

Simulación de una planta de producción de aceite de moringa empleando el simulador de procesos Superpro Designer

Simulation of moringa oil production plant using Superpro Designer process simulator

DrC. Isnel Benítez-Cortés 1* , DrC. Amaury Pérez-Martínez 2 , MSc. Misel A. Barrios-Rodríguez 1 , Ing. Adrián Rodríguez-Machado 1 , Ing. Amaury Pérez-Sánchez 1

1 Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba. 2 Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador * e-mail: isnel.benites@reduc.edu.cu

Resumen

En el siguiente trabajo se efectúa la simulación de una planta de producción de aceite de moringa con una capacidad de procesamiento de 450 kilogramos de vainas de moringa por lote. Se llevaron a cabo dos estudios de sensibilidad consistentes en 1) evaluación de la influencia del incremento del precio de venta del aceite de moringa entre \$ 30-50/kg, manteniendo constante la capacidad de procesamiento de la planta en 450 kilogramos de vainas de moringa por lote (kg/lote), sobre los principales indicadores económicos de la planta, esto es, Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Retorno de la Inversión (PRI), entre otros y 2) determinar la influencia del incremento de la tasa de procesamiento de la planta entre 300-800 kg/lote, manteniendo constante el precio de venta del aceite de moringa en USD \$ 35/kg, sobre los indicadores económicos VAN, TIR y PRI, entre otros parámetros. Se deberán invertir alrededor de USD \$ 2 millones para construir la planta. El proyecto tendrá ganancias netas anuales de \$ 534 000, con una TIR de 17,42 %, un PRI de 3,65 años y un VAN de \$ 1 132 000,00. Se empleó el simulador SuperPro Designer ® v.8.5 para llevar a cabo la simulación del proceso de producción.

Palabras Claves: Simulador de procesos Superpro Designer , aceite de moringa

Abstract

At the present work the simulation of a moringa oil production plant having a processing capacity of 450 kilograms of moringa pods per batch is carried out. Two sensitivity studies were accomplished consistent of 1) assessment the influence of

increasing the moringa oil selling price from USD \$ 30 per liter (\$/kg) to USD \$ 50/kg, keeping constant the plant processing capacity in 450 kilograms of moringa pods per batch (kg/batch), over the main economic indicators of the plant, that is, Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Time (PT), among other indicators, and 2) determine the influence of incrementing the plant processing rate from 300 to 800 kg/batch, maintaining constant the moringa oil selling price in USD \$ 35/kg, over the indicators NPV, IRR and PT, among other parameters. It's needed about USD \$ 2 million of investment to construct the plant. The project will have annual net profits of \$ 534 000, with IRR, PT and NPV values of 17,2%, 3.65 years and \$ 1 132 000, respectively. SuperPro Designer ® process simulator was employed to carry out the simulation of the production process.

Keywords: Superpro Designer process simulator, moringa oil

INTRODUCCION

La *moringa* (*Moringa oleífera*) es un árbol de tamaño pequeño que crece en regiones tropicales y que presenta una gran plasticidad ecológica. Es altamente valorado a nivel mundial por las propiedades que posee y que le permiten ser catalogado como un árbol que ofrece una gran versatilidad como materia prima en diferentes industrias [1] .

El aceite de semilla de *Moringa oleífera* puede tener varios usos a nivel industrial, entre estos se cuentan su potencialidad como biocombustible, aceite comestible de alta calidad y de uso cosmético. En materia de salud, el aceite de semilla de moringa se ha utilizado históricamente para ayudar a enfermedades de la piel, gota, dolor en las articulaciones, el escorbuto, inflamación, dolor de estómago, reumatismo y muchas otras condiciones. Se caracteriza por una vida útil extraordinariamente larga y un sabor suave, pero agradable. En la tabla 1 se muestra la composición química del aceite [2].

Tabla 1. Composición química del aceite de moringa

Componente	Porcentaje
Ácido oleico	65,7%
Ácido palmítico	9,3%
Ácido esteárico	7,4%
Ácido behénico	8,6%

El ácido oleico se considera como una fuente saludable de grasa y se usa como un sustituto de altas grasas animales saturadas. También se emplea en la fabricación de cosméticos y jabones, en la limpieza de metales y en la industria textil.

