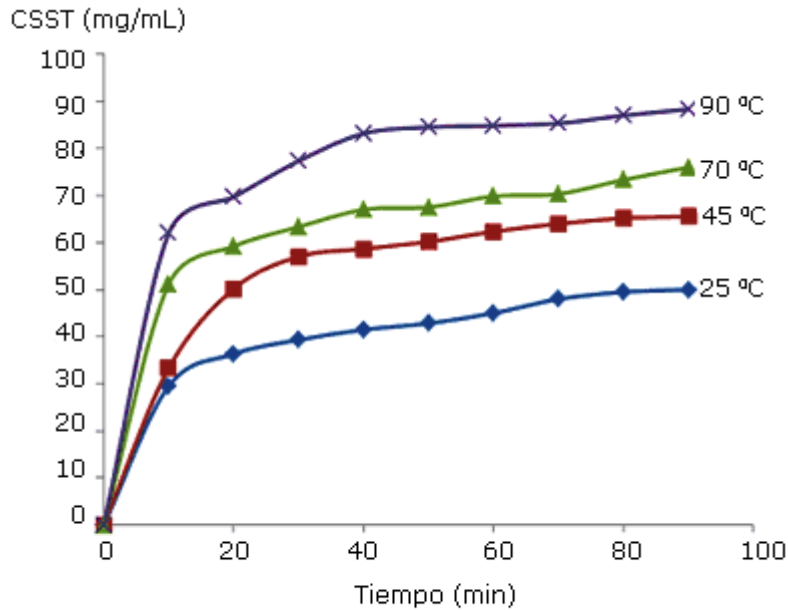
donde:

C: concentración de la solución líquida para un tiempo t (mg/mL)

C<sub>s</sub>: concentración de saturación del disolvente (mg/mL)

k: constante cinética de la velocidad de extracción (min<sup>-1</sup>)

t: tiempo de extracción (min)



**Fig. 1.** Comportamiento de la cinética de lixiviación del mangle rojo.

Los valores de constante cinética (k), concentración de saturación (C<sub>s</sub>) y el coeficiente de correlación determinados a través del programa estadístico se muestran en la tabla.

**Tabla.** Valores de los parámetros de la cinética de lixiviación según el modelo ajustado

T (°C)	T (K)	Constante cinética (k) (min <sup>-1</sup> )	Concentración de saturación [C <sub>s</sub> ] (mg/mL)	Coficiente de correlación (r)
25	298	0,1462	38,393	0,9112
45	318	0,1481	55,728	0,9867
70	343	0,1667	62,999	0,9658
90	363	0,178	77,730	0,9583

La energía de activación del proceso, se determinó a partir de la ecuación de Arrhenius, la cual relaciona la constante cinética con la temperatura absoluta:

$$k = A e^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

donde:

A: factor de frecuencia (min<sup>-1</sup>).

E<sub>a</sub>: energía de activación (J/mol).

R: constante universal de los gases (8,31 J/mol K).

T: temperatura absoluta (K).

aplicando logaritmo en base n a los dos miembros de la ecuación:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$\frac{E_a}{R}$ ; corresponde al valor de la pendiente.

En la figura 2, donde se grafican los valores  $\ln k$  vs.  $1/T$ , se obtiene la siguiente ecuación:

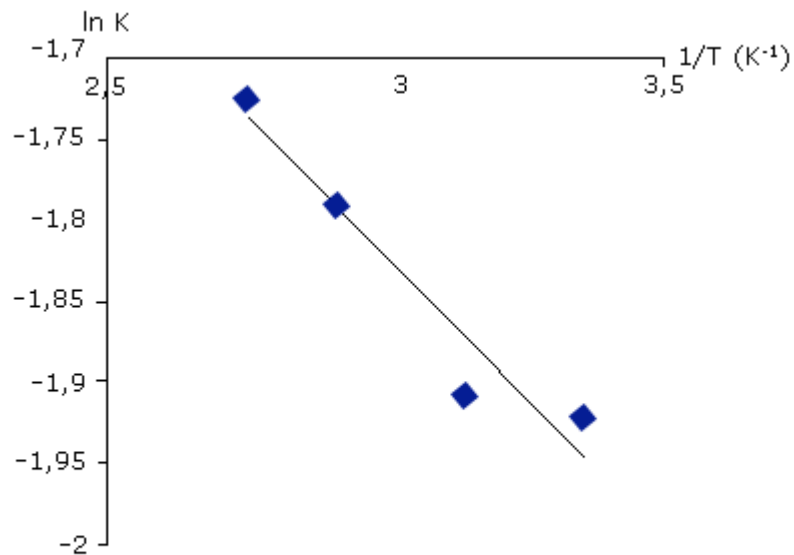
$$\ln k = -0,782 - \frac{347,025}{T}$$

donde:

$$\frac{E_a}{R} = 347,025$$

$$E_a = 347,025 \times 8,31 = 2,884 \text{ kJ}$$

El valor de la energía de activación obtenida en el experimento corresponde a 2,884 kJ.



