

*Higiene y Sanidad Ambiental*, **15** (4): 1363-1366 (2015)

## Determinación de las emisiones de una planta de extracción supercrítica de aceites de la moringa aplicando criterios de “producciones más limpias”

### *DETERMINATION OF EMISSIONS FROM A PLANT OIL SUPERCRITICAL EXTRACTION OF MORINGA APPLYING CRITERIA OF "CLEANER PRODUCTION"*

Isnel BENÍTEZ CORTÉS, Amaury PÉREZ MARTÍNEZ, Yarely FERNÁNDEZ BEBERT, Yisandra PÉREZ TELLES

Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Carretera Circunvalación Norte km 5½, Camagüey, Cuba. Tel: (0053) (32) 261192. Correo-e: isnel.benites@reduc.edu.cu

#### RESUMEN

Este trabajo se realiza con el objetivo de determinar las emisiones al medio ambiente de residuales sólidos, líquidos y gaseosos, así como los consumos de materias primas y materiales, de una tecnología a escala piloto para la obtención de aceites esenciales de la *Moringa oleifera Lam* con dióxido de carbono en estado supercrítico, a partir de la aplicación del método genérico de EP+L (producciones más limpias). Se toma como base de cálculo una producción diaria de 50 kg de materias primas, se realizan los balances de masa y energía de todas las etapas involucradas en el proceso y se conforman los mapas de consumos y desperdicios, para identificar las que más afectan al medioambiente y cuáles son sus lugares de origen. Los resultados muestran que las emisiones de dióxido de carbono son las más importantes tanto en volumen como en nivel de afectación. Se generan residuales sólidos consistentes en las semillas después del proceso de extracción.

**Palabras clave:** Producciones más limpias, *Moringa oleifera Lam*, fluido supercrítico, dióxido de carbono.

#### ABSTRACT

This work is made in order to determine the emissions to the environment of solid waste, liquid and gaseous fuels and consumption of raw materials and materials, all at pilot scale technology for obtaining essential oils of *Moringa Oleifera Lam* Carbon dioxide in a supercritical state, from the application of Generic Method EP + L (cleaner production). It starts with a daily production of 50 kg of raw materials, mass balances and energy of all the stages involved in the process are made and maps of consumption and waste are formed, to identify those that most affect the environment and what their hometowns. The results show that carbon dioxide emissions are the most important both in volume and level of involvement. Consistent solid waste generated in the seed after the extraction process.

**Keywords:** Cleaner production, *Moringa oleifera Lam*, supercritical fluid, carbon dioxide.

#### INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales son los compuestos naturales, aromáticos y volátiles extraídos de las flores, semillas, hojas, tallos y raíces de plantas, obtenidos normalmente a través de destilación de vapor, un proceso de hidrodestilación o por un proceso mecánico conveniente sin calentamiento

(Rubiolo *et al*, 2010) así como mediante la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico (Ordoñez *et al*, 2006). En el caso de la *Moringa Oleifera Lam*, sus aceites son ricos en vitaminas y minerales esenciales para la vida y un alto contenido de proteínas crudas, entre 19.3% y 26.4% (Adejumo *et al*, 2013). Son muy utilizados en la producción de biodiesel (Abdulkareem *et al*, 2011). En la medicina por su alto contenido de aceite

con una alta concentración del ácido oleico (70.52%), seguido por el gadoleico (1.5%) y la presencia de ácidos saturados como el palmítico (8.9%) y esteárico (3,82%) (Tsaknis, 1998). Su actividad antihelmíntica ha sido demostrada ante gusanos de la India (Nilani *et al*, 2012) así como su uso para el tratamiento antiinflamatorio (Vibhute *et al*, 2015). Debido a la importancia de este aceite, se evalúan en este trabajo las posibles emisiones de contaminantes al medio ambiente de una planta para la extracción del aceites de la *Moringa Oleifera Lam*, mediante la obtención de los mapas de consumo y desechos aplicando el método genérico de EP+L.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se parte de una capacidad para procesar 50 kg diarios de vainas de *Moringa oleifera Lam*, y se clasifican para separar las impurezas y las vainas en mal estado. Se separa la semilla de las vainas y luego se realiza una molienda para separar la cáscara de la almendra, las cuales son lavadas y expuestas al sol durante un período de cuatro días. Se llevan a una estufa sometida a 105 °C por cuatro horas, logrando reducir el contenido de humedad. Luego, la almendra es sometida a un proceso de molienda de donde sale preparada para el proceso de extracción con dióxido de carbono en estado supercrítico. La figura 1 muestra el diagrama de bloques del proceso de extracción.

