

Ultrasound-assisted oil extraction from *Ricinus communis* L. seed

Extracción de aceite de la semilla de *Ricinus communis* L. asistida por ultrasonido

Salinas-de León, F.¹, Castillo-Quiroz, D.², Castillo-Reyes, F.², Morales-Martínez, T.K.¹, Rodríguez-De la Garza, J. A.¹, Ríos-González, L.J.^{1*}

¹ Departamento de Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, V. Carranza s/n, Republica Oriente C.P. 25280, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

² Campo Experimental Saltillo. INFAP. Carretera Saltillo-Zacatecas km 8.5 No. 9515 Col. Hacienda de Buenavista Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México

Cite this paper/Como citar este artículo: Salinas-de León, F., Castillo-Quiroz, D., Castillo-Reyes, F., Morales-Martínez, T.K., Rodríguez-De la Garza, J. A., Ríos-González, L.J. (2019). Ultrasound-assisted oil extraction from *Ricinus communis* L. seed. *Revista Bio Ciencias* 6, e433. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.06.e433>



ABSTRACT

The aimed of this work was to determine the optimal conditions for oil extraction of *Ricinus communis* L. seed by means of ultrasound. The effect of 3 factors over oil yield extraction were evaluated: 1) seed pretreatment 2) ultrasound time and 3) solvent mixture ratio compared to conventional Soxhlet extraction. The optimal conditions for oil extraction were obtained with a pretreatment that consisted in washing and drying of the seed, with a 2.5 h exposure to ultrasound in a mixture of hexane/isopropanol solvents (1:1 v/v). The extraction yield was 73.5% with an extraction rate of 1.8 g.h⁻¹.

KEY WORDS

Ricinus communis; seed; Oil; ultrasound.

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: January 17th 2017

.Accepted/Aceptado: April 18th 2018

Available on line/Publicado: March 26st 2019.

*Corresponding Author:

Ríos-González, L.J.: Departamento de Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, V. Carranza s/n, Republica Oriente C.P. 25280, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. E-mail: leopoldo.rios@uadec.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones óptimas de la extracción asistida con ultrasonido del aceite de semilla de *Ricinus communis* L. Se evaluó el efecto de 3 factores sobre el rendimiento de aceite extraído, los tratamientos fueron 1) pretratamiento de la semilla, 2) tiempo de incidencia del ultrasonido y 3) tipo de solvente utilizado. Los resultados fueron comparados con la extracción convencional Soxhlet para evaluar el efecto del ultrasonido. Las condiciones óptimas para la extracción de aceite consistieron en realizar un pretratamiento de lavado y secado de la semilla, asistiendo la extracción con ultrasonido en una mezcla de solventes hexano/isopropanol (1:1, v/v), durante 2.5 h. Bajo condiciones óptimas se alcanzó un máximo un rendimiento de extracción del 73.5 % y una velocidad de extracción de 1.8 g.h⁻¹.

PALABRAS CLAVE

Ricinus communis; semilla; aceite; ultrasonido.

Introduction

The castor bean (*Ricinus communis* L.), is a plant that belongs to the family Euphorbiaceae (Baudh *et al.*, 2015). This plant can adapt to a wide variety of climatic conditions. The seeds of castor bean are considered toxic to animals and humans due to the presence of the ricin toxin (Vinayaka *et al.*, 2017).

Recently castor bean crop has been considered as a potential energy crop due to its high non-edible oil content (40 %) (Melo *et al.*, 2008). The oil obtained from the seed of *R. communis*, is mainly composed of triglyceride and is one of the few naturally pure glycerides due to the fatty acid portion contains almost 900 g kg⁻¹ of ricinoleic acid. The oil is rich in a single hydroxyl fatty acid, ricinoleic acid C₁₈H₃₄O₃ structurally known as cis-12-hydroxyoctadeca-9-enoic acid, hydroxylated fatty acid of 18 carbons having a double bond. The presence of ricinoleic acid gives castor oil its unique properties and unusual versatility. Castor oil differs from other oils because of its high acetyl or hydroxyl value, with an iodine value, viscosity and specific gravity comparable to other oils (Bhuiya *et al.*, 2016).