La simulación se define como la utilización de recursos computacionales para desarrollar modelos matemáticos con el fin de construir un modelo representativo de un proceso bajo estudio. Por otra parte, se utiliza para predecir y comprender luego su comportamiento real durante la operación regular de la planta. Estas herramientas pueden ser empleadas en todas las etapas del desarrollo de procesos, desde el diseño conceptual hasta la operación y posterior optimización de la planta [3].

Los simuladores ofrecen la oportunidad de reducir el tiempo requerido para el desarrollo de cualquier proceso. También permiten comparar diferentes alternativas de solución a un problema profesional de forma consistente, de tal forma que un gran número de ideas puedan ser sintetizadas y analizadas interactivamente en un corto periodo de tiempo.

Son varios los simuladores empleados hoy en día para efectuar la simulación de procesos tanto químicos como biotecnológicos. Entre los más importantes se pueden mencionar el Aspen-Hysys ® , el ChemCAD ® , el Pro-SIM ® y el SuperPro Designer ® .

El simulador profesional *SuperPro Designer* ® facilita la modelación, diseño y optimización de procesos integrados en un amplio rango de industrias tales como farmacéuticas, biotecnológicas, agroquímicas, alimenticias, tratamiento de residuales y purificación de agua, entre otras. Se caracteriza fundamentalmente por contener herramientas para la estimación de balances de masa y costos en una planta dada operando tanto de forma continua como por lotes, así como también por contener herramientas de cálculo diseñadas específicamente para procesos que incluyen componentes biológicos.

El simulador SuperPro Designer se ha venido utilizando extensivamente en los últimos años para simular diferentes tipos de industrias químicas, los cuales van desde la optimización multi-criterial económica y ecológica del proceso de producción del ácido pirúvico a partir de la glucosa utilizando una cepa mutante de *Escherichia coli* [4]; la simulación del proceso de producción de xilitol [3]; la simulación del proceso de producción de un anticuerpo monoclonal terapéutico incluyendo herramientas de diseño y desarrollo de bioprocesos [5]; la simulación del proceso de biodegradación que ocurre en un bioreactor anaeróbico de pequeña escala [6]; hasta la optimización multi-objetivo del proceso de producción del ácido cítrico incluyendo componentes de costo y medioambientales [7].

En el presente trabajo se lleva a cabo la simulación del proceso de producción del aceite de moringa mediante la aplicación del simulador de procesos SuperPro Designer ® . Se realizan dos estudios de sensibilidad. El primero, radica en la evaluación de la influencia del incremento del precio de venta del aceite de moringa desde USD \$ 30 por kilogramo (\$/kg) hasta USD \$50/kg, manteniendo constante la capacidad de procesamiento de la planta en 450 kilogramos de moringa por lote (kg/lote), sobre los principales indicadores económicos financieros de la planta, esto es, Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Retorno de la Inversión (PRI), entre otros. El segundo estudio de sensibilidad consiste en determinar la influencia del incremento de la tasa de producción de la planta desde 300 hasta 800 kg/lote, manteniendo constante el precio de venta del aceite de moringa en USD \$ 35/kg, sobre los indicadores económicos VAN, TIR y PRI.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del proceso de producción del aceite de moringa mediante el uso de dióxido de carbono supercrítico (Caso Base)

El proceso de producción del aceite de moringa comienza con la recepción de las vainas en un silo de almacenamiento de 600 kg de capacidad nominal, para luego alimentarlas a un primer molino de disco. La corriente de salida de este molino es vertida en un tamiz vibratorio para separar la vaina de los demás componentes. La mezcla sólida sin vainas es alimentada a un segundo molino con el fin de triturar los componentes sólidos que no fueron separados en el primer tamiz. La salida del segundo molino es enviada hacia un segundo tamiz vibratorio en el cual se separan la cáscara del resto de los componentes sólidos. La mezcla sólida sin cáscara es enviada hacia un secador de bandejas, con el fin de extraerle la mayor cantidad de agua posible. La mezcla sólida deshidratada es enviada a continuación hacia un tercer molino para proceder a su trituración final, obteniéndose a la salida de este equipo una mezcla sólida con consistencia de harina. Esta harina es enviada hacia un extractor sólido-líquido, el cual emplea dióxido de carbono líquido (en estado supercrítico) como solvente para realizar la extracción del aceite de moringa contenido en la harina. Una vez extraído, el aceite es finalmente almacenado en un tanque de almacenamiento de 1000 L de capacidad.