El dióxido de carbono presurizado, es transportado a la autoclave donde ocurre el proceso de calentamiento para producir un aumento de presión del mismo. Alcanzadas las condiciones deseadas de temperatura y presión, el dióxido de carbono en condiciones supercríticas, pasa al extractor donde se pone en contacto con la muestra deseada durante un tiempo de residencia fijo. Posteriormente, la mezcla se transporta a un recipiente separador donde ocurre una vaporización instantánea de la mezcla binaria, disminuyendo la solubilidad de los aceites esenciales en el dióxido de carbono, dando como resultado dos productos: por el tope el dióxido de carbono el cual debe ser recuperado y por el fondo el extracto, que es recolectado en un recipiente. Luego se filtra para eliminar las impurezas.

El extracto colectado en el recipiente se debe pesar y transferir a un recipiente de vidrio de color ámbar, almacenándose en un refrigerador para evitar una posible degradación del producto extraído.

Es importante mencionar que en la extracción se emplea una alimentación por carga, permitiendo el reparto del dióxido de carbono en la almendra. Este tipo de alimentación tiene la ventaja de lograr una mayor penetración del fluido en los poros de la matriz sólida.

Para la realización de los mapas de consumo y desperdicio se tuvieron en cuenta todas las etapas del proceso, así como los balances de masa y energía, para así definir las entradas y salidas tanto de

productos como de residuales. Luego de hacer los mapas cualitativos se determinan los cuantitativos donde se definen los valores de los flujos en cada etapa de las materias primas que se procesan así como otros productos auxiliares, agua y dióxido de carbono.

Las determinaciones se realizan en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se parte de una capacidad de producción de la planta de 50 kg de vainas diarias. Se asume que esta tenga un 2% de impurezas, lo que representan un total de 48 kg de vainas reales. Martín *et al* (2013), reportan los valores de composiciones de las vainas y las semillas. Trabajando con ellos, se obtienen las composiciones de la almendra de un 80,5% en peso de semillas en vaina y por tanto 40,3 kg de semillas/kg de vainas. La composición de cáscara en la semilla es de un 37,5% y la composición de almendra en semilla es de un 55% así como una humedad en la semilla entera de un 7.5%. Por tales motivos, la materia prima que entra a la planta está compuesta por 15,09 kg de cáscara, 22,14 kg de almendra y 3,02 kg de agua en la semilla.

En la etapa de beneficio se tiene que las vainas en mal estado son el 23% de las vainas reales por lo cual se separan 11,04 kg de vainas en mal estado por lo que continúan en el proceso 36,96 kg de vainas en buen estado.

En la molienda 1, donde se separan las semillas de las vainas, se tiene que las vainas solas representan el 10% de las vainas reales por lo que se separan 3,69 kg de vainas solas. En la molienda 2 se separan del proceso los 15,09 kg de cáscaras.

Se suministra al proceso 100 kg de agua para el lavado el cual tiene una eficiencia del 10%. Por tanto se separan 90 kg de agua.

En el secado, teniendo en cuenta que la almendra posee un 3,02 kg de agua y los datos de la etapa anterior, se rechazan 13,01 kg de agua.

En la extracción se suministra un 2% de dióxido de carbono por kg de almendra y como se procesan

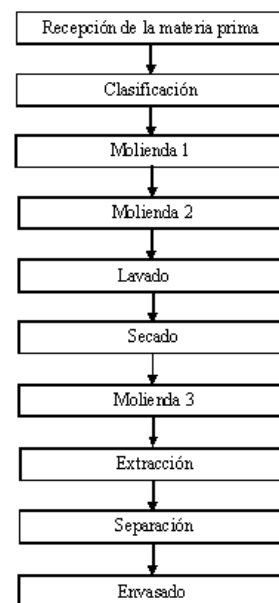


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de extracción.