Recently, ultrasound technology has emerged as a novel tool in food engineering processes (Bhaskaracharya *et al.*, 2009) being this field of research where it has been most studied. High frequency and low frequency ultrasound has been applied successfully to improve the process and/or products (Carcel *et al.*, 2007), maceration (Carcel *et al.*, 2007), microbial and enzymatic inactivation (Vercet *et al.*, 2001), extraction of natural products (Vilkhu *et al.*, 2008), food cutting operations (Arnold *et al.*, 2009), sugar substitution processes (García-Noguera *et al.*, 2010), fermentation (Riener *et al.*, 2010) and among others. The application of ultrasound has been widely studied to extract oil compounds from plant materials (Willems *et al.*, 2008), including almond powder (Riera *et al.*, 2004), and seeds of *Copaifera langsdorfii* (Stupp *et al.*, 2008), *Maclura pomifera* and pomegranate seed oil (Goula, 2012). However, this process is complex and its effectiveness depends on many factors, for example, temperature, time, frequency, type of solvent and the solid/liquid ratio. Most studies has focused on the effects of parameters on extraction rate and yield (Vilkhu *et al.*, 2008). The success of ultrasound extraction has been attributed to the propagation of ultrasonic pressure waves and

Introducción

La higuera (*Ricinus communis* L.), es una planta que pertenece a la familia Euphorbiaceae (Baudh *et al.*, 2015). Esta planta puede adaptarse a una gran variedad de condiciones climáticas. Las semillas de la higuera se consideran tóxicas para los animales y humanos debido a la presencia de la toxina ricina (Vinayaka *et al.*, 2017).

Actualmente en el país, la higuera ha sido calificada como un cultivo importante, dado que su semilla contiene un 40 % de aceite no comestible, considerado como una materia prima vital para la industria (Melo *et al.*, 2008). El aceite obtenido de la semilla de *R. communis*, es un triglicérido de un ácido graso, y es uno de los pocos glicéridos naturales de alta pureza ya que la porción de ácido graso contiene casi 900 g kg⁻¹ de ácido ricinoléico. El aceite es rico en un ácido graso de hidroxilo único, ácido ricinoléico (C₁₈H₃₄O₃) estructuralmente conocido como ácido cis-12-hidroxiocetadeca-9-enoico, ácido graso hidroxilado de 18 carbonos que tiene un doble enlace. La presencia de ácido ricinoléico proporciona al aceite de ricino sus propiedades únicas y versatilidad inusual. El aceite de ricino se diferencia de otros aceites por su alto valor de acetilo o hidroxilo, con un índice de yodo, viscosidad y gravedad específica comparable a otros aceites (Bhuiya *et al.*, 2016).

Recientemente, la tecnología de ultrasonido ha surgido como una herramienta novedosa en los procesos de ingeniería de alimentos (Bhaskaracharya *et al.*, 2009) siendo este campo de investigación donde más se ha estudiado. El ultrasonido de alta frecuencia y baja frecuencia, se ha aplicado con éxito para mejorar el proceso y/o los productos (Carcel *et al.*, 2007), maceración (Carcel *et al.*, 2007), inactivación microbiana y enzimática (Vercet *et al.*, 2001), extracción de productos naturales (Vilkhu *et al.*, 2008), operaciones de corte de alimentos (Arnold *et al.*, 2009), procesos de sustitución de azúcar (García-Noguera *et al.*, 2010), procesos de fermentación (Riener *et al.*, 2010), entre otros. La aplicación de ultrasonido ha sido ampliamente estudiada para extraer compuestos de aceite de materiales vegetales (Willems *et al.*, 2008), incluidos los de almendra en polvo (Riera *et al.*, 2004), y las semillas de *Copaifera langsdorfii* (Stupp *et al.*, 2008), *Maclura pomifera* y aceite de semilla de granada (Goula, 2012). Sin embargo, este proceso es complejo y su eficacia depende de muchos factores, por ejemplo, temperatura, tiempo, frecuencia de ultrasonido, tipo de disolvente y la relación sólida/líquido. La mayoría de las investigaciones se han centrado en los efectos de los parámetros en la velocidad de extracción y en los rendimientos (Vilkhu *et al.*, 2008). La potenciación de la extracción por

resultant cavitation forces, where the bubbles can explosively collapse and generate localized pressure that causes the breakdown of plant tissue and improves the release of intracellular substances in the solvent (Knorr *et al.*, 2002). According to Vilku *et al.* (2008), the implosion of the cavitation bubbles generates macro-turbulence, collisions between high velocity particles and perturbation in microporous particles of the biomass, which accelerates the diffusion of the eddies and the internal diffusion. Therefore, the objective of this work was to determine the best conditions of ultrasound-assisted extraction of oil from *Ricinus communis* L. seed.

Material and methods

Ricinus communis L. seed

The *R. communis* seeds were provided by the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, where the husk was removed manually of these.

