

Optimization of Storage Centers of *Jatropha Curcas* in Manabí Ecuador

Optimización de Centros de Almacenamiento de *Jatropha Curcas* en Manabí Ecuador

Boris German¹

Karolina Toapanta¹
Edward Jiménez²

Sebastián Espinoza¹
Andrés Chico³

Ricardo Narváez¹

¹*Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), Quito, Ecuador*
E-mail: boris.german@iner.gob.ec; karolina.toapanta@iner.gob.ec; sebastian.espinoza@iner.gob.ec;
ricardo.narvaez@iner.gob.ec

²*Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador*
E-mail: ejimenez@uce.edu.ec

³*Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*
E-mail: andres.chico@epn.edu.ec

Abstract

The present work aims to provide an optimization model as a selection criterion for the approval of future storage centers of *Jatropha Curcas* in rural areas of Manabí. Fieldwork was carried out to establish and characterize the local supply chain. The data was complemented with a Geographic Information System (GIS) to define the objective function that determines the benefit associated with the production of *Jatropha* oil. The supply chain was optimized maximizing the benefits; a sensitivity analysis was added to find a decision criterion that determines the acceptance of future storage centers. Empirically implemented storage centers in existence cannot be eliminated or displaced due to social and economic implications, for this reason this centers were established as a baseline for the mathematical modeling. The location of the storage centers and the amount of *Jatropha* collected are strategic variables that determine the decision criteria of each zone. The results show that when the collection values were more dispersed, the acceptance criteria to evaluate the future centers of storage were stricter. Additionally, it was identified that transportation cost of the *Jatropha* seed is linked to the main productive activity of the farmers, which is corn production.

Index terms— supply chain, Linear programming, optimization, GIS, collection points, *Jatropha Curcas*, Ecuador

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar un modelo de optimización como criterio de selección para la aprobación de futuros centros de almacenamiento de *Jatropha Curcas* en áreas rurales de Manabí. Se llevó a cabo trabajo de campo para establecer y caracterizar la cadena de suministro local. Los datos se complementaron con un Sistema de Información Geográfica (SIG) para definir la función objetivo que determina el beneficio asociado a la producción de aceite de *Jatropha*. La cadena de suministro se optimizó maximizando los beneficios, se añadió un análisis de sensibilidad para encontrar un criterio de decisión que determine la aceptación de los futuros centros de almacenamiento. Existen centros de almacenamiento empíricamente implementados que, debido a los componentes sociales y económicos, no pueden ser eliminados o desplazados, bajo este contexto se estableció el punto de partida para la modelación matemática. La ubicación de los centros de almacenamiento y la cantidad de *Jatropha* recolectada son las variables estratégicas que determinan el criterio de decisión de cada zona, en cuanto más dispersos son los valores de recolección, más estrictos son los criterios de aceptación para evaluar los futuros centros de almacenamiento. Adicionalmente se identificó que el costo de transporte de la semilla de *Jatropha* se ve ligado a la principal actividad productiva de los agricultores, producción de maíz.

Palabras clave— Cadena de suministro, programación lineal, optimización, centros de almacenamiento, *Jatropha Curcas*, Manabí-Ecuador

Recibido: 06-05-2018, Aprobado tras revisión: 23-07-2018

Forma sugerida de citación: German, B.; Toapanta, K.; Espinoza, S; Narváez, R; Jiménez, E; Chico, A. (2018). "Optimización de Centros de Almacenamiento de *Jatropha Curcas* en Manabí Ecuador". Revista Técnica "energía". No. 15, Issue I, Pp. 21-29

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2018 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

Las cadenas de suministro pueden definirse como sistemas que están integrados por diferentes partes interesadas en la búsqueda de un objetivo común, mediante planificación y coordinación [1] [2]. El análisis tradicional de la cadena de suministro se apoya en modelos analíticos, determinísticos, estocásticos y económicos [3] [4]. Sin embargo, dichos modelos deben ser modificados para proporcionar soluciones en casos particulares, donde los enfoques de análisis tradicional no se aplican. El diseño y análisis de la cadena de suministro en escenarios rurales desafía los modelos tradicionales, sobre todo cuando se toma en cuenta la distribución aleatoria de la materia prima y se requiere definir centros de almacenamiento [5]. De hecho, las actividades rurales se basan en una logística compleja para proporcionar y transportar materias primas desde los centros de almacenamiento hasta el lugar de procesamiento [6] [7]. Un sistema logístico en áreas rurales generalmente enfrenta un suministro intermitente con altos costos de transporte y adquisición de materia prima. En consecuencia, es necesario tener en cuenta componentes económicos, medioambientales y sociales a fin de proporcionar a las empresas rurales estabilidad y sostenibilidad [8].

El sistema logístico de cultivos energéticos representa uno de los muchos casos relacionados con el análisis de la cadena de suministro en zonas rurales, que promueven el crecimiento económico y desarrollo social entre los diferentes interesados [9] [10]. Es preciso indicar que dicha cadena de suministro tiene un efecto multiplicador sobre el desarrollo de las comunidades rurales, puesto que agrupa la mano de obra en las etapas de crecimiento, cosecha, almacenamiento y transporte [11], convirtiéndose así en la principal actividad productiva de ciertas localidades rurales.