22,7 kg de almendra la cantidad de dióxido de

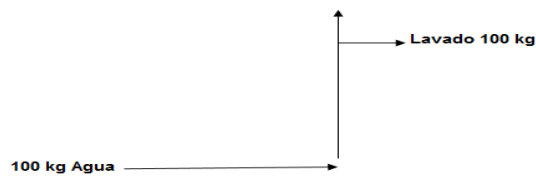


Figura 2. Mapa de consumo de agua.

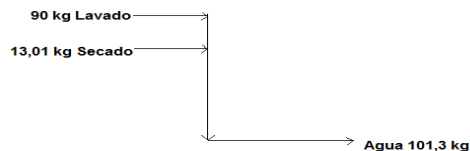


Figura 3. Mapa de desperdicio del agua.

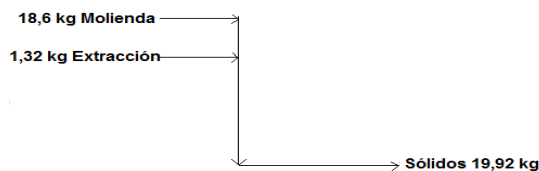


Figura 4. Mapa de desperdicio de sólidos.

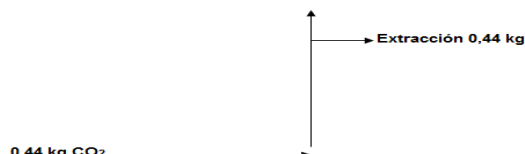


Figura 5. Mapa de consumo de dióxido de carbono.

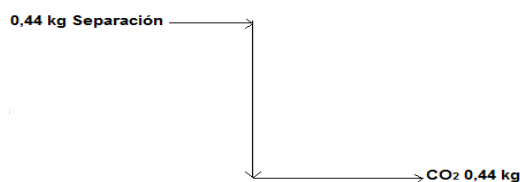


Figura 6. Mapa de desperdicio de CO<sub>2</sub>.

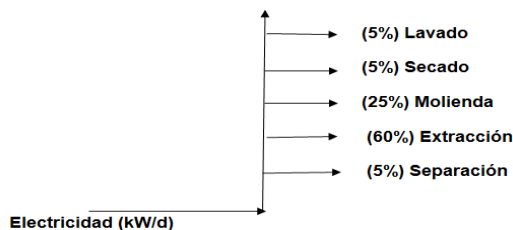


Figura 7. Mapa de consumo de electricidad

carbono es de 0,44 kg. Debido a que la almendra posee un 94% de aceite, para la cantidad de almendra procesada se obtendrán 20,81 kg de aceite, saliendo de esta etapa 1,43 kg de sólido.

En la separación saldrán del proceso los 0,44 kg de dióxido de carbono y se recuperarán los 20,81 kg de aceite para ser envasados.

### Resultados de los mapas de consumo y desperdicio

La figura 2 muestra la cantidad de agua en peso que se utiliza en todo el proceso, la cual corresponde a la etapa de lavado de las semillas de moringa. Se aprecia que el consumo fundamental de agua es en este proceso. En este caso, deben tomarse todas las medidas necesarias para reducir su consumo.

La figura 3 muestra el mapa de desperdicio del agua. En la misma se aprecia que el agua es vertida al medio ambiente en las etapas de lavado y secado. En la primera etapa es donde se consume la mayor cantidad de este recurso, representando un 87% de todo el consumo de agua en la planta. En esta etapa, al agua arrastra la mayor cantidad de impurezas contenida en la materia prima por lo que lleva consigo una alta carga de materias orgánicas e inorgánicas, que posteriormente se desecha en el proceso.

Los 13,1 kg de agua que son obtenidos en el proceso de secado, no es posible recuperarlos debido a que pasan directamente al medio ambiente. Esta es un agua que no contiene elementos agresivos al medio ambiente.

La figura 4 muestra los resultados de la separación de residuales sólidos del proceso (kilogramos de vainas solas, de cáscaras y de almendra), en las etapas de molienda y extracción. En la misma se aprecia que la mayor cantidad de sólidos son emitidos en la etapa de molienda (93%) lo que indica buscar estrategias de deposición de estos residuales. Estos sólidos no se reutilizan dentro del proceso por lo que se deben valorar variantes de su utilización y evitar así su deposición al medio ambiente con sus consecuentes impactos ambientales.