Definition of evaluation parameters

The Soxhlet system by best oil extraction conditions was used, as a conventional reference process in which 3 parameters were evaluated (Pretreatment of the seed, Extraction time, the type of solvent used). In table 1 is shown the variable used in each parameter.

ultrasonido se ha atribuido a la propagación de ondas de presión ultrasónicas y fuerzas de cavitación resultantes, donde las burbujas pueden colapsar explosivamente y generar presión localizada que provoca la rotura del tejido vegetal y mejora la liberación de sustancias intracelulares en el disolvente (Knorr *et al.*, 2002). De acuerdo con Vilku *et al.* (2008), la implosión de las burbujas de cavitación genera macro-turbulencia, colisiones entre partículas de alta velocidad y perturbación en partículas microporosas de la biomasa, lo que acelera la difusión de los remolinos y la difusión interna. Por lo tanto, el objetivo este trabajo fue determinar las mejores condiciones de la extracción asistida con ultrasonido de aceite de semilla de *Ricinus communis* L.

Materiales y Métodos

Acondicionamiento de la semilla

Las semillas de *R. communis* fueron proporcionadas por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a las cuales se les retiró la cáscara de forma manual.

Definición de los parámetros de evaluación

Para la determinación de las mejores condiciones de extracción del aceite se utilizó un sistema Soxhlet como proceso convencional de referencia en donde se evaluaron 3 parámetros (Pretratamiento de la semilla, Tiempo de extracción, El tipo de solvente utilizado). En la tabla 1 se muestra las variables utilizadas para cada parámetro

Table 1.
Variables used for each parameter

Tabla 1.
Variables utilizadas en cada parámetro a estudiar

Parámetro			
Pretratamiento de la semilla	Sin pretratamiento	Lavado con agua y secado a 50 °C por 24 h en una estufa Thermo Scientific™ HERAtherm™	Lavado con agua y secado a 50 °C por 24 h en una estufa Thermo Scientific™ HERAtherm™ posteriormente las semillas fueron cortadas con un cortador casero dejando tamaños de partícula de aproximadamente 1-2 mm
Tiempo de extracción	2, 4, 6, 8 y 10 h		
Tipo de solvente utilizado	Hexano	Isopropanol	Mezcla hexano:Isopropanol 1:1

Soxhlet extraction process

The extractions were carried out in round bottom flasks of 125 mL coupled to the Soxhlet extraction system in a water bath (IKA® HB10) with temperature control. At each type extraction, 5 g of sample and 50 mL of solvent (ratio 1:10 m/v) were added to each flask and maintained at a range temperature of 63-65 °C for 4 h.

Ultrasound-assisted extraction process

The assisted ultrasound oil extraction was carried out using a ultrasonic bath (Zenitron Model TS-200) coupled with a Soxhlet extraction system (as mentioned in section above). The optimum pretreatment and solvent ratio obtained in the previous stage were applied on this stage, varying only the extraction time: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 h. In all cases, at the end of each experiment the mixture was filtered, and oil was recovered in a rotary evaporator (Yamato WATER BATH BM 400 brand) heating above the boiling point of the solvent used. The extraction yields were determined by weight difference.

Analysis of results

All data obtained in the experiment was adjusted to the mathematical model. The results obtained allowed to compared the conventional and ultrasound-assisted extractions for each solvents and times.

Where:

Y = oil yield

Y_{inf} = oil yield at infinite time (maximum yield)

k = oil extraction speed

y = extraction time.

All experiments were carried out by triplicate and the average values were reported. A variance analysis (ANOVA) was performed and Fisher F test ($p < 0.05$) was used a Minitab® software version 17 (Minitab Inc., State College, PA, USA).

Proceso de extracción Soxhlet

Las extracciones se llevaron a cabo en matraces redondos de fondo plano de 125 mL acoplados al sistema de extracción Soxhlet y un baño de agua con control de temperatura IKA® HB10. En cada extracción, 5 g de muestra y 50 mL de solvente (relación 1:10 m/v) fueron agregados a cada matraz, mantenidos a una temperatura en el rango de 63-65° C durante 4 h.

Proceso de extracción asistido por ultrasonido.

Para el estudio llevado a cabo con ultrasonido se utilizó un baño ultrasónico marca Zenitron Modelo TS-200, con una energía ultrasónica de 40 kHz con controles de temperatura y de tiempo, acoplando el sistema de extracción Soxhlet (de la misma forma que los experimentos anteriores). Se utilizó el pretratamiento de las semillas y el tipo de solvente que resultaron mejores de los experimentos anteriores, variando solamente el tiempo de extracción: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 h. En todos los casos, una vez transcurrido el tiempo de extracción, se filtró la mezcla, y se recuperó el aceite del filtrado en un rotavapor (marca Yamato WATER BATH BM 400) calentando por encima del punto de ebullición del solvente utilizado. Los rendimientos de extracción fueron determinados por diferencia de pesos.

Análisis de resultados

Para el análisis de los datos se realizó un ajuste del modelo matemático para analizar las cinéticas y hacer una comparación entre las extracciones convencionales y las asistidas por ultrasonido con cada uno de los solventes a diferentes tiempos.

