



Análisis económico de una planta piloto para la extracción de aceite de *Moringa oleifera* Lam para producir biodiesel

Economic analysis of a pilot plant for extraction of *Moringa oleifera* Lam oil to produce biodiesel

Leonardo Campos¹; Isnel Benítez² ; Amaury Pérez Martínez³; Amaury Pérez Sánchez^{2,*}

¹ Universidad Estadual del Norte Fluminense, Av. Alberto Lamego, 2000 - Parque California, Campos dos Goytacazes - RJ, 28013 602. Rio de Janeiro, Brasil.

² Facultad de Ciencias Aplicadas, Universidad de Camagüey, Carretera Circunvalación Norte, Km. 5½, e/ Camino Viejo de Nuevitas y Ave. Ignacio Agramonte, CP 74650, Camagüey, Cuba.

³ Universidad Estatal Amazónica, Paso Lateral km 2 1/2, CP 150160, Puyo, Pastaza, Ecuador.

RESUMEN

Las aplicaciones del aceite vegetal de *Moringa oleifera* Lam son diversas. Van desde su utilización en la cocina, para producir jabones, cosméticos, y biocombustible, también se aplica externamente para enfermedades de la piel por lo que es altamente cotizado en el mercado mundial. El presente trabajo tiene el objetivo de determinar la viabilidad económica de una planta piloto para la obtención del aceite vegetal de *Moringa oleifera* Lam. Con el diseño de esta instalación se podrá sustituir una materia prima empleada en la industria farmacéutica y de cosmético, así como usarlo para la producción de biodiesel. Fueron calculados las dimensiones de los equipamientos del proceso. El análisis económico fue realizado usando tres indicadores dinámicos, Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y Periodo de Retorno. Fue considerada la planta con una capacidad anual de producción de 150 m³, funcionado 24 días por mes, durante 11 meses al año. Se concluye que la planta es económicamente viable pues su Valor Actual Neto es positivo con un valor de USD \$ 1,3 millones, además de que se obtiene un valor de la Tasa de Interna de Retorno de 37% y el Periodo de Recuperación de la Inversión es de 1,9 años, lo cual indica que el proyecto puede ser ejecutado de forma satisfactoria.

Palabras clave: Moringa; análisis económico; aceite; biodiesel.

ABSTRACT

The applications of *Moringa oleifera* Lam vegetable oil are diverse. They range from its use in the kitchen, to produce soaps, cosmetics, and biofuel; it is also applied externally for skin diseases, which is why it is highly valued in the world market. The present work has the objective of determining the economic viability of a pilot plant for obtaining the vegetable oil of *Moringa oleifera* Lam. With the design of this installation, it will be possible to replace a raw material used in the pharmaceutical and cosmetic industry, as well as to use it for the production of biodiesel. The dimensions of the process equipment were calculated. The economic analysis was carried out using three dynamic indicators, Net Present Value, Internal Rate of Return and Period of Return. It was considered the plant with an annual production capacity of 150 m³, operated 24 days a month, for 11 months a year. It is concluded that the plant is economically viable because its Net Present Value is positive with a value of USD \$ 13.3 million, besides that a value of the Internal Rate of Return of 37% and the Recovery Period of the Investment is 1.9 years, which indicates that the project can be executed satisfactorily.

Keywords: *Moringa oleifera* Lam; economic analysis; oil; biodiesel.

1. Introducción

La *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae) es una planta originaria de la India, y ampliamente cultivado en zonas tropicales y subtropicales. En África se consume ampliamente para la automedicación por los pacientes afectados por

la diabetes, hipertensión o el VIH/SIDA (Chuang *et al.*, 2007). Varios compuestos fenólicos, así como isotiocianatos también fueron reportados en la planta (Kuate, 2017).

Esta planta perteneciente a la familia Moringaceae es un remedio efectivo para la

desnutrición. La misma es rica en varios compuestos que ayudan en la nutrición tales como: vitaminas A, B₁, B₂, B₃, C, E, fósforo, potasio, calcio, cobre, hierro, azufre y magnesio; los cuales están presentes en sus hojas, vainas y semillas. En efecto, la moringa ha demostrado tener 7 veces más vitamina C que las naranjas, 10 veces más vitamina A que las zanahorias, 17 veces más calcio que la leche, 9 veces más proteína que el yogur, 15 veces más potasio que las espinacas (Gopalakrishnan et al., 2016). En el cultivo comercial, *Moringa oleifera* Lam difiere la composición de nutrientes en diferentes lugares (Aslam et al., 2005). También presenta propiedades nutritivas ya que sus hojas son ricas en minerales como el calcio, potasio, zinc, magnesio, hierro y Cobre (Kasolo et al., 2010).