Las actividades relacionadas con los cultivos energéticos también pueden desarrollarse como actividades productivas secundarias que generan ingresos adicionales para los agricultores. Uno de los ejemplos de tales actividades secundarias es la recolección de semilla de *Jatropha Curcas* en Manabí-Ecuador, para la extracción de aceite. En Ecuador, la *Jatropha* no tiene un crecimiento formal, sino que se usa como cerca viva para dividir la tierra donde se cultivan productos tradicionales como el maíz. En tales circunstancias, el análisis de la cadena de suministro de los cultivos energéticos debe considerar la disponibilidad de los cultivos y la optimización de los centros de almacenamiento ya existentes [12].

El modelo de análisis de la cadena de suministro presentado en este trabajo proporciona a los interesados una herramienta de decisión para analizar la implementación de los futuros centros de almacenamiento de productos energéticos en áreas

rurales. Además, el modelo mencionado no excluye los centros de almacenamiento preestablecidos que actualmente están funcionando y generando ingresos [13] [14]. Este modelo se puede aplicar a cualquier sistema de cadena de suministro de características similares.

2. METODOLOGÍA

Para abordar el problema de la cadena de suministro de *Jatropha Curcas* en áreas rurales con poblaciones pobres, como la identificada en Manabí, se llevó a cabo un enfoque de investigación operativa, que definió una función objetiva sujeta a restricciones para adaptar dicho modelo matemático a la realidad existente de los centros de almacenamiento de *Jatropha* in situ. La función objetivo se optimizó utilizando la programación lineal a fin de maximizar los beneficios de la planta de extracción de aceite, y al mismo tiempo garantizar ingresos adicionales a los recolectores de fruto y/o semillas *Jatropha*. Para este objetivo se llevaron a cabo diferentes etapas, incluyendo trabajo en campo y modelado para la optimización. La notación utilizada en esta sección se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Notación

P_{PE}	Beneficio de la planta de extracción [\$]
p_{ac}	Precio de aceite de <i>Jatropha</i> [\$/kg]
p_t	Precio de torta de piñón [\$/kg] *
p_i	Precio de semilla seca de <i>jatropha</i> [\$/kg]
Q_T	Cantidad total de semilla seca de <i>Jatropha</i> [kg]
Q_i	Cantidad de semilla seca de <i>Jatropha</i> por centro de almacenamiento [kg]
d_i	Distancia entre el centro de almacenamiento y planta de extracción [km]
C_i	Costo de transporte [\$/kg km]
n	Número de centros de almacenamiento
E_{cost}	Costo de extracción [\$/kg]
Q_{MAX}	Límite de recolección superior de <i>Jatropha</i> por centro de almacenamiento [kg]
Q_{MIN}	Límite inferior de recolección de <i>Jatropha</i> por punto de recolección [kg]
U_i	Beneficio inicial [\$/year]
U_F	Beneficio final [\$/year]

2.1. Identificación de los puntos de recolección existentes usando GIS

Se llevó a cabo trabajo en campo en cada centro de almacenamiento que proporciona semilla de *jatropha Curcas* a la planta de extracción. Se determinó las

coordenadas de longitud y latitud utilizando un equipo Garmin Oregon® 650 Global Positioning System (GPS).

A fin de adquirir datos y una óptima identificación de rutas, la metodología desarrollada es compatible con el Sistema de Información Geográfica (SIG) [15] [16] [17] [18], es así que Las rutas disponibles entre los centros de almacenamiento y la planta de extracción se definió utilizando el software SIG (ArcGIS®).

Para el análisis vial se consideraron las carreteras principales con una infraestructura adecuada para el transporte, mientras que los caminos secundarios y terciarios se consideraron solo cuando las carreteras principales no eran disponibles, es preciso indicar que los caminos se clasificaron según los criterios del Instituto Geográfico Militar de Ecuador, es importante indicar que los datos tomados y evaluados en el presente trabajo corresponde a los centros de almacenamiento del año 2014- 2015.

2.2. Problema de optimización

La optimización de la cadena de suministro se concibió como una alternativa para proporcionar a los recolectores de semilla de *Jatropha* y a la planta extractora un criterio que respalde su crecimiento basado en la implementación de futuros centros de almacenamiento. Dicha optimización implica maximizar el beneficio de la planta de extracción y asegurar la recolección de *Jatropha* en las tres zonas (Norte, Centro y Sur) de Manabí. La información base sobre la cadena de suministro de *Jatropha* se recopiló a través de trabajo en campo y encuestas a diferentes actores involucrados en las etapas de recolección almacenamiento, transporte y extracción de aceite. La planta extractora de aceite de *Jatropha* es la única planta de procesamiento existente, la cual se abastece con la toda la materia prima recolectada.