El proceso de producción de aceite de moringa fue simulado en el simulador de procesos SuperPro Designer ® según el esquema propuesto en la figura 1, para el cual se asumió que la planta trabaja al 75% de capacidad los primeros 4 años, para luego aumentar hasta un 90% durante todo el tiempo de vida de la misma. Se tomó en cuenta una tasa de interés del 7% para determinar el valor del VAN, así como también un 35% de impuestos por concepto de ingresos. Se asumió además que se trabaja 11 meses al año con un mes para realizar labores de mantenimiento de equipos, accesorios, que se posee la infraestructura necesaria para llevar a cabo procedimientos de control de calidad y mantenimiento, y que no existen sobrecostos debido al tratamiento de lotes de aceite defectuosos que no cumplan con los parámetros de calidad establecidos.

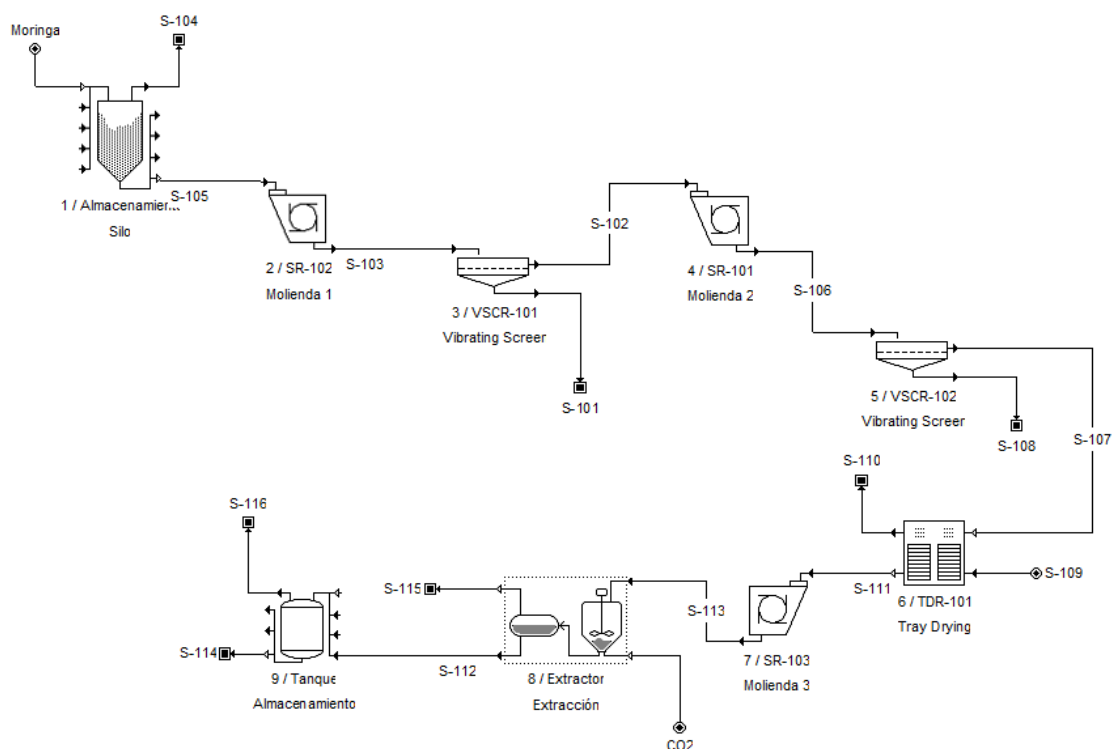


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de obtención de moringa obtenido en el simulador SuperPro Designer®.