En los últimos años varios estudios relacionados con la *Moringa oleifera* Lam han sido realizados los cuales han demostrado la eficiencia de su uso en la producción de aceites para cosméticos, biocombustibles y para tratar enfermedades dermatológicas entre otros (Machado et al., 2015; Gardea et al., 2017).

Los aceites vegetales de la moringa tienen propiedades terapéuticas para diversas enfermedades de la piel, los mismos pueden ser extraído de las semillas y hojas. Estudios han mostraron actividades antifúngicas in vitro contra dermatofitos tales como *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Epidermophyton floccosum* y *Microsporum canis*.

1.1 Materias primas para biodiesel

El biodiesel normalmente es producido a partir de aceites vegetales tales como soja, palma, girasol, cártamo, colza y coco, entre otros. Estos se consideran como materia prima de primera generación (Al-Zuhair et al., 2011). Otro grupo de materia prima de segunda generación para la producción de biodiesel, se derivan de grasas animales, incluyendo; sebo, grasa blanca, o manteca de cerdo, grasa de pollo y grasa de color amarillo (Bhuiya et al., 2016).

1.2. Técnica de extracción

La extracción de aceite usando CO₂ supercrítico como solvente es una técnica muy eficiente, la misma es muy superior a otros métodos de extracción tradicionales y permite la eliminación eficiente del disolvente después de la extracción, lo cual reduce los costos de producción. Entre los disolventes más usados, el CO₂ tiene grandes ventajas, porque no es tóxico y es barato (Ruttarattanamongkol, 2014).

Varios trabajos han sido publicados en los cuales han utilizados CO₂ supercríticos como solvente

para la extracción de aceite (Palafox et al., 2012; Nguyen, 2011).

1.3. Análisis económico de procesos

La decisión de si un proyecto de ingeniería es viable o no solo, puede ser determinado a través de un análisis técnico económico, el cual puede ser realizado usando varios métodos y criterios (Al-Zuhair et al., 2011).

En la actualidad existen diferentes indicadores económicos para hacer la evaluación económica de un proceso entre los cuales se pueden citar: Tasa Interna de Retorno (TIR), Periodo de retorno de la inversión (PRI) y el Valor Actual Neto (VAN). Estos métodos de análisis técnicos económicos tienen algunas especificaciones y algunas restricciones de uso. El método de TIR es generalmente el más aceptado y utilizado para el análisis de proyecto como parámetro de decisión (Harsono et al., 2013; Kelloway et al., 2013; Percoco y Borgonovo, 2012.).

En un estudio previo se efectuó la simulación de una planta de producción de aceite de moringa con una capacidad de procesamiento de 450 kg de vainas de moringa por lote, utilizando el simulador SuperPro Designer®, obteniéndose como resultado un VAN de USD \$ 1132 000, una TIR de 17,42%, un PRI de 3,65 años, y ganancias netas anuales de USD \$ 534 000 (Benitez et al., 2018)

Con el desarrollo del presente trabajo pretendemos realizar un análisis económico de una planta de extracción de aceite de *Moringa oleifera* Lam, utilizando CO₂ supercrítico como solvente. El aceite extraído podrá ser utilizado como materia prima para producir biodiesel y de esta manera para comprobar si el proceso es viable económicamente.

2. Materiales y métodos

2.1 Caracterización del proceso

Descripción del proceso de extracción con dióxido de carbono supercrítico:

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso de extracción de aceites esenciales empleando CO₂ supercrítico.

El proceso comienza con la recepción de las vainas de moringa los cuales traen consigo un porcentaje de impurezas. Luego se realiza una clasificación para separar las vainas en mal estado y las impurezas.

El tratamiento preliminar de la materia prima se inicia con la separación de las semillas 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, logrando así reducir el contenido de humedad. Luego del secado 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.