Los beneficios de la planta extractora se considera por la comercialización del aceite de *Jatropha* y la torta residual del proceso que es considerado como abono. El precio de comercialización de los productos está asociado al costo de compra, recolección, almacenamiento y transporte de la semilla de *Jatropha*, es importante indicar que el costo de transporte de la semilla de *Jatropha* se ve afectado directamente, porque la recolección de *Jatropha* es una actividad secundaria para los agricultores, cabe mencionar que la recolección de *Jatropha* es un ingreso adicional que reciben los individuos dedicados al agro, ya que la semilla de *Jatropha* se obtiene de cercas vivas que dividen los cultivos principales de los agricultores.

Actualmente el aceite de *Jatropha* se usa como combustible ecológico renovable para la generación de energía eléctrica en las Islas Galápagos. La cantidad de semilla de *Jatropha* disponible en cada centro de almacenamiento es la principal variable de diseño para la formulación de la ecuación. Un aspecto adicional que se

debe indicar es que cada zona mantuvo sus centros de almacenamientos ya implementados empíricamente, los mismos que debido a componentes sociales, no pueden ser eliminados o desplazados, finalmente se evalúa la implementación de nuevos centro de almacenamiento por zona a lo largo de Manabí.

2.3. Modelo Matemático

La información recopilada sobre la cadena de suministro de extracción de aceite de *Jatropha*, sirvió como insumo para establecer la función objetivo, que describe los beneficios en función de los ingresos y los costos totales asociados a la cadena de suministro. Se utilizó métodos comunes de programación lineal para maximizar el beneficio de la planta extractora de aceite [19] [20] [21]. El modelo desarrollado se presenta a continuación:

Insumos

- Cantidad de semilla de *Jatropha* recolectada por cada centro de almacenamiento al año.
- Costo de la semilla y/o fruta de *Jatropha*.
- Distancias entre la planta de extracción y los centros de almacenamiento.
- Costo de transporte, desde los centros de almacenamiento hasta la planta de extracción.
- Costos de extracción del aceite de *Jatropha*.
- Rendimiento de aceite de *Jatropha* en función del proceso de extracción.
- Precio de venta de aceite de *Jatropha*.
- Precio de venta de torta de *Jatropha*.

Decisiones:

- Cantidad de semilla y o fruta de *Jatropha* transportada desde cada centro de acopio a la planta de extracción por año.
- Cantidad de aceite de *Jatropha* producida al año.
- Cantidad de semilla de *Jatropha* requerida en cada nuevo centro de acopio.

Consideraciones

- La planta extractora de aceite es la única que compra fruta y/o semilla de *Jatropha* producida en Manabí.
- El rendimiento del proceso de extracción es 0.3 [kg de aceite / kg de semilla de *Jatropha*]
- El crecimiento potencial por punto de recolección y zonas es 10% por año.

Ecuación de optimización

$$P_{PE} = 0.3 \sum_{i=1}^n p_{ac} Q_i + 0.7 \sum_{i=1}^n p_t Q_i - \sum_{i=1}^n p_i Q_i - \sum_{i=1}^n C_i d_i Q_i - \sum_{i=1}^n Q_i E_{costs} \quad (1)$$

La función objetivo (1) considera todos los centros de almacenamiento que fueron identificados y caracterizados in-situ. Los ingresos totales están dados



por la comercialización del aceite de Jatropha $0.3 \sum_{i=1}^n p_{ac} Q_i$ y torta de Jatropha $0.7 \sum_{i=1}^n p_t Q_i$ total. Mientras que, los costos totales consideraron la fruta y/o semilla de Jatropha adquirida en los centros de almacenamiento $\sum_{i=1}^n p_i Q_i$, costo de transporte $\sum_{i=1}^n C_i d_i Q_i$ y costo de procesamiento en planta $\sum_{i=1}^n Q_i E_{costs}$.

Restricciones de la función objetivo

La cantidad de Jatropha recolectada está limitada por las capacidades de cada uno de los centros de almacenamiento, y cada zona de análisis es un caso particular en el que existe un centro de almacenamiento de menor recolección de semilla y/o fruta de jatropha (Q_{MIN}), así como uno de mayor recolección de semilla y/o fruta de jatropha (Q_{MAX}). El límite superior se definió considerando un aumento del 10% en la capacidad de recolección y almacenamiento de cada centro, Asimismo se consideró un incremento potencial del 10% en la capacidad de recolección de cada zona, este aumento representa las oportunidades de crecimiento para el futuro y las restricciones del modelo matemático se representan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 Q_1; Q_2; \dots Q_i &\leq Q_{MAX} * 1,1 & (2) \\
 Q_1; Q_2; \dots Q_i &\geq Q_{MIN} & (3) \\
 Q_T &\geq \sum Q_i & (4) \\
 Q_T &\leq \sum Q_i * 1,1 & (5) \\
 Q_T, Q_i &\geq 0 & (6)
 \end{aligned}$$

2.4. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realizó tomando en cuenta la agrupación de los centros de almacenamiento por zona (norte, centro y sur), el modelo matemático propuesto determinó el máximo beneficio de la planta de extracción que está dado por la suma de la utilidad generada en cada zona de influencia $U_i; 1,2,3$; es decir la utilidad total está dada por $U_t = U_1 + U_2 + U_3$

La variación del beneficio se midió, mediante la exclusión de cada centro de almacenamiento a la vez, esto dio a conocer la influencia que tiene cada centro en la utilidad de cada zona.