Donde:

Y = es el rendimiento de aceite

Y_{inf} = es el rendimiento de aceite a tiempo infinito (máximo rendimiento)

k = velocidad de extracción de aceite

y = tiempo de extracción.

Todos los análisis fueron llevados a cabo por triplicado y los valores promedio son los reportados. Un análisis de varianza (ANOVA) fue realizado con una prueba de Fisher F ($p < 0.05$) utilizando el software Minitab® versión 17 (Minitab Inc., State College, PA, USA).

Results and Discussion

Figure 1 shows the results obtained during the evaluation stage, the maximum yield (1.54 g of oil/5 g of seed) was obtained in the pretreatment T2, followed by T1 with 1.42 g of oil/5 g of seed and T3 with obtained the lowest yield with 1.27 g of oil/5 g of seed. This behavior is attributed to the fact that in T2 the seeds were free of moisture compared to the T1 control, this may indicate that the presence of moisture in the seed matrix causes the oil extraction yield to decrease. The low efficiency of pretreatment T3 is attributed to the loss of oil during cutting of the seed. Perea-Flores *et al.* (2011) mentioned that in the microstructure of the seed body of *Ricinus communis* L. it is highly porous, which favors the extraction of the oil (Perea-Flores *et al.*, 2011) during the pressing or cutting of the seed, which it was evidenced with the low yield of oil extraction.

Resultados y Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos durante la etapa de evaluación de los diferentes pretratamientos se puede observar en la Figura 1 que el máximo rendimiento (1.54 g de aceite/5 g de semilla) fue obtenido en el pretratamiento T2, ligeramente superior al T1 con 1.42 g de aceite/5 g de semilla, y superior al pretratamiento T3 con 1.27 g de aceite/5 g de semilla. Este comportamiento es atribuido a que en T2 las semillas se encontraban libres de humedad en comparación con el control T1, lo que puede indicar que la presencia de humedad en la matriz de la semilla hace que el rendimiento de extracción disminuya ligeramente. La baja eficiencia del pretratamiento T3 es atribuido a la pérdida de aceite durante el corte de la semilla. Perea-Flores *et al.* (2011) describe que en la microestructura del cuerpo de la semilla de *Ricinus communis* L. es altamente porosa, lo cual favorece la extracción del aceite (Perea-Flores *et al.*, 2011) durante el prensado o corte de la semilla, la cual fue evidenciada con el bajo rendimiento de extracción de aceite.

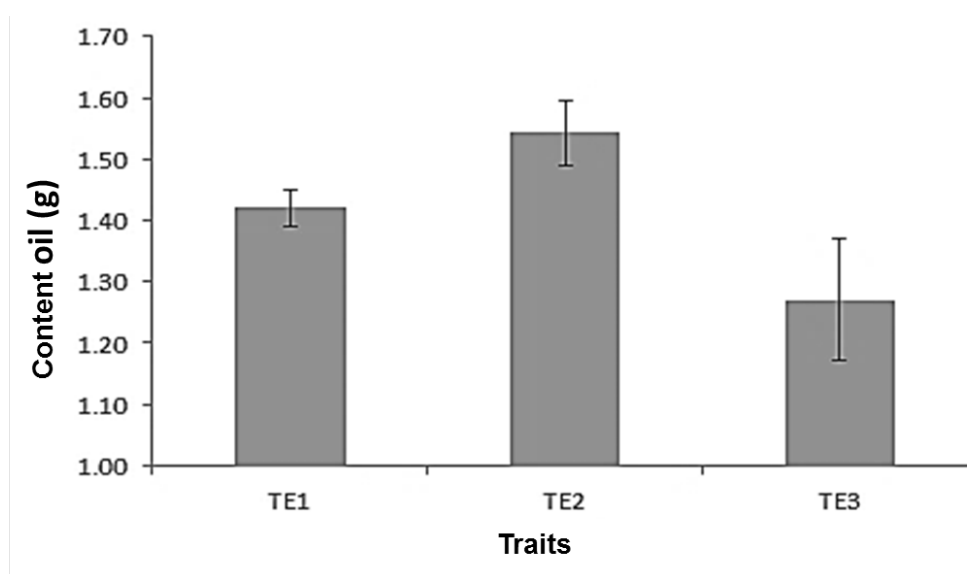


Figure 1. Influence of the pretreatment of the castor bean seed (*Ricinus communis* L.) for the extraction of its oil, T1: seed without pretreatment; T2: seed washed and dried at 50 ° C for 24 h; T3: seed washed, dried and cut.