En la figura 5 aparece el mapa de consumos del dióxido de carbono que se consume para extraer el aceite esencial de la almendra de la *Moringa oleifera Lam.* En esta figura se aprecia que el mismo solo se consume en la etapa de extracción. En este caso, se deben tomar las medidas de manejo con este gas para evitar emanaciones al medio ambiente.

La figura 6 muestra el mapa de desperdicio de CO<sub>2</sub> en la etapa de separación, luego de haber obtenido el aceite libre de este gas. Esta figura muestra que el dióxido de carbono utilizado en la extracción se emite a la atmósfera solamente en la etapa de separación. Esto indica la necesidad de implementar un sistema de recuperación del mismo, disminuyendo así los costos y el impacto ambiental.

En la figura 7, aparece el mapa de consumo de electricidad de la planta. En la misma se aprecia que los mayores consumos de energía están reportados en las etapas de extracción (60%) y de molienda (25%). En el primer caso se debe al alto consumo de energía de las resistencias eléctricas para calentar el dióxido

de carbono hasta obtener las condiciones supercríticas.

Aunque la planta no tiene instalada un sistema de generación de energía a partir de combustibles fósiles, estos consumos de energía eléctrica provienen de fuentes fijas de generación de gases contaminantes como el dióxido de carbono, azufre y nitrógeno, provenientes de la combustión de combustibles fósiles.

Por tales motivos, el control de temperatura y presión en esta etapa, así como la optimización de este proceso, repercute de forma directa en la reducción.

Teniendo en cuenta los resultados se proponen algunas medidas para implementar en la planta con el objetivo de reducir los impactos ambientales de la misma, a partir de la aplicación del concepto de "producciones más limpias".

- Se propone que el agua del lavado se someta a una etapa de tratamiento a través de sistemas de filtrado, para reutilizarla en el proceso. Estas aguas no son tan agresivas, por lo que no se requieren de complejos sistemas de tratamiento. Los sólidos separados en este proceso, se reincorporan a la salida del proceso de molienda y extracción (ver figura 4).
- Los sólidos que se separan en la etapa de beneficio (figura 4), se propone realizar estudios para su utilización como combustible alternativo en el propio calentamiento de la autoclave. De esta forma se sustituye la resistencia eléctrica para el calentamiento del dióxido de carbono, reduciendo su efecto en el consumo de energía eléctrica.
- Los sólidos separados en la etapa de molienda (vainas y cáscaras) y extracción (bagazo de almendra) se pueden utilizar como alimento animal, lo cual ha sido estudiado y reportado por la literatura resultando factible su utilización.

- Diseñar un sistema de recuperación del dióxido de carbono en la etapa de separación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdulkareem AS, Uthman H, Afolabi AS. Awenebe OL. Extraction and Optimization of Oil from Moringa Oleifera Seed as an Alternative Feedstock for the Production of Biodiesel, Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources, 2011, Disponible en: [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com).
- Adejumo BA, Alakowe AT, Obi DE. Effect of Heat Treatment on the Characteristics and Oil Yield of Moringa Oleifera Seeds, *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 2013; 2(1): 232-239.
- Martín C, Martín G, García A, Fernández T, Hernández E, Puls J. Potenciales aplicaciones de Moringa oleifera. Una revisión Crítica, *Pastos y Forrajes*, 2013; 36(2): 137-149.
- Nilani P, Jeyaprakash MR. Anthelmintic Activity of Moringa Oleifera Seed Oil - Validation of Traditional Use, *Journal of Advanced Scientific Research*, 2012; 3(2): 65-66.
- Ordoñez, A. Estudio comparativo de la extracción de cafeína con CO<sub>2</sub> supercrítico y acetato de etilo, *Revista Ingeniería Universidad de Los Andes*, 2006; 24: 34-42.
- Rubiolo, P. Essential oils and volatiles: sample preparation and analysis, *Flavour Fragr. J.*, 2010; 25: 282-290.
- Somnath V, Veena K, Sanjay K, Prakash K, Shruti R, Vishal P. Design and characterization of Moringa oleifera seed oil impregnated anti-inflammatory topical micro-dispersion", *Der Pharmacia Lettre*, 2015; 7(3): 7-16.
- Tsaknis, J., Characterisation of Moringa peregrina Arabia seed oil, *Grasas y Aceites*, 1998; 49 (2): 170-176.