Criterio de decisión para la evaluación de futuros centros de almacenamiento

Para analizar la viabilidad de implementar potenciales centros de almacenamiento en cada zona, se consideró en primer lugar, la ubicación del futuro centro de almacenamiento, así como su distancia hasta la planta de extracción. Con estimaciones de cantidad de recolección se determinan las variables requeridas en el modelo matemático, considerando que solo se receptorá semilla de Jatropha.

Se incluye los datos del potencial centro de almacenamiento al modelo matemático, para determinar el nuevo beneficio de la zona, al cual se define como U_f . Para que el centro de almacenamiento sea aceptado, su

beneficio final debe ser al menos un 10 % mayor al beneficio inicial.

$$U_f \geq U_i * 1.1 \tag{7}$$

En consecuencia, se espera que cualquier nuevo centro de almacenamiento aceptado aumente los beneficios de la zona geográfica a la que pertenece. Dentro de estas condiciones, se evalúan nuevos centros de almacenamiento en cada, hasta definir los requisitos para su aceptación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Identificación de los puntos de recolección existentes usando GIS

A través de Sistemas de Información Geográfica (GIS), se identificaron 20 centros de almacenamiento de Jatropha a lo largo de Manabí. Entre los diferentes centros de almacenamiento se consideró 7 centros en la zona norte, 9 en la zona central y 11 centros en el sur. La ubicación, la cantidad de Jatropha recolectada, la distancia entre los centros de almacenamiento y la planta de extracción y los costos de transporte para cada zona, se presentan en las Tablas 2,3,4 y Fig. 2.

Tabla 1. Identificación y características de los centros de almacenamientos localizados en la zona norte

Centros de Almacenamiento	Cantidad [kg]	Distancia [Km]	Costo de transporte [USD/kg Km]
Asociación Agropecuaria Copetón	561.90	73.69	1.45E-03
Comité Agrícola la Diferencia Productiva Boyaca	21247.11	92.58	9.15E-05
Unión de Organizaciones Campesinas San Isidro	7541.44	114.43	1.74E-04
Asociación Agrícola Rosa Blanca	687.36	94.84	1.53E-03
Comuna los Caras	3784.16	112.03	2.83E-04
Tosagua	2488.38	57.18	7.03E-04
Asociación Agrícola Río Canuto	363.60	67.37	2.04E-03

Tabla 2. Identificación y características de los centros de almacenamiento localizados en la zona centro

Centros de Almacenamiento	Cantidad [kg]	Distancia [Km]	Costo de transporte [USD/kg Km]
Cerro Verde	2167.33	60.52	6.10E-04
La Atravesada	5669.07	64.39	8.22E-05
Comuna Danzarín	959.09	40.30	9.06E-04
Asociación Las Flores	222.20	37.85	3.57E-03



Tabla 3. Identificación y características de los centros de almacenamiento localizados en la zona sur

Centros de Almacenamiento	Cantidad [kg]	Distancia [Km]	Costo de transporte [USD/kg Km]
Recinto Sandial	4445.92	56.58	8.75E-04
Comunidad Cerrito de la Asunción	247.90	48.50	1.66E-02

Sancan- Sancan	8420.84	48.99	5.33E-04
Mero Seco	1014.02	84.38	3.04E-03
ComercialCastillo Bustamante	1501.70	66.21	2.51E-03
Colime San Antonio	318.00	96.72	9.75E-03
Guale	524.19	127.38	4.49E-03
Comercial Isidro Arguello	6335.89	140.44	3.93E-04
El Pescador Olmedo	799.47	38.96	5.78E-03