Figura 1. Influencia del pretratamiento de la semilla de higuera (*Ricinus communis* L.) para la extracción de su aceite, T1: semilla sin pretratamiento; T2: semilla lavada y secada a 50° C por 24 h; T3: semilla lavada, secada y cortada.

An adjustment of the mathematical model was made to analyze the kinetics and make a comparison between conventional and ultrasound-assisted extractions with each of the solvents at different times.

Where:

Y = oil yield

Y_{inf} = oil yield at infinite time
(maximum yield)

k = oil extraction speed

y = extraction time.

According to the results with the adjustment to the model (Figure 2) is shown the comparison of the yields obtained during the processes of extraction of oil assisted by ultrasound and by the conventional method, where the best solvent for oil extractions by the conventional method with Soxhlet was the mixture (hexane/isopropanol, ratio 1: 1) obtaining a maximum yield at infinite time of 1.5 g of oil in 5 g of seed, while the extraction with hexane and isopropanol obtained a maximum yield was 1.3 g of oil in 5 g of seed.

Se realizó un ajuste del modelo matemático para analizar las cinéticas y hacer una comparación entre las extracciones convencionales y las asistidas por ultrasonido con cada uno de los solventes a diferentes tiempos.

Donde:

Y es el rendimiento de aceite

Y_{inf} es el rendimiento de aceite a tiempo infinito
(máximo rendimiento)

k = velocidad de extracción de aceite

y = tiempo de extracción.

De acuerdo con los resultados con el ajuste al modelo (Figura 2) se muestra la comparación de los rendimientos obtenidos durante los procesos de extracción de aceite asistido por ultrasonido y el método convencional, donde el mejor solvente para las extracciones por el método convencional con Soxhlet fue la mezcla (hexano/isopropanol, relación 1:1) obteniendo un rendimiento máximo a tiempo infinito de 1.5 g de aceite de aceite/5 g de semilla, mientras que la extracción con hexano e isopropanol obtuvieron un rendimiento máximo fue de 1.3 g de aceite/5 g de semilla.

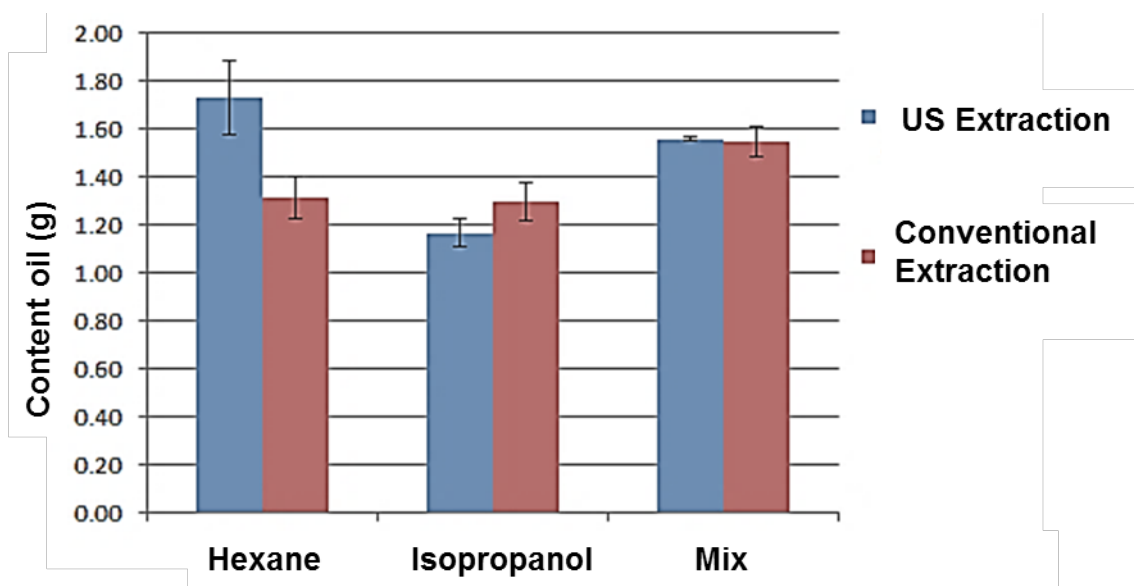


Figure 2. Comparison of maximum yields Y_{inf} infinite time of conventional extraction and ultrasound-assisted (US).

Figura 2. Comparación de los rendimientos máximos Y_{inf} a tiempo infinito de la extracción convencional y la asistida con ultrasonido (US).