**Fig. 2.** Relación de la constante cinética con la temperatura absoluta.

## DISCUSIÓN

La transferencia de sólidos solubles al disolvente resulta mayor con el incremento de la temperatura, de manera que alcanza a los 90 °C la mayor concentración, aspecto favorable en la obtención del IFA. Las temperaturas más elevadas dan lugar a una mayor solubilidad del soluto en el disolvente y, en consecuencia, es posible lograr concentraciones finales más altas en el extracto siempre teniendo en cuenta que no exista degradación de los metabolitos vegetales que se extraen.

El modelo seleccionado para describir la cinética de lixiviación de la corteza de mangle rojo es adecuado teniendo en cuenta el valor del coeficiente de correlación para cada curva. La utilidad de la ecuación para describir la cinética de la lixiviación de productos naturales, fue corroborada por Escobar<sup>11</sup> en sus estudios sobre la lixiviación del pimentón con etanol, y por Curbelo<sup>12</sup> durante la lixiviación acuosa de tabaco rubio.

La constante cinética de la velocidad de extracción depende de la naturaleza del sistema sólido-líquido que se trate y de la temperatura.<sup>13</sup> Este valor obtenido experimentalmente a diferentes temperaturas permite calcular el valor de la energía de activación obtenida en el experimento, lo cual indica que el proceso de transferencia de masa es difusivo, ya que según Habashi<sup>14</sup> cuando este valor es inferior a 12 kJ/mol el proceso de lixiviación está controlado por la difusión, es decir, por vía física.

A partir de este estudio se concluye que la naturaleza de la lixiviación de la corteza de mangle rojo se produce por vía física, con un valor de energía de activación equivalente a 2,884 kJ/mol.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roig JT. Plantas medicinales, aromáticas o venenosas de Cuba. 2 ed. La Habana: Editorial Ciencia y Técnica; 1988.
2. Armenteros M, Ginorio M. Determination of the minimum inhibitory concentration of *Rhizophora mangle* L. (red mangrove) against different microorganisms. Rev Salud Anim. 1999;21(2):135.
3. Bulnes C, Fernández O, Navarro D, Marrero E, Rueda D, Figueroa O, et al. Healing Effect of a red mangrove extract in open aseptic wounds in rats. Rev Salud Anim. 2001;23(2):102-109.
4. Melchor G, Fernández O, Álvarez E, Fragas I, Lobo E. Evaluación del efecto antiséptico *in vivo* del CIKRON-H. Rev Mex Ciencias Farmac. 2001;32(1):25-30.
5. Montes de Oca N, Riverón Y, González R. Evaluation of antimicrobial activity of different extracts of *Rhizophora mangle* L using five methods. Rev Salud Anim. 2001;23:1-11.
6. Agüero F. Evaluación de un producto natural, a base de *Rhizophora mangle* L. en la terapia de la endometritis bovina. [Tesis doctoral] La Habana: Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, Universidad Agraria de La Habana; 2004.
7. Sánchez LM, Varcacel L, Escobar A, Noa M. Polyphenol and phytosterols Composition in an antibacterial extract from *Rhizophora mangle* L. 's bark. J. Herbal

Pharmacoth 2006;6(5). Disponible en:

<http://scielo.sld.cu/scieloOrg/php/reflinks.php?refpid=S102-4796200900010000700009&lng=pt&pid=S1028-47962009000100007>

8. Sánchez J. Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de *Rhizophora mangle* L. y de su fracción polifenólica mayoritaria evaluadas en sistemas *in vitro* e *in vivo*. [Tesis doctoral] La Habana: Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, Universidad Agraria de La Habana; 2008.

9. Sánchez LM. Composición química y actividad biológica de un extracto acuoso de cortezas de *Rhizophora mangle* L. [Tesis doctoral] La Habana: Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria, Universidad Agraria de La Habana; 1998.

10. Backhurst JR, Harker JH, Porter JE. Problems in heat and mass transfer. London: Edward Arnold; 1974.

11. Escobar RG. Enfoque cinético de la extracción sólido-líquido. [Tesis doctoral] Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile; 1984.

12. Curbelo C. Producción de un aromatizante natural a partir de residuos de la industria tabacalera. [Tesis doctoral] La Habana: Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría"; 2002.

13. Wallas SM. Cinética de las reacciones químicas. La Habana: Editorial Pueblo y Educación; 1979.

14. Habashi F. Principles of Extractive Metallurgy, Volumen 1. General Principles. New York-London-Paris: Gordon & Breach Science; 1980.

Recibido: 25 de octubre de 2011.

Aprobado: 25 de noviembre de 2011.

*Yanet Rodríguez Perdomo*. Dirección de Producciones Biofarmacéuticas. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Carretera de Jamaica y Autopista Nacional. San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. Correo electrónico: [yanet@censa.edu.cu](mailto:yanet@censa.edu.cu)