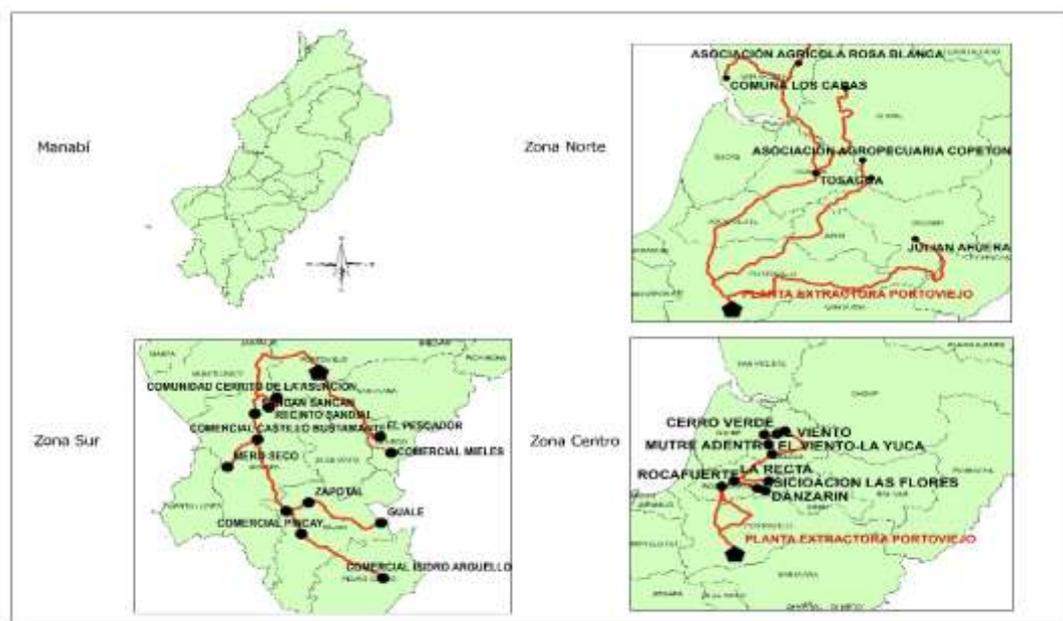


Figura 1. Mapa ubicación de centros de almacenamiento

La información presentada en los Cuadros 2, 3 y 4 evidencia una variación importante de los costos de transporte de la cadena de suministro, en cada zona, por ejemplo para los centros de almacenamiento de la zona sur, Comunidad Cerrito de la Asunción y Sancan-Sancan, la distancias a la planta extractora de aceite es 48.5 km y 48.9 km respectivamente, con una diferencia de casi 1%, Sin embargo, la diferencia entre el costo del transporte, 4.21 [\$/ km] y 4.49 [\$/ km], es aproximadamente del 8%. Del mismo modo, existen diferencias importantes en el costo de transporte de Jatropha entre otros centros de almacenamiento de las zonas, incluso si están ubicadas a distancias similares de la planta de extracción, otro ejemplo es al comparar el centro de almacenamiento Asociación Agrícola Rosa Blanca ubicado en la zona norte, con Colime San Antonio en la zona sur, con un 2% de diferencia en la distancia a la planta de extracción, pero con una diferencia del 84% en los costos de transporte Este comportamiento se explica por la negociación directa existente entre los recolectores y los transportistas, y por el hecho de que la Jatropha no es el cultivo principal del área, a menudo se transporta junto

con otros cultivos como el maíz, que es el producto que define el costos de transporte de Jatropha.

Optimización del problema excluyendo un centro de almacenamiento a la vez

Los resultados de la optimización de la función objetivo para cada zona se presentan en la Tabla 5.

Tabla 4. Resultados de optimización en cada zona

Zona	Beneficio [\$/year]
North	5 801,47
Central	1 445,58
South	2 289,58
Total	9 536,63

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad realizado implicó la determinación del beneficio generado en cada zona, excluyendo un centro de almacenamiento a la vez, los beneficios resultantes se presentan en las figuras 4,5 y 6.



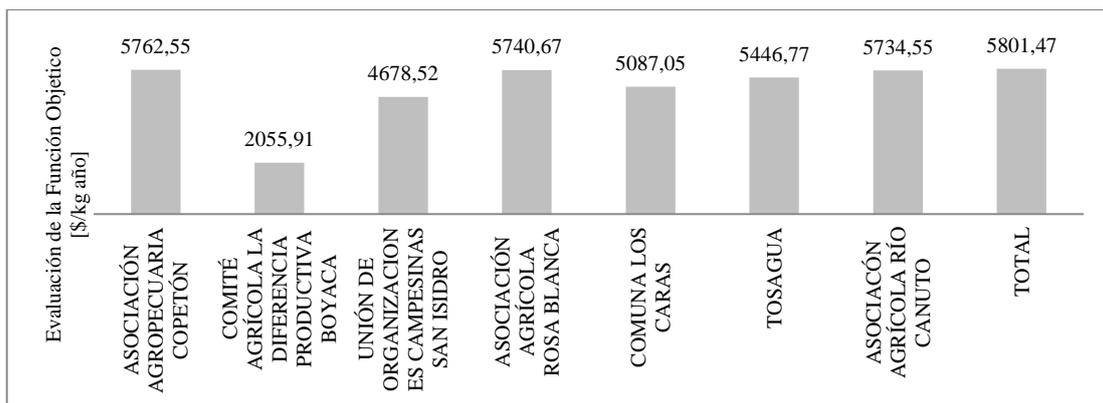


Figura. 4. Análisis de sensibilidad zona norte

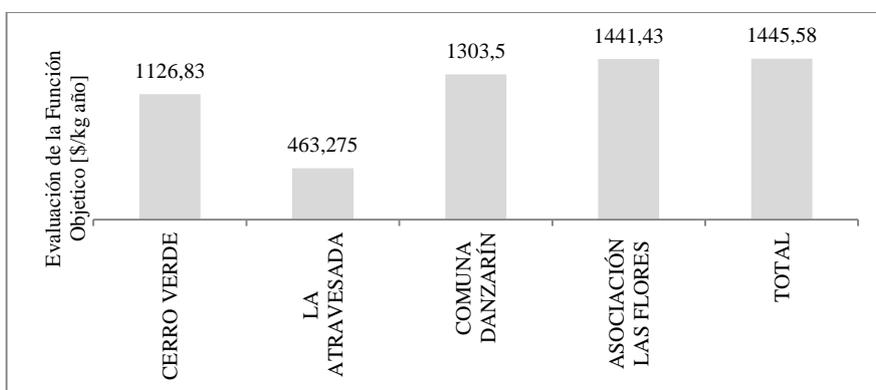


Figura. 5. Análisis de sensibilidad zona centro

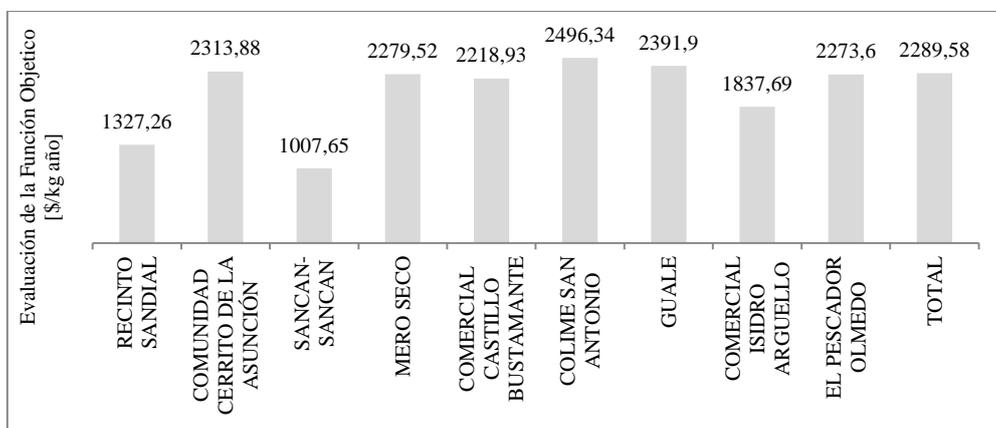


Figura. 6. Análisis de sensibilidad zona sur

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que cuando se evalúa la función objetivo sin el mayor centro de almacenamiento en cada zona, la ganancia baja a un valor mínimo. En la zona norte, tal como se presenta en la Fig. 4, al excluir el centro de almacenamiento Boyaca, la ganancia baja un 35%. De manera similar, los mayores centros de almacenamiento en la zona central (La Atravesada) y sur (SANCAN-SANCAN) generan una reducción del 32% y 44% respectivamente. Estos resultados muestran que para la cadena de suministro de Jatropha existente en Manabí, el beneficio de la planta de

extracción de aceite depende principalmente de un centro de almacenamiento por zona. Tal comportamiento evidencia que el beneficio de la planta extractora depende en gran medida de la cantidad de materia prima y sus precios asociados.

Criterio de selección sobre futuros centros de almacenamiento

El criterio considerado para analizar la viabilidad de nuevos centros de almacenamiento considera una



ganancia mínima que cada nuevo centro de almacenamiento debe cumplir para ser aceptado. La Fig. 7 evidencia tal criterio que involucran el beneficio total de cada zona y el 10 % adicional que debe aportar en la ganancia total. El criterio $U_f \geq U_l * 1.1$ garantiza que la

implementación de nuevos centros de almacenamiento aumentara la capacidad productiva y económica de cada zona.

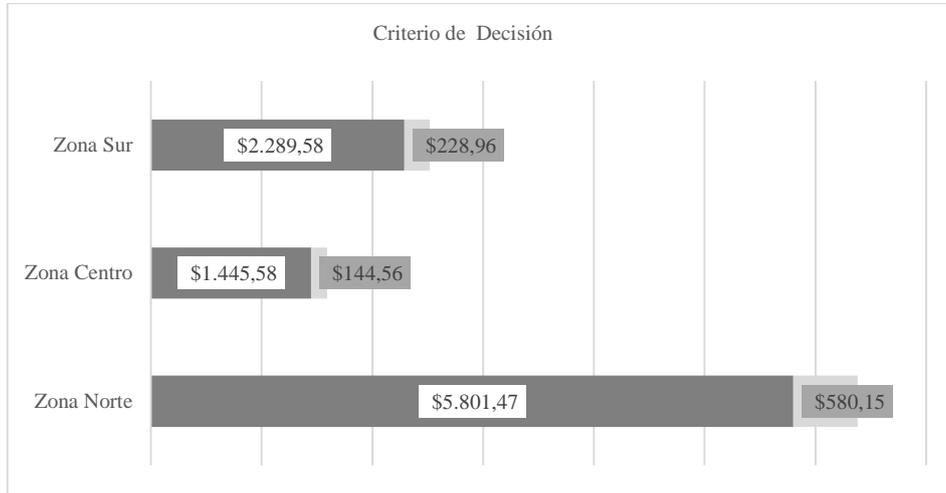


Figura 7. Criterio de decisión para la aceptación de nuevos centros de almacenamiento