Al proceso se alimenta dióxido de carbono presurizado, el cual es proveniente de un recipiente presurizado; el dióxido de carbono es transportado a la autoclave, la cual está dispuesta a una resistencia eléctrica que se encarga de suministrar calor, con el objetivo de producir un aumento de presión en el fluido. Alcanzadas las condiciones deseadas de temperatura y presión (verificadas en los medidores), se abre la válvula conduciendo el fluido hasta el extractor (provisto de una manta térmica), donde se pondrá en contacto con la muestra deseada a un tiempo de residencia fijo. Es importante mencionar que no se lleva a cabo ningún tipo de reacción química, solo se ponen en contacto las dos fases.

Una vez cumplido el tiempo de extracción (2 horas), se abre la válvula por donde fluye la mezcla extracto-dióxido de carbono, la cual se transporta a un recipiente separador. En este equipo ocurre una vaporización instantánea de la mezcla binaria y disminución de la solubilidad, dando como resultado dos productos, por el tope dióxido de carbono el cual debe ser recuperado, y por el fondo el extracto, que es recolectado en un recipiente y debidamente pesado, almacenándose en un refrigerador para evitar una posible degradación del producto extraído.

2.2. Caracterización del diseño

Para diseñar la planta se parte de una capacidad de producción de 150 m³/año, con esta capacidad y teniendo en cuenta los días de trabajos en el año y el consumo de materia prima en el mismo se realiza el cálculo del dimensionamiento de los equipos, así como los balances de masas correspondientes. Aunque no se ha realizado un estudio de demanda a partir de la disponibilidad de materias primas, en este caso de plantaciones de *Moringa oleifera Lam* tampoco un estudio de demanda prospectiva hasta el año 2020, se propone esta capacidad debido a las necesidades de este aceite para la producción de biodiesel, el cual responde a proyectos nacionales e internacionales de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria.

Se hizo uso de Microsoft Excel para facilitar los cálculos. Para esto, se realizaron los balances de masa correspondientes a los equipos involucrados y se propone un esquema tecnológico para la obtención del aceite. Para determinar el costo de adquisición del equipamiento tecnológico se utilizó el método propuesto por (Peters y Timmerhaus, 1991) y se actualizaron los mismos al año 2016. Con los costos de equipamiento se determinaron los costos directos que también están constituidos por los costos de la instalación, la electricidad, las tuberías y facilidades auxiliares que representan un por ciento del costo del equipamiento. Los costos indirectos están dirigidos a la ingeniería-supervisión y a los gastos de construcción.

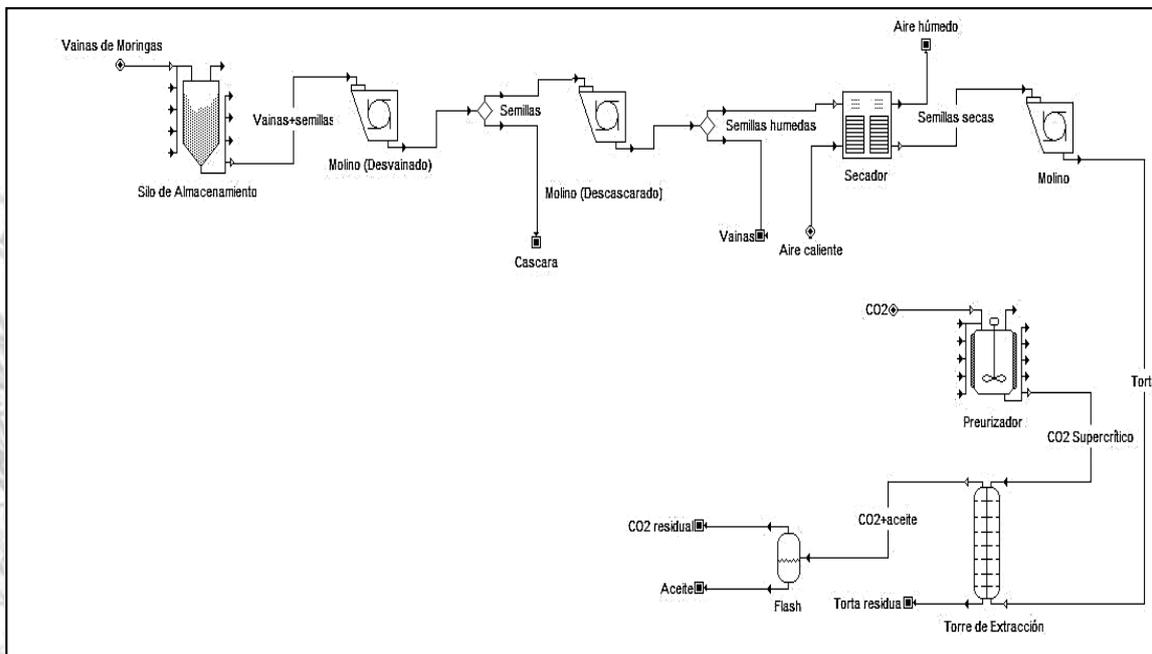


Figura 1. diagrama de flujo del proceso de extracción de aceites esenciales empleando CO₂ supercrítico.

El capital fijo está conformado por la suma de los costos directos e indirectos, los pagos al contratista y costos por contingencias. Entonces el capital fijo más el capital de trabajo constituyen el costo total de inversión. Luego se analizan los ingresos que generan las ventas de aceite, de la torta y de la vaina más la cáscara; los egresos es lo que se invierte en la compra de Moringa, CO₂ y agua. La diferencia de los ingresos menos los egresos generan las ganancias, la cual es la que define si es factible o no el proceso.

2.3 Cálculo de los indicadores dinámicos de la inversión

Los indicadores dinámicos de la inversión se determinan a partir del Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación de la Inversión (PRI). Para esto se parte de determinar los costos de producción, así como los ingresos que brinda la tecnología, utilizando una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

3. Resultados y discusión

Se parte de una capacidad de producción de la planta de 150 mil L/año (150 m³/año) de aceite lo que equivale a 568,53 L/d. La planta cuenta con un suministro de materia prima de 20490 kg de vainas y 1024,5 m³ de semillas para 15 días de

producción, por lo que son necesario 5 tanques de almacenamiento de 204,9 m³ de capacidad. La planta funciona 24 días por mes durante 11 meses al año. La instalación trabaja diariamente moliendo 1366 kg/d de vainas, en un molino con una capacidad de molienda de 683 kg/h, por lo que el tiempo de molienda es de 2 h. Por su parte, el flujo real para las semillas es de 604,82 kg/d que equivale a 302,41 kg/h en igual tiempo de molienda.

El equipamiento cuenta con una autoclave de 1,01 m³ de capacidad, un extractor de 0,40 m³ y un separador con el mismo volumen. En la [Tabla 1](#) se exponen los costos de adquisición de cada equipo incluido en el proceso de producción.

Los ingresos son el resultado de las ventas del aceite que, junto con otras partidas tales como las vainas más cáscaras y la torta, generan USD \$ 13'078'416,53, pues el aceite se vende en 85 mil USD/m³ ([Alibaba, 2016](#)). Los egresos consisten en la inversión debido a la compra de las materias primas, ascendiendo a USD \$ 6527 212,35, mientras que la resta entre los ingresos y los egresos constituye la ganancia que se obtiene en el proceso, que es de USD \$ 6551 204,18. Las [tablas 2](#) y [3](#) muestran estos resultados.

Tabla 1

Costo de adquisición del equipamiento

Equipo	Cantidad	Variable de diseño	Valor	Precio (USD \$)
Tanque de almacenamiento	5	Capacidad (m ³)	204,90	155164,52
Molino vainas	1	Capacidad (t/h)	0,68	1900,28
Molino semillas (romper y triturar)	2	Capacidad (t/h)	0,30	3660,30
Autoclave	1	Capacidad (m ³)	1,01	254697,92
Separador (igual extractor)	2	Capacidad (m ³)	1,01	63674,48
Total				479097,49

Tabla 2

Ingresos

Ingresos	Producción anual (m ³ /a)	Precio venta (USD/m ³)	Ingreso (USD \$)
Aceite	150,09	85 000	12 757 650
Vainas más cáscaras	136 432,39	2	272 864,78
Torta	9580,35	5	47 901,75
Total			13 078 416,53

Tabla 3

Egresos

Costo de materias primas	Consumo anual (kg/a)	Precio Unitario (USD \$/kg)	Costo anual (USD \$/a)
Cantidad de moringa	360 624	18,00	6 491 232,00
CO ₂	3 193,45	3,00	9 580,35
Agua	26 400	1,00	26 400,00

Tabla 4

Costos de inversión

Partidas del costo de inversión	% del costo de equipamiento	Total (USD \$)	%
1. Equipamiento	100	479 097,49	18,6
2. Instalación	0,47	225 175,82	8,7
3. Instrumentación	0,18	86 237,55	3,3
4. Tuberías	0,66	316 204,35	12,3
5. Electricidad	0,11	52 700,72	2,0
6. Edificaciones	0	0,00	0
7. Preparación del terreno	0	0,00	0
8. Facilidades auxiliares	0,7	335 368,25	13,1
9. Terreno	0	0,00	0
Subtotal costos directos		1 494 784,18	58,3
Costos Indirectos			0
1. Ingeniería y supervisión	0,33	158 102,17	6,1
2. Gastos de construcción	0,41	196 429,97	7,6
Subtotal costos indirectos		354 532,15	13,8
Total Costos Directos e Indirectos		1 849 316,33	72,1
1. Pagos al contratista	0,21	100 610,47	3,9
2. Contingencias	0,42	201 220,95	7,8
Capital fijo		2 151 147,75	83,9
1. Capital de trabajo	0,86	412 023,84	16,1
Costo de inversión Total		2 563 171,59	

La Tabla 4 muestra los costos de inversión de la instalación. En ella se observa que los costos de equipamientos representan los mayores gastos para un 18,7%, seguidos de las facilidades auxiliares y los costos de capital fijo de trabajo (13 y 16% respectivamente). Los costos más bajos están relacionados con el consumo de energía eléctrica con un 2,0%. Dentro de los equipos, los que más influyen en los costos de adquisición son los tanques de almacenamiento y la autoclave, con un 32,4 y 53,1% respectivamente. El costo de inversión total sería de USD \$ 2 563 171,59.

Algunos indicadores económicos como edificaciones y compra y reparación del terreno tienen valor cero porque ya se cuenta con una edificación para la instalación de la planta y no es necesario realizar ninguna inversión en esos aspectos. Con los flujos de cajas, calculados de la diferencia entre las ventas y los gastos y considerando una tasa de descuento de 4%, fue posible calcular los principales parámetros económicos. El VAN dio un valor de \$ 13,3 millones, como el valor resulto positivo el proyecto puede ser ejecutado sin riesgo. El proyecto puede ser recuperado en 1,9 años (PRI), con una TIR de 37%.

La Figura 2 muestra el comportamiento del VAN por un período de 10 años, como se puede observar, los valores resultaron negativos hasta el segundo año, ya a partir del tercer año los valores fueron positivos y a medidas que los años pasaron los valores fueron aumentando.

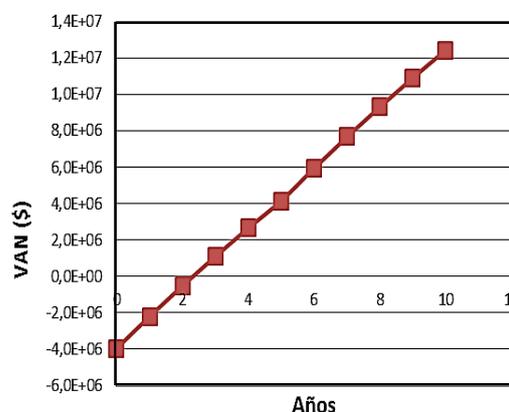


Figura 2. Valores de VAN anual.

4. Conclusiones

El aceite de moringa obtenido a través de la extracción con CO₂ supercrítico es un producto de alta calidad, el cual puede ser utilizado para la producción de biocombustibles. Con la puesta en marcha de la planta se podrá garantizar el suministro de aceite de *Moringa oleifera Lam* a la planta de producción de biodiesel. La propuesta tecnológica para la extracción de aceite resulta factible desde el punto de vista técnico-económico y ambiental. El costo de inversión es de USD \$ 2 563 171,59 con un período de recuperación de la inversión de 1,9 años dando un VAN positivo de \$ 13,3 millones y un TIR de un 37%. Con estos resultados podemos concluir que el proyecto puede ser ejecutado sin ningún riesgo y es atractivo desde el punto de vista inversionista.

Agradecimientos

A los estudiantes de doctorado de la Universidad Estadual del Norte Fluminense "Darcy Ribeiro", Brasil. A los profesores de la Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria de la Universidad de Camagüey, Cuba.

Orcid

I. Benítez  <https://orcid.org/0000-0003-2427-640X>

A. Pérez Martínez  <https://orcid.org/0000-0002-0819-6760>

Referencias bibliográficas

- Alibaba. 2016. Precio de aceite de *Moringa Oleifera Lam.* Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/g/moringa-oleifera-oil.html>.
- Al-Zuhair, S.; Almenhali, A.; Hamad, I.; Alshehhi, M.; Alsuwaidi, N.; Mohamed, S. 2011. Enzymatic production of biodiesel from used/waste vegetable oils: Design of a pilot plant. *Renewable Energy* 36: 2605-2614.
- Aslam, M.F.; Anwar, R.; Nadeem, U.; Rashid, T.G.; Kazi, A.; Nadeem, M. 2005. Mineral composition of *Moringa oleifera* leaves and pods from different regions of Punjab, Pakistan. *Asian J. Plant Sci* 4: 417-421.
- Benítez, I.; Pérez, A.; Barrios, M.; Rodríguez, A.; Pérez, A. 2018. Simulación de una planta de producción de aceite de moringa empleando el simulador de procesos SuperPro Designer®. *Tecnología Química* 38: 236-247.
- Bhuiya, M.; Rasul, M.; Khan, M.; Ashwath, N.; Azad, A. 2016. Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel—Part: 1 selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 55: 1109-1128.
- Chuang, P.H.; Lee, C.W.; Chou, J.Y.; Murugan, M.; Shieh, B.J.; Chen, H.M. 2007. Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of *Moringa oleifera Lam.* *Bioresource Technology* 98: 232-236.
- Gardea, W.K.; Buchberger, S.G.; Wendell, D.; Margaret J.; Kupferle, M.J. 2017. Application of *Moringa Oleifera* seed extract to treat coffee fermentation wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 329: 102-109.
- Gopalakrishnan, L.; Doriya, K.; Kumar, D.S. 2016. *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness* 5: 49-56
- Harsono, S.S.; Grundman, P.; Lau, L.H.; Hansen, A.; Salleh, M.A.; Meyer-Aurich, A.; Idris, A.; Ghazi, T.I.M. 2013. Energy balances, greenhouse gas emissions and economics of biochar production from palm oil empty fruit bunches. *Resources, Conservation and Recycling* 77: 108-115.
- Kasolo, J.N.; Bimenya, G.S.; Ojok, L.; Ochieng, L.; Okeng, O.W.J. 2010. Phytochemicals and uses of *Moringa oleifera* leaves in Ugandan rural communities. *J. Med. Plants Res* 4: 753-757.
- Kelloway, A.; Marvin, W.A.; Schmidt, L.D.; Daoutidis, P. 2013. Process design and supply chain optimization of supercritical biodiesel synthesis from waste cooking oils. *Chemical Engineering Research and Design* 91: 1456-1466.
- Kuete, V. 2017. *Medicinal Spices and Vegetables from Africa*. 1st edition. Academic Press. Dschang, Camerún. 694 pp.
- Machado, D.S.; Cervantes, J.L.; Gastélum, J.A.N.; de la Mora-López, G.S.; Hernandez, J.L.; Losada, P.L. 2015. Effect of the refining process on *Moringa oleifera* seed oil quality. *Food Chemistry* 187: 53-57.
- Nguyen, H.N. 2011. Extraction of oil from *Moringa oleifera* kernels using supercritical carbon dioxide with ethanol for pretreatment: Optimization of the extraction process. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 50: 1207-1213.
- Palafox, J.O.; Navarrete, A.; Sacramento, J.C.; Rubio, C.; Escoffie, P.A.; Rocha, J.A. 2012. Extraction and Characterization of Oil from *Moringa oleifera* Using Supercritical CO₂ and Traditional Solvents. *American Journal of Analytical Chemistry* 3: 946-949.
- Percoco, M.; Borgonovo, E. 2012. A note on the sensitivity analysis of the internal rate of return. *International Journal of Production Economics* 135: 526-529.
- Peters, M.S.; Timmerhaus, K.D. 1991. *Plant design and economics for chemical engineers*. 4th Edition. McGraw-Hill, Inc. New York St, USA. 923 pp.
- Ruttarattanamongkol K. 2014. Pilot-scale supercritical carbon dioxide extraction, physico-chemical properties and profile characterization of *Moringa oleifera* seed oil in comparison with conventional extraction methods. *Industrial Crops and Products* 58: 68-77.