El precio de adquisición del CO₂ licuado se estableció en USD \$ 0,6677/kg, el precio de venta del aceite de moringa se fijó en USD \$ 35/kg, mientras que el precio de la moringa (materia prima) se fijó en USD \$ 0,50 el kilogramo.

Costo del equipamiento

La tabla 2 muestra los costos de cada equipo presente en el diagrama de producción [8].

Tabla 2. Costos de adquisición de los equipos

Equipo	Capacidad	Costo (USD \$)
Silo de almacenamiento	2000 L	5000
Molino 1	1500 kg/h	7000
Molino 2	1500 kg/h	7000
Molino 3	1200 kg/h	6000
Tamiz vibratorio 1	720 kg/h	1800
Tamiz vibratorio 2	720 kg/h	1800
Secador de bandejas	18,5 m ² /bandeja	38000
Extractor	1200 L/h	150000
Tanque de almacenamiento de aceite	1000 L	3000
TOTAL		2190

Estudios de sensibilidad

Una vez efectuada la simulación del Caso Base y obtener así resultados de los principales indicadores técnico-económicos del proceso en cuestión, características técnicas de los equipos empleados, así como también la composición de las principales corrientes, se procede a realizar dos análisis de sensibilidad con el fin de evaluar la influencia de determinados factores sobre los principales indicadores técnico-económicos de la planta.

Estudio de sensibilidad No. 1

Los niveles de precios de aceite de moringa en el mercado mundial están en el orden de 1-100 USD/kg. Se llevó a cabo un primer estudio de sensibilidad consistente en determinar la influencia de la variación del precio de venta de la moringa en el rango de desde USD \$30/kg hasta \$50/kg (manteniendo constante la capacidad de la planta en 450 kg/lote) sobre los indicadores VAN, TIR y PRI, entre otros indicadores tales como Ganancias Anuales, Retorno de la Inversión y Margen Grueso. Estos niveles se establecen sobre la base de mantener los indicadores dinámicos de la inversión en niveles favorables.

Estudio de sensibilidad No. 2

El estudio de sensibilidad No. 2 consistió en evaluar la influencia de la variación de la capacidad de procesamiento de la planta desde 300-800 kg/lote (manteniendo constante el precio de venta del aceite de moringa en USD \$ 35/kg), sobre los parámetros VAN, TIR y PRI, además de otros parámetros tales como Ganancias Anuales, Costo Neto de Operación, y Retorno de la Inversión. De forma análoga, los niveles se establecen sobre la bases de lograr resultados favorables en los indicadores dinámicos de la inversión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados obtenidos durante la simulación del Caso base en el SuperPro Designer

Los resultados principales del proceso de simulación del Caso Base en el SuperPro Designer ® aparecen reflejados en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Resultados obtenidos durante la simulación del Caso Base en el SuperPro Designer®

Parámetro	Valor
Inversión Total de Capital	\$ 1953000
Costo de Operación Anual	\$ 1189000/año
Ganancias Anuales	\$ 1709000/año
Capital Fijo Directo	\$ 1722000
Capital de Trabajo	\$ 68000
Costo de Arrancada	\$ 90000
Costo Unitario de Producción	\$ 19,97/kg aceite
Número de Lotes por Año	165

Ganancias Netas Anuales	\$ 534000/año
Margen Neto	30,42%
Retorno de la Inversión	27,37%
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 1132000
Tasa Interna de Retorno (TIR)	17,4%
Período de Retorno de la Inversión (PRI)	3,65 años

Tabla 4. Costo total directo de la planta

Costo Total Directo de la Planta (CTDP)	
Partidas del costo	USD
Costo de Adquisición del Equipamiento	219600
Instalación	137000
Tuberías	102000
Instrumentación	116000
Aislamiento	9000
Instalaciones eléctricas	29000
Edificaciones	131000
Mejoras del Terreno	44000
Servicios Auxiliares	116000
TOTAL	903000
Costo Total Indirecto de la Planta (CTIP)	
Ingeniería	244000
Construcción	341000
Pago al contratista	78000
Contingencias	156000
TOTAL	819000
Costo Total Directo de la Planta = CTDP + CTIP	1722000

Según se puede observar en la tabla 3, para una planta de producción de aceite de moringa con una inversión inicial de alrededor de USD \$ 2 millones, el proyecto puede clasificarse de rentable y factible desde el punto de vista económico, ya que el valor de PRI obtenido no supera los 5 años (3,65 años), la TIR es superior al 15% (17,4%), para una tasa de interés del banco del 6% y el VAN presenta valor positivo (USD \$ 1 132 000), lo cual es sinónimo de rentabilidad y ganancias [9].