Evaluación de nuevos centros de almacenamiento

Los resultados de la evaluación que considera variaciones en la cantidad de Jatropha recolectada se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Evaluación de nuevo centro de almacenamiento zona norte

Zona Norte				
Potencial centro de almacenamiento: Julián Afuera				
	Recolección [kg]	Beneficio [\$ /year]	$U_f \geq U_l * 1.1$ [\$ /year]	Decisión
Escenario 1	4 000	6 377,74	580,147	Denegado
Escenario 2	4 100	6 392,78		Aprobado
Escenario 3	4 500	6 452,90		Aprobado

Tabla 6. Evaluación de nuevo centro de almacenamiento zona centro

Zona Centro				
Potencial centro de almacenamiento: San Miguel				
	Recolección [kg]	Beneficio [\$ /year]	$U_f \geq U_l * 1.1$ [\$ /year]	Decisión
Escenario 1	1 100	1 588,90	144,56	Denegado
Escenario 2	1 200	1 604,28		Aprobado
Escenario 3	1 500	1 649,9		Aprobado

Tabla 7. Evaluación de nuevo centro de almacenamiento zona centro

Zona Sur				
Potencial centro de almacenamiento: Zapotal				
	Recolección [kg]	Beneficio [\$ /year]	$U_f \geq U_l * 1.1$ [\$ /year]	Decisión
Escenario 1	4 500	2 505,10	228,96	Denegado
Escenario 2	5 000	2 529,79		Aprobado
Escenario 3	5 400	2 553,29		Aprobado

Las Tablas 5,6 y 7 evidencian que los nuevos centros de almacenamiento se pueden establecer en las diferentes zonas siempre que se recolecte una cantidad mínima de Jatropha. Para el nuevo centro de almacenamiento de la zona norte, se requieren recolectar cerca de 4 100 [kg / año] para cumplir con el criterio de decisión. De manera similar, se requieren recolectar 1 200 [kg / año] y 5 000 [kg / año] de Jatropha para los centros de almacenamiento San Miguel tres charcos y Zapotal de las zonas centro y sur respectivamente.

4. CONCLUSIONES

La función objetivo desarrollada se puede usar para evaluar la factibilidad de implementar nuevos centros de almacenamiento de Jatropha Curcas en áreas rurales. En dicha decisión, se debe considerar la cantidad de Jatropha recolectada y la ganancia resultante generada por la venta del aceite extraído y la torta residual de extracción.



La optimización por zonas representó ser una alternativa adecuada para analizar y mejorar la cadena de suministro de la planta de extracción de aceite de piñón, existente en Manabí. El beneficio máximo obtenido con esta optimización fue de casi 9 536,63 [\$ / año]. En consecuencia, las restricciones específicas deben determinarse en cada zona de interés.

La zona norte tiene la mayor cantidad de recolección de *Jatropha* con el 69%, seguida por la zona central con el 14% y la zona sur con el 17%.

El modelo matemático aplicado para determinar la aprobación del nuevo centro de almacenamiento Julián afuera de la zona norte, indica que a la distancia preestablecida, debe recolectar al menos 4 100 Kg de semilla de *jatropha* para ser aceptado. Bajo el mismo criterio el centro de almacenamiento san Miguel de los tres Charcos debe recolectar 1 200 Kg de semilla de *Jatropha* para ser aceptado y el centro de almacenamiento Zapotal debe recolectar 5 000 Kg de semilla de *Jatropha* para ser aceptado para las zonas centro y sur respectivamente.

La recolección de *Jatropha curcas* no es la principal actividad productiva en Manabí, por lo que los costos de transporte de *Jatropha* se basan en el transporte de otros productos asociados, un ejemplo es el maíz, el cual determina el costo total del transporte

La ubicación de los centros de almacenaje y la cantidad de *Jatropha* recolectada son las variables estratégicas que determinan el modelo matemático, y permiten proyectar los valores requeridos en la evaluación de futuros centros de almacenaje para cada zona.

REFERENCIAS

- [1] Achten, W., Mathijs, E., Verchot, L., Singh, V., Aerts, R., Muys, B., Ravindranath, N. H. (2007). *Jatropha* biodiesel fueling sustainability Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 1(4), 283–291.
- [2] Andersen, F., Iturmendi, F., Espinosa, S., & Diaz, M. S. (2012). Optimal design and planning of biodiesel supply chain with land competition. *Computers & Chemical Engineering*, 47, 170–182.
- [3] Beamon, B. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International journal of production economics*, 55. Retrieved from
- [4] Chen, C.-L., & Lee, W.-C. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6-7), 1131–1144.
- [5] Church, R. L. (2002). Geographical information systems and location science. *computers and operations research*, 29, 541–562.
- [6] Fiorese, G., & Guariso, G. (2010). A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale. *Environmental Modelling & Software*, 25(6), 702–711. doi:10.1016/j.envsoft.2009.11.008
- [7] Frombo, F., Minciardi, R., Robba, M., & Sacile, R. (2009). A decision support system for planning biomass-based energy production. *Energy*, 34(3), 362–369. doi:10.1016/j.energy.2008.10.012
- [8] Gold, S., & Seuring, S. (2011). Supply chain and logistics issues of bio-energy production. *Journal of Cleaner Production*, 19(1), 32–42. doi:10.1016/j.jclepro.2010.08.009
- [9] Hageback, C., & Segerstedt, A. (2004). The need for co-distribution in rural areas—a study of Pajala in Sweden. *International Journal of Production Economics*, 89(2), 153–163. doi:10.1016/j.ijpe.2003.10.006
- [10] Hifi, M., & M'Hallah, R. (2009). A Literature Review on Circle and Sphere Packing Problems: Models and Methodologies. *Advances in Operations Research*, 2009, 1–22. doi:10.1155/2009/150624
- [11] Huang, Y., Chen, C.-W., & Fan, Y. (2010). Multistage optimization of the supply chains of biofuels. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 820–830. doi:10.1016/j.tre.2010.03.002
- [12] Iakovou, E., Karagiannidis, a., Vlachos, D., Toka, a., & Malamakis, a. (2010). Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis. *Waste Management*, 30(10), 1860–1870. doi:10.1016/j.wasman.2010.02.030
- [13] Jarosz, L. (2000). Understanding agri-food networks as social relations. *Agriculture and Human Values*, 279–283.
- [14] Ora, O. X. (1997). EUROPEAN ENERGY CROPS :A synthesis. *A. Biomass and Bioenergy*, 13(3).
- [15] Rodríguez, V. M., & Belgrano, U. De. (2008). DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE APOYO A LAS DECISIONES BASADO EN EL MODELO DE TRANSPORTE Enrique Yacuzzi (Universidad del CEMA) Víctor M. Rodríguez (Universidad de Belgrano). Universidad del CEMA, 1–33.
- [16] Sakawa, M. (2001). Interactive fuzzy programming for two-level linear and linear fractional production and assignment problems : A case study. *European Journal of Operational Research*, 135, 142–157.
- [17] Spekman, R. E., Jr, J. W. K., & Myhr, N. (2005). An empirical investigation into supply chain management : a perspective on partnerships. *Supply Chain Management : An International Journal*.
- [18] Voivontas, D., Assimacopoulos, D., & Koukios, E. G. (2001). Assessment of biomass potential for power production : a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, 20, 101–112.

- [19] Wang, X., Yu, S., & Huang, G. H. (2004). Land allocation based on integrated GIS-optimization modeling at a watershed level. *Landscape and Urban Planning*, 66(2), 61–74.
- [20] You, F., & Wang, B. (2011). Life Cycle Optimization of Biomass-to-Liquid Supply Chains with Distributed to Centralized Processing Networks. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 10102–10127.
- [21] Zhu, X., Li, X., Yao, Q., & Chen, Y. (2011). Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry. *Bioresource technology*, 102(2), 1344–51.



Boris German. - Nació en Ecuador, Ibarra en 1990. Recibió su título de Ingeniero Químico de la Universidad Central del Ecuador en 2014. Analista de la innovación en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). su campo de investigación

se basa en analizar el potencial energético contenido en la biomasa



Edward Jiménez. - Nació en Quito Ecuador. Recibió su título de PhD en Matemáticas Aplicadas de la Université Jean Monnet Saint-Etienne. Actualmente, es Docente de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador.



Andrés Chico. - Nació en Quito, Ecuador. Realizó sus estudios de pregrado en Ingeniería Química en la Escuela Politécnica Nacional y de posgrado en la Universidad de Surrey-Inglaterra, en donde obtuvo la Maestría en Ingeniería de Procesos y Sistemas Ambientales. Actualmente, está vinculado como

docente e investigador a la Escuela Politécnica Nacional y se encuentra realizando sus estudios doctorales en optimización de biorefinerías en el CPSE de University of College London.



Karolina Toapanta. - Nació en Machachi, Ecuador en 1991. Egreso de la carrera de Ingeniería Matemática de la Universidad Central del Ecuador. Asistente Técnico del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, colaborando en el proyecto “Estudio de Optimización Energética de Cadenas Logísticas de Transporte de Carga Pesada”. Su experiencia laboral se enfoca en el análisis y desarrollo de modelos matemáticos para optimización, así como el apoyo técnico en el área de matemática para los diferentes proyectos que se desarrollan en el Instituto.



Sebastián Espinoza. - Estudió Ingeniería Química en el Escuela Politécnica Nacional en Quito, Ecuador. Tiene una maestría en Ingeniería Industrial en Northeastern University en Boston, Massachusetts, Estados Unidos. Fue asistente de investigación en Northeastern University e investigador en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) en temas de análisis de ciclo de vida, biomasa, y prospectiva energética. Actualmente es Director de Difusión y Gestión de la Información en INER, donde coordina la línea de investigación de Balance Energético y Prospectiva Energética.



Ricardo Narváez. - Nació en Quito Ecuador. Recibió su título de PhD en Electronic & Electrical Engineering de Loughborough University, realizó un posgrado en energías renovables de en Loughborough University. Actualmente, es Docente de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador y Director Ejecutivo del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.