On the other hand, the obtained results from the adjustment by ultrasound-assisted extractions are showed in Figure 2, where best yields value are obtained using hexane (1.7 g 73.5%) and the solvent mixture (1.5 g) as solvent, 73.5%), these results are higher than those reported by Perdomo *et al.* (2013) with an maximum efficiency of 56% using the conventional extraction method with Soxhlet for oil extraction from *R. communis* seed. In Figure 3 the initial rates of both processes are compared, and the solvent that showed a higher initial extraction rate was hexane reaching 0.58 g.h⁻¹, followed by isopropanol with an initial rate of 0.5 g.h⁻¹ and the mixture showed a lower rate with a 0.49 g.h⁻¹, which indicates that the initial extraction rates are not affected by the type of solvent when a conventional extraction is performed, on the other hand higher extraction rates were obtained when the process was assisted by ultrasound, with a rate of 3.7 g.h⁻¹ with isopropanol, a rate of 1.8 g.h⁻¹ when using the mixture and a rate of 0.79 g.h⁻¹ with hexane.

Por otra parte, los resultados que se obtuvieron del ajuste para las extracciones asistidas por ultrasonido se muestran en la Figura 2, los mejores rendimientos se obtienen usando como solvente el hexano (1.7 g, 74 %) y la mezcla de solventes (1.5 g, 73.5 %) lo cual resulta favorable comparado con lo reportado por Perdomo *et al.* (2013), en la cual reportaron una máxima de eficiencia de 56 % utilizando el método convencional de extracción con Soxhlet de aceite de semillas de *R. communis*. En la Figura 3 se comparan las velocidades iniciales de ambos procesos, el solvente que mostró una mayor velocidad inicial de extracción fue el hexano alcanzando 0.58 g.h⁻¹, seguido del isopropanol con una velocidad inicial de 0.5 g.h⁻¹ y la mezcla mostrando una velocidad ligeramente menor a 0.49 g.h⁻¹, lo que indica que las velocidades iniciales de extracción no son afectadas por el tipo de solvente cuando se realiza una extracción de tipo convencional, por otro lado, las mayores velocidades de extracción cuando el proceso fue asistido por ultrasonido resultaron ser el tratamiento con isopropanol con una velocidad de 3.7 g.h⁻¹ contra 1.8 g.h⁻¹ de la mezcla y 0.79 g.h⁻¹ del hexano.

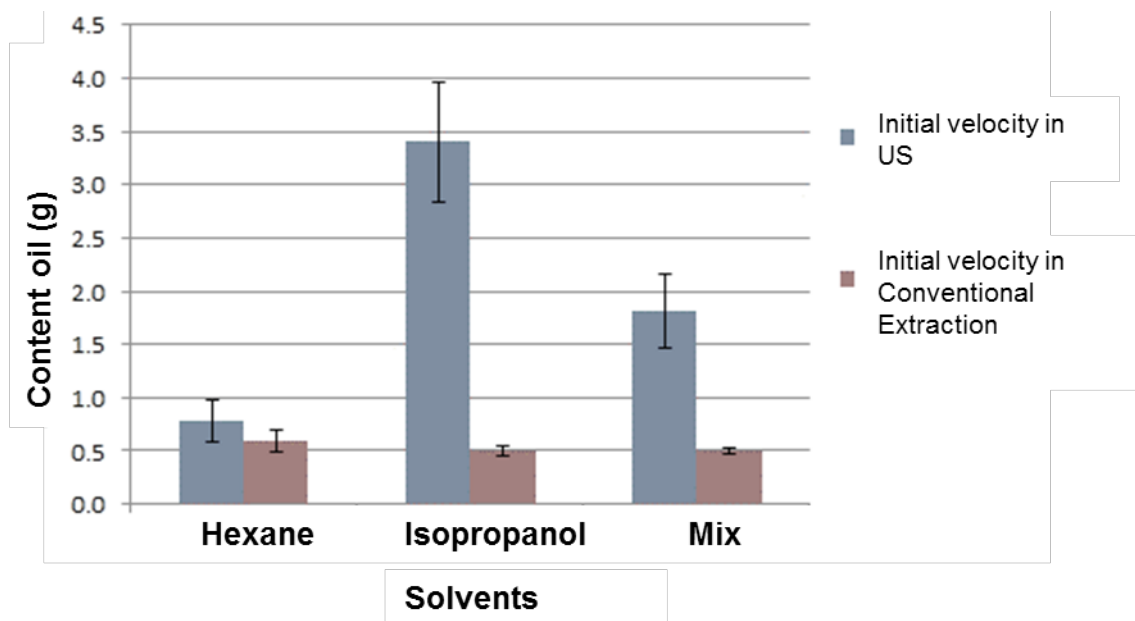


Figure 3. Comparison of initial speeds k in conventional extraction and ultrasound-assisted extraction (US).

Figura 3. Comparación de las velocidades iniciales k en la extracción convencional y la extracción asistida por ultrasonido (US).