Resultados obtenidos para el estudio de sensibilidad No. 1

En la figura 2 se observa que, a medida que aumenta el precio del aceite de Moringa, la Inversión Total y el Costo Neto de Operación se mantienen constantes, ya que no dependen del precio del aceite. Por tanto, un incremento del mismo no tendrá un efecto directo en el costo de inversión. Un comportamiento similar se

observa para el caso del Costo de Operación. En el caso de las Ganancias Anuales se observa que existe un incremento con el aumento del precio, caracterizado por un modelo lineal del tipo $G = 31060PM + 1000$, obtenido por análisis de regresión, donde G es la ganancia (en \$/año) y PM es el precio de la Moringa (en \$/kg).

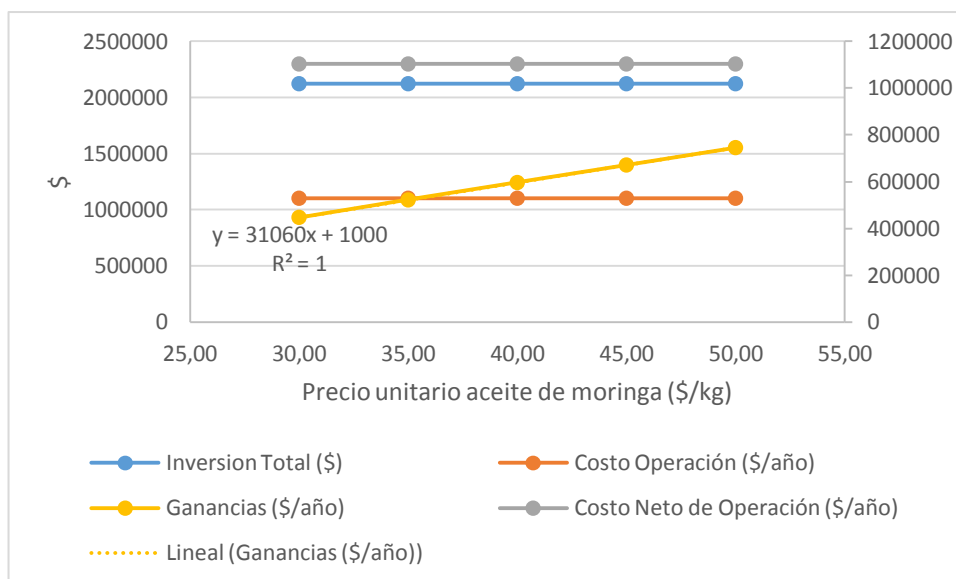


Figura 2. Costos de operación, ganancias e inversión en función del precio de venta de la Moringa.

La figura 3 muestra el punto de equilibrio a partir de donde se comienza a obtener ganancia, el cual corresponde a un precio unitario de 35 \$/kg. A partir de este valor, la ganancia unitaria comienza a ser superior al costo unitario, independientemente del costo unitario, el cual se mantiene constante. La utilidad bruta es la diferencia entre el ingreso monetario por ventas y el costo de ventas. El margen grueso o de utilidad bruta (GPM) se calcula como un porcentaje, esto es, se divide la utilidad bruta entre los ingresos por ventas.

$$GPM = (\text{Ingreso por ventas} - \text{costo de ventas}) / \text{Ingreso por ventas}.$$

El margen de utilidad es el resultado final de las estrategias de costo unitario y de volumen, así como de la estrategia de asignación de precios. Se aprecia en la Figura 3 que la ganancia unitaria es directamente proporcional al margen grueso.