The comparison and analysis of the results obtained from the extraction with hexane and the mixture (Figure 3) for the extraction rates with ultrasound inferred that the best treatment is the mixture of solvents in both cases since the oil yield between these two is not significant, but when comparing the rate bars in Figure 3 a positive effect is observed when the mixture of solvents is used, since it exceeds twice the rate obtained with hexane. The results obtained indicate that when extraction with ultrasound is carried out, the solvent directly influences the initial extraction rate, with a 3 fold as in the case of the mixture compared with the assistance of the ultrasound in contrast when only Soxhlet system was used, where the type of solvent did not influence the initial rate. The difference in speed shown during the treatment with ultrasound can be due to the molecular structure and chemical properties of the solvents (Akowuah *et al.*, 2005), since hexane is a molecule of larger size than isopropanol, which takes longer time to penetrate the matrix of the seed and the speed of extraction is slower while isopropanol penetrates more quickly in the matrix by its structure and a faster extraction is made. In the extractions with the conventional method cannot appreciate the difference in speeds because the cavitation that occurs when using ultrasound is not generated, which favors the solvent of smaller structural size and the yields respond to the polarities of the solvents since while hexane is a non-polar compound and isopropanol is a polar compound, extractions are favored when the mixture is used since the triglycerides present in the oil have a polar fraction for the carbonyl group and a fraction non-polar represented by the hydrocarbon chain that makes it up; and both parts dissolve when the mixture of solvents is used, favoring the extraction and obtaining a higher yield.

Conclusions

The results obtained showed that the ultrasound had a positive effect in the oil extraction process of *Ricinus communis* L. and that the treatment with the solvent mixture (isopropanol/hexane 1: 1, v/v) resulted to be the best option in both methods, obtaining an extraction yield of 73.5% and a rate of $1.8 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ with ultrasound, which the rate is almost 4 times higher compared to the conventional method that obtained a rate of $0.49 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ with a yield of 70%, so that the process assisted by ultrasound showed a better results in the extraction process in a lesser time.

Al comparar y hacer un análisis de los resultados obtenidos de la extracción con hexano y la mezcla (Figura 3) para las velocidades de extracción con ultrasonido se puede inferir que el mejor tratamiento se tiene utilizando la mezcla de solventes en ambos casos ya que el rendimiento entre estos dos no es significativo, pero al momento de comparar las barras de la velocidad en la Figura 3 se observa un efecto positivo al utilizar la mezcla de solventes ya que excede hasta el doble la velocidad mostrada por el hexano. De lo cual se puede deducir que cuando se realiza una extracción con ultrasonido, el solvente influye directamente sobre la velocidad inicial de extracción siendo mayor hasta 3 veces como en el caso de la mezcla comparada con la asistencia del ultrasonido (extracción sólo en Soxhlet), en donde el tipo de solvente no influyó en la velocidad inicial. La diferencia de velocidad mostradas durante el tratamiento con ultrasonido se debe a la estructura molecular y propiedades químicas de los solventes (Akowuah *et al.*, 2005), ya que el hexano es una molécula de mayor tamaño que el isopropanol por lo cual tarda más en penetrar la matriz de la semilla y la velocidad de extracción es más lenta mientras que el isopropanol penetra de forma más rápida la matriz por su estructura y se realiza una extracción más rápida. En las extracciones con el método convencional no se puede apreciar la diferencia de las velocidades debido a que no se genera la cavitación que se produce cuando se utiliza el ultrasonido, lo cual favorece al solvente de menor tamaño estructural y los rendimientos obtenidos responden a las polaridades de los solventes ya que mientras el hexano es un compuesto no polar y el isopropanol es un compuesto polar, las extracciones se ven favorecidas cuando se utiliza la mezcla ya que los triglicéridos presentes en el aceite una fracción polar por el grupo carbonilo y una fracción no polar representada por la cadena de hidrocarburo que lo conforma; y ambas partes se disuelven cuando se utiliza la mezcla de solventes favoreciendo la extracción y obteniendo un mayor rendimiento.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el ultrasonido mostró tener un efecto positivo en el proceso de extracción de aceite de *Ricinus communis* L. y que el tratamiento con la mezcla de solventes (isopropanol/hexano 1:1, v/v) resultó ser el mejor en este proceso en ambos métodos, obteniendo un rendimiento del 73.5 % de extracción y una velocidad de $1.8 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ con ultrasonido, que excede casi en 4 veces a la velocidad mostrada en el método convencional que fue de $0.49 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ con un rendimiento del 70 %, de modo que el proceso asistido por ultrasonido mostró tener un mejor rendimiento en eficiencia de extracción en menor tiempo.

References

- Akokuwah, G.A., Ismail, Z., Norhayati, I. and Sadikun, A. (2005). The effects of different extraction solvents of varying polarities of polyphenols of *Orthosiphon stamineus* and evaluation of the free radical-scavenging activity. *Food Chemistry*, 93(2): 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.028>
- Arnold, G., Leiteritz, L., Zahn, S., and Rohm, H. (2009). Ultrasonic cutting of cheese: composition affects cutting work reduction and energy demand. *International Dairy Journal*, 19(5): 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.11.007>
- Baudhdh, K., Singh, K., Singh, B. and Singh, R.P. (2015). *Ricinus communis*: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated soil. *Ecological Engineering*, 84: 640–652. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.038>
- Bhuiya, M.M.K., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., Ashwath, N. and Azad, A.K. (2016). Prospects of 2nd generation biodiesel as sustainable fuel—Part: 1 selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable Sustainable Energy Reviews* 55: 1109–1128. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.163>
- Bhaskaracharya, R.K., Kentish, S., and Ashokkumar, M. (2009). Selected applications of ultrasonics in food processing. *Food Engineering Reviews*, 1: 31–49. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9003-7>
- Carcel, J.A., Benedito, J., Bon, J., and Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects on meat brining. *Meat Science*, 76: 611–619. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.01.022>
- Carcel, J.A., Benedito, J., Rossello, C., and Mulet, A. (2007). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, 78: 472–479. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.018>
- García-Noguera, J., Weller, C.L., Oliveira, F.I.P., Rodrigues, S., and Fernandes, F.A.N. (2010). Dual-stage sugar substitution in strawberries with a Stevia-based sweetener. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11:225–230. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.07.001>
- Goula, A.M. (2012). Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed Oil-Kinetic modeling. *Journal of Food Engineering*, 117(4): 492-498. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.009>
- Knorr, D., Ade-Omowaye, B.I.O., and Heinz, V. (2002). Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the Nutrition Society*, 61 (2): 311-318. <https://doi.org/10.1079/PNS2002162>
- Melo, W.C., dos Santos, A.S., Santa-Anna, L.M.M., and Pereira N. (2008). Acid and enzymatic hydrolysis of the residue from Castor Bean (*Ricinus communis* L.) Oil extraction for ethanol production: Detoxification and biodiesel process integration. *Revista de la sociedad química brasileña*, 19(3): 418-425. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532008000300008>
- Perea-Flores, M.J. (2011). Efecto del secado por lecho fluidizado en la estructura de semillas de *Ricinus communis* y en la extracción de su aceite como fuente alternativa de biocombustibles. Tesis Doctoral. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. 180 p.
- Perdomo, F.A., Acosta, O. A. A., Herrera, G., Vasco, L. J. F., Mosquera, A. J. D., Millán, M. B. and Rodríguez, G. M. E. (2013). Physicochemical characterization of seven mexican *Ricinus communis* L. seeds & oil contents. *Biomass Bioenergy*, 48: 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.10.020>
- Riera, E., Golás, Y., Blanco, A., Gallego, A., Blasco, M., and Mulet, A. (2004). Mass transfer enhancement in supercritical fluids extraction by means of power ultrasound. *Ultrasonics. Sonochemistry*, 11(1-4): 241–244. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2004.01.019>
- Riener, J., Noci, G., Cronin, D.A., Morgan, D.J., and Lyng, J.G. (2010). A comparison of selected quality characteristics of yoghurts prepared from thermosonicated and conventionally heated milks. *Food Chemistry*, 119(3): 1108–1113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.025>
- Stupp, T., de Freitas, R.A., Sierakowski, M.R., Deschamps, F.C., Wisniewski Jr., A., and Biavatti, M.W. (2008). Characterization and potential uses of *Copaifera langsdorffii* seeds and seed oil. *Bioresour. Technol.*, 99(7): 2659–2663. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.04.051>
- Vercet, A., Burgos, J., Crelier, S., and Lopez-Buesa, P. (2001). Inactivation of proteases and lipases by ultrasound. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(2): 139–150. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00037-0)

- Vinayaka, D.L., Vijaykumar, G., Madhavi, D., Arpitha M. and Narendra R. (2017). *Ricinus communis* plant residues as a source for natural cellulose fibers potentially exploitable in polymer composites. *Industrial Crops Products*, 100: 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.019>
- Vilkhu, K., Mawson, R., Simons, L., and Bates, D. (2008). Applications and opportunities for ultrasound assisted extraction in the food industry: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(2): 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.014>
- Willems, P., Kuipers, N.J.M., and Haanb, A.B. (2008). Gas assisted mechanical expression of oilseeds: influence of process parameters on oil yield. The *Journal of Supercritical Fluids*, 45(3): 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.01.010>