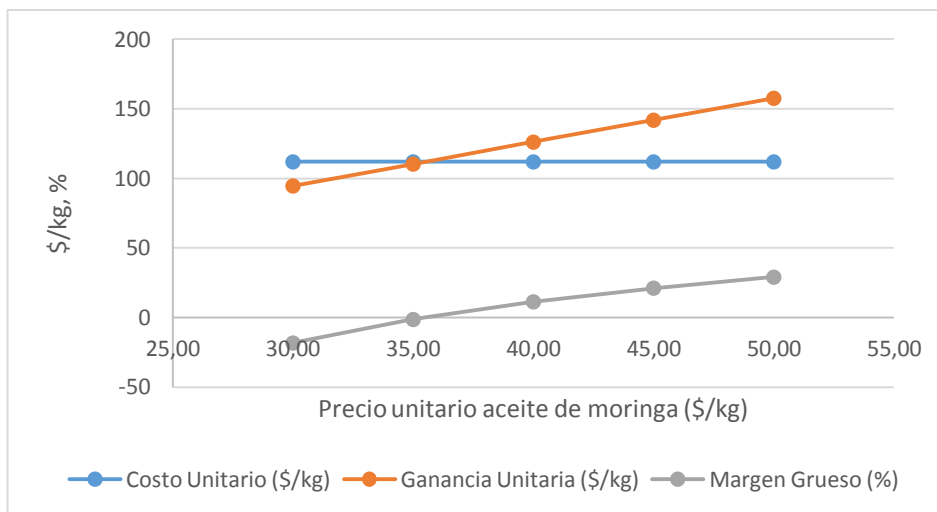


Figura 3. Costos unitarios, ganancia unitaria y margen grueso en función del precio de venta de la Moringa

La figura 4 muestra el comportamiento de los indicadores VAN, TIR y PRI en función del precio del aceite. En la misma se observa que el PRI disminuye a medida que aumenta el precio unitario del aceite de moringa. El indicador VAN muestra valores positivos para un precio de venta superior a 44,65 \$/kg, lo que indica que vender el aceite por debajo de este valor implicaría una pérdida para el proyecto. La TIR del proyecto es del 15%, superior en 9% a la tasa de interés fijada por el banco, lo que indica un beneficio financiero del proyecto. Estos resultados posibilitan gestionar la capacidad de la planta, otros suministradores de materias primas de diferentes calidades y costos así como el precio de venta de producto terminado, en niveles que no afecte la eficiencia económica de la inversión.

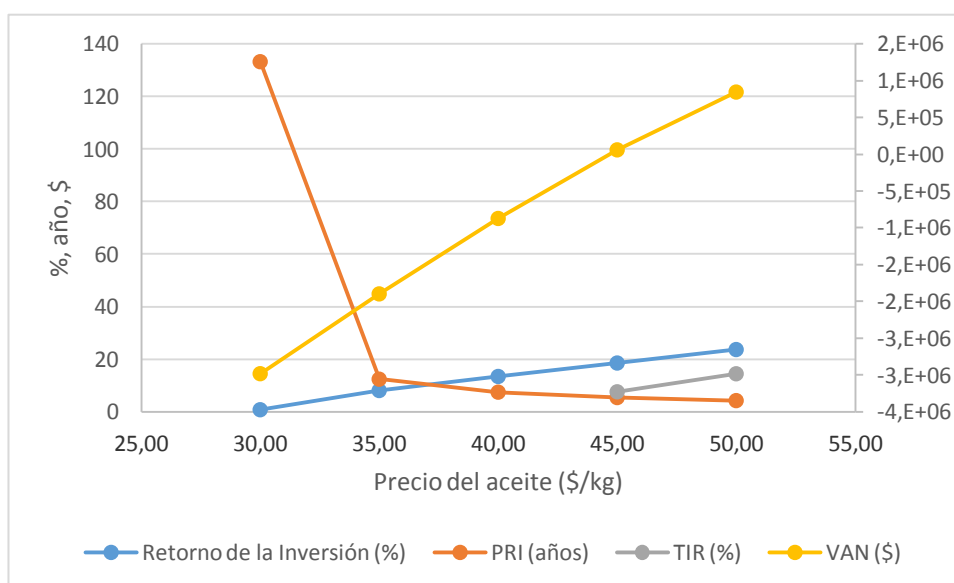


Figura 4. Indicadores dinámicos de la inversión en función del precio del aceite de

Resultados obtenidos para el estudio de sensibilidad No. 2

La figura 5 muestra el efecto del cambio en la capacidad de la planta sobre los principales indicadores económicos.

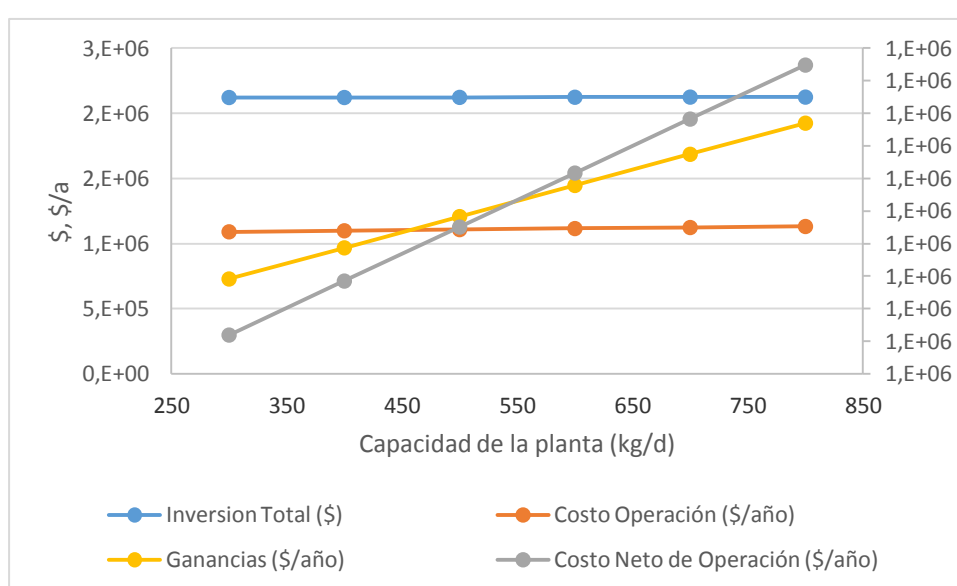


Figura 5. Efecto de la capacidad de la planta en los indicadores económicos

Los resultados muestran que, en el rango de estudio (300-800) kg/d, en la medida que se incrementa la capacidad de la planta, se incrementan las ganancias brutas y el costo neto de operación. De igual forma, se comportan la inversión y el costo de operación, solo que sus variaciones son tan pequeñas que su comportamiento tiende a ser constante en el rango de capacidades evaluadas.

En el caso de los indicadores dinámicos de la inversión (ver figura 6) se aprecia que todos aumentan con el incremento de la capacidad. Esto se debe a que la producción aumenta, incrementándose también los ingresos por concepto de venta del aceite.

Sin embargo, se observa que a partir de una capacidad superior a 581,98 kg/día el VAN toma valores positivos, lo que indica que, para el precio de 35 \$/kg la inversión no es rentable para capacidades menores de 581,98 kg/d.

Para el caso del PRI, se observa que es muy elevado para la capacidad de 300 kg/d lo que indica que no se debe trabajar a estos niveles. Posteriormente, disminuye considerablemente, hasta 2,87 años para una capacidad de 800 kg/d.

En el caso de la TIR se comporta aceptable para todas las capacidades evaluadas por encima de los 504,42 kg/d.

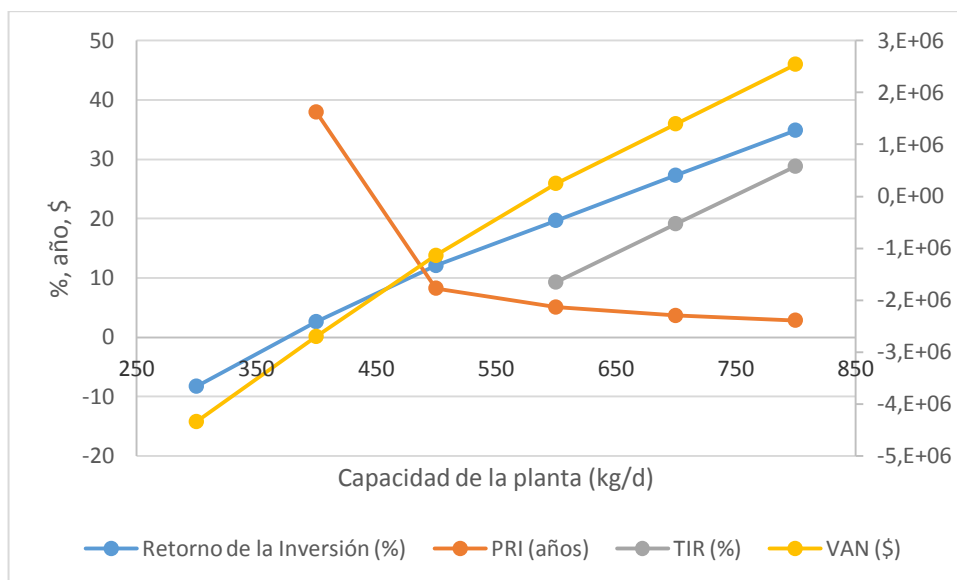


Figura 6. Indicadores dinámicos en función de la variación de capacidad

CONCLUSIONES

1. Se necesita una inversión de capital de USD \$ 1953000 para construir una planta de producción de aceite de moringa en Cuba.
2. Los principales resultados económicos obtenidos para el Caso Base fueron: VAN = \$ 1 132 000; TIR = 17,42%; y PRI = 3,65 años, lo cual califica al proyecto de rentable desde el punto de vista económico.
3. La simulación del proceso de extracción a escala industrial indica que se debe trabajar la planta a una capacidad por encima de 450 kg/d y un precio de venta del aceite de 35 \$/kg. A partir de estos criterios comienza a ser rentable la inversión.

BIBLIOGRAFÍA

1. GARCÍA, A. G., MARTÍNEZ, R. K. M., & RODRÍGUEZ, I. A. Evaluación de los usos potenciales del Teberinto (*Moringa oleífera*) como generador de materia prima para la industria química, Tesis de Pregrado, Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de los Alimentos, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. El Salvador, 2013.
2. PANIAGUA, A. et al. "Elaboración de aceite de semillas de *Moringa oleífera* para diferentes usos". Revista de Ciencias de la Salud. 2016, 3(9), 36-46.
3. AULI, N. A. et al. "Simulation Of Xylitol Production: A Review". Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2013, 7(5), 366-372.
4. TARAS, S.; WOINAROSCHY, A. "Multi-objective Optimization of Piruvic Acid Bioprocess with a Matlab-SuperPro Designer Interface". U.P.B. Sci. Bull. 2011, 73(3), 37-48.

5. PETRIDES, D. et al. "Biopharmaceutical Process Optimization with Simulation and Scheduling Tools". Bioengineering. 2014, 1, 154-187.
6. MALAKAHMAD A. et al. "Design and Process Simulation of a Small Scale Waste-To-Energy Bioreactor". Journal of Applied Sciences. 2012, 12(24), 2586-2591.
7. TARAS, S., WOINAROSCHY, A. "Multi-objective Optimization of Citric Acid Bioprocess: A Modern Approach". Rev. Chim. 2012. 63(1), 92-97.
8. PETERS, M. S., & TIMMERHAUS, K. D., Plant design and economics for chemical engineers. New York: ed. McGraw-Hill , 1991, 923 p. ISBN: 0-07-049613-7.
9. TOWLER, G., & SINNOT, R., Chemical Engineering Design. Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design, San Diego, California: ed. Butterworth-Heinemann , 2008, 1266 p. ISBN 13: 978-0-7506-8423-1.

Recibido: Noviembre 2017

Aprobado: Marzo 2018

DrC. Isnel Benítez-Cortés, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba.