

Localización óptima de una planta para la producción de turbosina renovable

ROMERO, Araceli†, GÓMEZ, Fernando, GUTIÉRREZ, Claudia, HERNÁNDEZ, Salvador

Recibido 29 de Junio, 2016; Aceptado 23 de Septiembre, 2016

Abstract

In Bolivia we can see that there is a moment of careless hygienic cover and satisfy basic needs for the proper development of the individual. Also have been reported a high level of toxoplasmosis presented makes the authorities begin to emphasize preventive programs. This research focused on the pregnant aimed to determine the prevalence of the disease toxoplasmosis in pregnant women attending the Obstetric Gynecology hospital July to December 2008.

Hygienic cover, toxoplasmosis, pregnant women

Resumen

En Bolivia podemos ver que hay un descuido en la higiene y satisfacción las necesidades básicas para el correcto desarrollo de la persona. También se han reportado un alto nivel de toxoplasmosis presentado ante las autoridades para que empiezen programas preventivos. Esta investigación se centró en la embarazada como objetivo determinar la prevalencia de la toxoplasmosis enfermedad en mujeres embarazadas que acuden al hospital de obstetricia Ginecología 07-diciembre 2008.

Higiene, toxoplasmosis, mujeres embarazadas

Citación: ROMERO, Araceli, GÓMEZ, Fernando, GUTIÉRREZ, Claudia, HERNÁNDEZ, Salvador. Localización óptima de una planta para la producción de turbosina renovable. Revista de Simulación y Laboratorio. 2016, 3-9:8-15

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

El sector de la aviación es responsable por cerca del 2% de las emisiones totales de CO₂ producidas por el hombre. Este porcentaje es pequeño; sin embargo, las estimaciones indican que en 2020 las emisiones de este sector serán 700% más grandes que en 2005, incluso si la eficiencia de los motores se incrementa 2% cada año [1]. Ante esto la Agencia Internacional de Transporte Aéreo, IATA, y la Organización Internacional de Aviación Civil, OACI, han establecido una estrategia de cuatro pilares para combatir este problema [2]; dicha estrategia incluye mejoras tecnológicas y operacionales, medidas basadas en el mercado de los combustibles e innovación en combustibles alternativos.

La IATA ha identificado a los combustibles alternativos como los más promisorios para reducir significativamente las emisiones de CO₂ [3]. Es por ello que muchos de los esfuerzos han sido enfocados en el desarrollo de procesos para producir turbosina de carácter renovable a partir de aceites vegetales no comestibles. Actualmente, existen en el mundo cinco procesos para producir bioturbosina, siendo el proceso de hidrotratamiento el que cuenta con mayor grado de avance en investigación y desarrollo comercial.

El proceso de hidrotratamiento consiste en dos zonas reactivas y una zona de separación. En la primera zona (hidrotratamiento) se lleva a cabo la transformación de los aceites vegetales a través de reacciones de hidroxigenación, generando hidrocarburos de cadena larga; después, estos hidrocarburos son isomerizados e hidrocraqueados en un segundo reactor para generar hidrocarburos en el rango del punto de ebullición de la turbosina.

Finalmente, la corriente de hidrocarburos es separada para obtener componentes ligeros, naftas, bioturbosina y diésel verde.

El modelado de este proceso ha sido reportado previamente, [4] utilizando como materia prima aceite vegetal de *Jatropha curcas* mexicana. Asimismo, los costos asociados con los equipos de proceso, los servicios requeridos (vapor de calentamiento y agua de enfriamiento), y otros insumos importantes, como el hidrógeno, ya han sido estimados. Sin embargo, la potencial localización de una planta productora de bioturbosina considerando la ubicación de los sitios de venta de la materia prima así como los centros de distribución (aeropuertos) del biocombustible no han sido considerados.

La localización de plantas de procesamiento constituye uno de los principales factores en la puesta en marcha de un proyecto productivo; entendiendo que la mejor decisión será aquella capaz de cumplir tanto con todas las condiciones impuestas y requeridas, así como con la maximización o minimización de los criterios sobre los que se elige tomar tal decisión [5].

Actualmente, el criterio económico rige la forma convencional de llevar a cabo la localización de plantas industriales, donde el sitio ideal corresponde al del mínimo costo posible; siendo considerados comúnmente aspectos relacionados a los costos del terreno, transporte de las materias primas, y de los productos obtenidos hasta los clientes. No obstante, en trabajos recientes, la minimización del impacto ambiental derivado de instalar la planta ha sido considerado [6].

Un modelo de localización debe considerar la continuidad en la suficiencia y la disponibilidad de los suministros necesarios, además de su costo.

Una de las estrategias que permite abordar este tipo de problemas es la optimización matemática. Ésta ha sido utilizada para modelar y resolver problemas para maximizar (ganancia, eficiencia, etc.) o minimizar un objetivo determinado (costos, tiempo, riesgo, error, etc.), tomando en cuenta las restricciones del problema [7]. En particular, la programación disjuntiva generalizada (GDP) es una estrategia de la optimización matemática introducida para representar problemas de optimización con variables continuas y discretas. En términos generales este método consiste en representar decisiones discretas en el espacio continuo, a través de disyunciones, y manejar las restricciones en espacio discreto con el uso de proposiciones lógicas [8].

La GDP permite abordar problemas de redes de procesos, distribución de productos y localización de plantas de procesamiento, maximizando ganancias y minimizando tiempo y costos relacionados [9].

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo la determinación de la localización óptima de una planta de producción de turbosina renovable, utilizando GDP como estrategia de optimización matemática.

El planteamiento del problema se presenta en la primera sección de este documento. El modelo de programación mixta entera lineal (MILP) junto con su implementación en el software comercial GAMS es descrito posteriormente. Finalmente son presentados y discutidos los resultados obtenidos.

Planteamiento del Problema

El modelo de localización de la planta de turbosina renovable, a partir de *Jatropha curcas* mexicana [4], considera tres posibles sitios de ubicación.

Dichos sitios se seleccionaron con base en sus características económicas (estados con alto crecimiento económico [10]) y geográficas (infraestructura carretera con acceso a los principales destinos comerciales [11], [12]) promisorias: Querétaro, Nuevo León y Jalisco, agrupados en el conjunto (j). Asimismo, la Tabla 1 presenta los siete estados seleccionados para la venta del aceite vegetal (conjunto i), de acuerdo al potencial productivo [13]. Por otro lado, para la distribución de la bioturbosina se proponen doce aeropuertos en México (conjunto k), en función de la demanda que presentan [14], Tabla 2. Cabe mencionar que los aeropuertos mexicanos son calificados como centros de distribución del combustible de aviación de acuerdo con ASA (Aeropuertos y Servicios Auxiliares). En la Figura 1 se muestra el esquema del problema de localización.

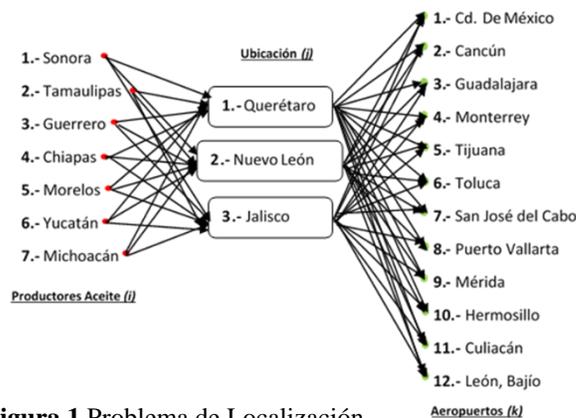


Figura 1 Problema de Localización

El objetivo de este problema es determinar la localización óptima de la planta de producción de turbosina renovable minimizando su costo total anual. Los factores a considerar en la minimización del costo total anual incluyen el costo del terreno (CT_j , Tabla 3), el costo del transporte desde el sitio de venta de la materia prima hasta la posible ubicación de la planta (CP_{ij} , Tabla 4), el costo desde la posible planta hasta los centros de distribución propuestos (CD_{jk}), Tabla 5, y el costo de operación de la planta (CPE , Tabla 6).

El CPE, de acuerdo con lo reportado en [4], considera el procesamiento de 876,000 kg de aceite vegetal para obtener 162,207 kg de bioturbosina anuales.

La extensión de los terrenos propuestos ha sido considerada de 2639 m². Asimismo, se considera que la materia prima y la bioturbosina serán transportadas vía terrestre como líquidos especiales; por ello su costo se ha supuesto igual, siendo de \$3.717 MX por kilómetro por tonelada.

Para la anualización de los costos fijos de la planta se consideró una tasa de retorno de la inversión de 5 años.

Estado	Potencial de siembra (Ha)	Semillas (Ton/Ha)	Potencial de Aceite (Ton)
Sinaloa	557,641.00	2,788,205.00	1,115,282.00
Tamaulipas	317,690.00	1,588,450.00	635,380.00
Guerrero	282,158.00	1,410,790.00	564,316.00
Chiapas	230,273.00	1,151,365.00	460,546.00
Morelos	21,710.00	108,550.00	43,420.00
Yucatán	174,005.00	870,025.00	348,010.00
Michoacán	197,288.00	986,440.00	394,576.00

Tabla 1 Potencial Productivo Aceite *J. curcas* [13]

Estado	Litros Requeridos Turbosina/ año	Litros de Bioturbosina/año (mezclas 50%/50% ASTM)
Ciudad de México	236,305,922.00	118,152,961.00
Cancún	137,796,307.00	68,898,153.50
Guadalajara	43,834,480.00	21,917,240.00
Monterrey	30,834,563.00	15,417,281.50
Tijuana	24,710,523.00	12,355,261.50
Toluca	12,109,122.00	6,054,561.00
San José del Cabo	18,558,627.00	9,279,313.50
Puerto Vallarta	27,879,488.00	13,939,744.00
Mérida	7,952,891.00	3,976,445.50
Hermosillo	6,320,023.00	3,160,011.50
Culiacán	5,720,882.00	2,860,441.00
Bajío	7,342,071.00	3,671,035.50

Tabla 2 Demanda Turbosina, 2015 [14]

Posible Ubicación	Parque Industrial	Dirección	\$USD/m ²
Querétaro	Parque Industrial Querétaro	Parque Industrial Querétaro, Av. La Montaña No. 100, Rosa Jáuregui, 76220 Santiago de Querétaro, Qro.	70
Nuevo León	Airport Technology Park	Pesquería, Nuevo León, C.P. 66657	54
Jalisco	Guadalajara Technology Park	Carretera a Nogales km 13.5, Zapopan, Jalisco	5.7

Tabla 3 Posible Ubicación Planta, Costos Terrenos

Productores Materia Prima	Posible Ubicación Planta Bioturbosina					
	Querétaro (km)	Costo (\$MX/TON)	Nuevo León (km)	Costo (\$MX/TON)	Jalisco (km)	Costo (\$MX/TON)
Sinaloa	1121	4166.757	1147	4263.399	745	2769.165
Tamaulipas	609	2263.653	288	1070.496	768	2854.656
Guerrero	563	2092.671	1304	4846.968	851	3163.167
Chiapas	1038	3858.246	1511	5616.387	1371	5096.007
Morelos	344	1278.648	1086	4036.662	655	2434.635
Yucatán	1593	5921.181	2066	7679.322	1926	7158.942
Michoacán	257	955.269	946	3516.282	282	1048.194

Tabla 4 Productores de Aceite Vegetal hacia Planta

Centros de Distribución	Posible Ubicación Planta Bioturbosina					
	Querétaro (km)	Costo (\$MX/TON)	Nuevo León (km)	Costo (\$MX/TON)	Jalisco (km)	Costo (\$MX/TON)
Ciudad de México	211	784.287	964	3583.188	554	2059.218
Cancún	1812	6735.204	2288	8504.496	2146	7976.682
Guadalajara	354	1315.818	848	3152.016	19.1	70.9947
Monterrey	730	2713.41	30.2	112.2534	816	3033.072
Tijuana	2573	9563.841	2241	8329.797	2230	8288.91
Toluca	210	780.57	953	3542.301	486	1806.462
San José del Cabo	1682	6251.994	1736	6452.712	1339	4977.063
Puerto Vallarta	669	2486.673	1164	4326.588	327	1215.459
Mérida	1500	5575.5	1976	7344.792	1834	6816.978
Hermosillo	1709	6352.353	1554	5776.218	1366	5077.422
Culiacán	1030	3.717	1084	4029.228	687	2553.579
Bajío	144	535.248	719	2672.523	245	910.665

Tabla 5 Posible Ubicación Planta hacia Aeropuertos

Costo Fijo de la Planta	Costo de Equipos	Costo de Servicios (agua y vapor)	Costo de Hidrógeno	Costo de Electricidad
(\$USD/año)	234,121.62	42,679.60	281,773.90	2,087.38

Tabla 6 Costos Fijos de la Planta diseñada

Las variables involucradas en el modelo de optimización, así como su descripción se muestran en la Tabla 7.

Símbolo	Descripción
$CPLT_j$	Costo total de la planta j (\$USD/año)
CP_{ij}	Costo del transporte de la materia prima entre el productor de materia prima i y la planta j (\$USD/año)
CD_{jk}	Costo del transporte de la bioturbosina entre la planta j y el centro de distribución k (\$USD/año)
TAC	Costo total anual de la función de localización (\$USD/año)
J	Contador de existencia de las plantas propuestas, ver Fig 1
I	Contador que de productores de materia prima, ver Fig 1
K	Contador que representa los centros de distribución, ver Fig 1
CR_{ij}	Costo del traslado de la materia prima de i a j (\$USD/año)
M_{ij}	Cantidad de materia prima llevada de i a j (kg/año)
M_{res_i}	Cantidad de materia prima que se queda en el lugar de producción (no distribuida) (kg/año)
$MPTE_j$	Materia prima total a j (para cada planta, 876000 kg/año)
CT_j	Costo del terreno j (1, 36946; 2, 28501; 3, 3008.46; \$USD/año)
CPE_j	Costo fijo de la planta j (para cada una 560662.49 \$USD/año)
CM	Costo de la materia prima (4.9274 \$USD/año)
Y_j	Variable binaria que representa la existencia de la planta j
B_{jk}	Cantidad de bioturbosina llevada de j a k (kg/año)
CRD_{jk}	Costo del traslado de la bioturbosina de j a k (\$USD/año)
BT_j	Cantidad total de bioturbosina producida en planta j (kg/año)
E	Tamaño de paso para la relajación

Tabla 7 Nomenclatura

Función Objetivo

La minimización del costo total anual (TAC) de la planta de turbosina renovable involucra la suma del costo fijo de la planta (CPF), el costo de la materia prima total de entrada ($MPTE$), el costo del terreno (CT), el costo del transporte desde los posibles sitios de venta de la materia prima (CP) y el costo del transporte desde la planta hasta los posibles centros de distribución ASA (CD):

$$\min TAC = \sum_{j=1}^3 CPLT_j + \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^3 CP_{ij} + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{12} CD_{jk} \quad (1)$$

Las implicaciones respecto a la ubicación de las plantas se muestran en las ecuaciones (2)-(5).

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 \geq 1 \quad (2)$$

$$\left[CPLT_1 = Y_1 * CPF_1 + MPTE_1 * CM + CT_1 \right] \vee \left[CPLT_1 = 0 \right] \quad (3)$$

$$\left[CPLT_2 = Y_2 * CPF_2 + MPTE_2 * CM + CT_2 \right] \vee \left[CPLT_2 = 0 \right] \quad (4)$$

$$\left[CPLT_3 = Y_3 * CPF_3 + MPTE_3 * CM + CT_3 \right] \vee \left[CPLT_3 = 0 \right] \quad (5)$$

Restricciones para las Rutas: Materia Prima hacia Planta de Proceso

Las restricciones que describen las rutas desde los posibles sitios de venta de la materia prima hasta la posible ubicación de la planta de proceso son:

$$CP_{11} = M_{11} * CR_{11} \quad (6)$$

$$CP_{12} = M_{12} * CR_{12} \quad (7)$$

$$CP_{13} = M_{13} * CR_{13} \quad (8)$$

$$M_{11} + M_{12} + M_{13} \leq 1115282000 \quad (9)$$

$$M_{res1} = 1115282000 - (M_{11} + M_{12} + M_{13}) \quad (10)$$

$$CP_{21} = M_{21} * CR_{21} \quad (11)$$

$$CP_{22} = M_{22} * CR_{22} \quad (12)$$

$$CP_{23} = M_{23} * CR_{23} \quad (13)$$

$$M_{21} + M_{22} + M_{23} \leq 635380000 \quad (14)$$

$$M_{res2} = 635380000 - (M_{21} + M_{22} + M_{23}) \quad (15)$$

$$CP_{31} = M_{31} * CR_{31} \quad (16)$$

$$CP_{32} = M_{32} * CR_{32} \quad (17)$$

$$CP_{33} = M_{33} * CR_{33} \quad (18)$$

$$M_{31} + M_{32} + M_{33} \leq 564316000 \quad (19)$$

$$M_{res3} = 564316000 - (M_{31} + M_{32} + M_{33}) \quad (20)$$

$$CP_{41} = M_{41} * CR_{41} \quad (21)$$

$$CP_{42} = M_{42} * CR_{42} \quad (22)$$

$$CP_{43} = M_{43} * CR_{43} \quad (23)$$

$$M_{41} + M_{42} + M_{43} \leq 460546000 \quad (24)$$

$$M_{res4} = 460546000 - (M_{41} + M_{42} + M_{43}) \quad (25)$$

$$CP_{51} = M_{51} * CR_{51} \quad (26)$$

$$CP_{52} = M_{52} * CR_{52} \quad (27)$$

$$CP_{53} = M_{53} * CR_{53} \quad (28)$$

$$M_{51} + M_{52} + M_{53} \leq 43420000 \quad (29)$$

$$M_{res5} = 43420000 - (M_{51} + M_{52} + M_{53}) \quad (30)$$

$$CP_{61} = M_{61} * CR_{61} \quad (31)$$

$$CP_{62} = M_{62} * CR_{62} \quad (32)$$

$$CP_{63} = M_{63} * CR_{63} \quad (33)$$

$$M_{61} + M_{62} + M_{63} \leq 348010000 \quad (34)$$

$$M_{res6} = 348010000 - (M_{61} + M_{62} + M_{63}) \quad (35)$$

$$CP_{71} = M_{71} * CR_{71} \quad (36)$$

$$CP_{72} = M_{72} * CR_{72} \quad (37)$$

$$CP_{73} = M_{73} * CR_{73} \quad (38)$$

$$M_{71} + M_{72} + M_{73} \leq 394576000 \quad (39)$$

$$M_{res7} = 394576000 - (M_{71} + M_{72} + M_{73}) \quad (40)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{i1} = Y_1 * MPTE_1 \quad (41)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{i2} = Y_2 * MPTE_2 \quad (42)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{i3} = Y_3 * MPTE_3 \quad (43)$$

Restricciones para las Rutas: Planta de Proceso hacia Aeropuertos

Las restricciones concernientes a las rutas entre la posible ubicación de la planta de proceso y los aeropuertos considerados son:

$$\begin{aligned}
 CD_{11} &= B_{11} * CRD_{11} & (44) \\
 CD_{12} &= B_{12} * CRD_{12} & (45) \\
 CD_{13} &= B_{13} * CRD_{13} & (46) \\
 CD_{14} &= B_{14} * CRD_{14} & (47) \\
 CD_{15} &= B_{15} * CRD_{15} & (48) \\
 CD_{16} &= B_{16} * CRD_{16} & (49) \\
 CD_{17} &= B_{17} * CRD_{17} & (50) \\
 CD_{18} &= B_{18} * CRD_{18} & (51) \\
 CD_{19} &= B_{19} * CRD_{19} & (52) \\
 CD_{110} &= B_{110} * CRD_{110} & (53) \\
 CD_{111} &= B_{111} * CRD_{111} & (54) \\
 CD_{112} &= B_{112} * CRD_{112} & (55) \\
 \sum_{k=1}^{12} B_{1K} &= 162207.26 * Y_1 & (56) \\
 CD_{21} &= B_{21} * CRD_{21} & (57) \\
 CD_{22} &= B_{22} * CRD_{22} & (58) \\
 CD_{23} &= B_{23} * CRD_{23} & (59) \\
 CD_{24} &= B_{24} * CRD_{24} & (60) \\
 CD_{25} &= B_{25} * CRD_{25} & (61) \\
 CD_{26} &= B_{26} * CRD_{26} & (62) \\
 CD_{27} &= B_{27} * CRD_{27} & (63) \\
 CD_{28} &= B_{28} * CRD_{28} & (64) \\
 CD_{29} &= B_{29} * CRD_{29} & (65) \\
 CD_{210} &= B_{210} * CRD_{210} & (66) \\
 CD_{211} &= B_{211} * CRD_{211} & (67) \\
 CD_{212} &= B_{212} * CRD_{212} & (68) \\
 \sum_{k=1}^{12} B_{2K} &= 162207.26 * Y_2 & (69) \\
 CD_{31} &= B_{31} * CRD_{31} & (70) \\
 CD_{32} &= B_{32} * CRD_{32} & (71) \\
 CD_{33} &= B_{33} * CRD_{33} & (72) \\
 CD_{34} &= B_{34} * CRD_{34} & (73) \\
 CD_{35} &= B_{35} * CRD_{35} & (74) \\
 CD_{36} &= B_{36} * CRD_{36} & (75) \\
 CD_{37} &= B_{37} * CRD_{37} & (76) \\
 CD_{38} &= B_{38} * CRD_{38} & (77) \\
 CD_{39} &= B_{39} * CRD_{39} & (78) \\
 CD_{310} &= B_{310} * CRD_{310} & (79) \\
 CD_{311} &= B_{311} * CRD_{311} & (80) \\
 CD_{312} &= B_{312} * CRD_{312} & (81) \\
 \sum_{k=1}^{12} B_{3K} &= 162207.26 * Y_3 & (82)
 \end{aligned}$$

Restricciones de Suministro a Aeropuertos

Las siguientes restricciones consideran la capacidad de cada aeropuerto:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^3 B_{j1} &\leq 205575.30 & (83) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j2} &\leq 119876.46 & (84) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j3} &\leq 38133.98 & (85) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j4} &\leq 26824.65 & (86) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j5} &\leq 21497.02 & (87) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j6} &\leq 10534.38 & (88) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j7} &\leq 16145.15 & (89) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j8} &\leq 24253.87 & (90) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j9} &\leq 6918.65 & (91) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j10} &\leq 5498.13 & (92) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j11} &\leq 4976.90 & (93) \\
 \sum_{j=1}^3 B_{j12} &\leq 6387.26 & (94)
 \end{aligned}$$

Relajación de Disyunciones: Cascarón Convexo

Para la relajación de las implicaciones es utilizada la estrategia de cascarón convexo. Las expresiones relajadas para las ecuaciones (3), (4) y (5) son:

$$\begin{aligned}
 (v_{CPLT_{11}}) &= (Y_1 + E)(CPF_1 + MPTE_1 * CM + \\
 CT_1) &; v_{CPLT_{12}} = 0 \\
 CPLT_1 &= v_{CPLT_{11}} + v_{CPLT_{12}} & (95)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (v_{CPLT_{21}}) &= (Y_2 + E)(CPF_2 + MPTE_2 * CM + \\
 CT_2) &; v_{CPLT_{22}} = 0 \\
 CPLT_2 &= v_{CPLT_{21}} + v_{CPLT_{22}} & (96)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (v_{CPLT_{31}}) &= (Y_3 + E)(CPF_3 + MPTE_3 * CM + \\
 CT_3) &; v_{CPLT_{32}} = 0 \\
 CPLT_3 &= v_{CPLT_{31}} + v_{CPLT_{32}} & (97)
 \end{aligned}$$

Las restricciones restantes no son relajadas dado que no son implicaciones lógicas. Es importante decir que la primera implicación (1) representa la no exclusividad de una única planta.

Resultados

Los resultados obtenidos de la optimización de la localización de la planta de producción de bioturbosina se muestran en la Tabla 8. Se observa que existe sólo una planta de proceso, cuya ubicación óptima es Jalisco ($Y_3=1$) minimizando su costo total anual.

Michoacán es el único estado productor de aceite vegetal para abastecerla (CP_{73}), cumpliendo con toda la demanda requerida (M_{73}).

Variable	Valor	Variable	Variable
$\sum_{j=1}^2 Y_i$	0	CD_{310}	0
Y_3	1	CD_{311}	0
$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 CP_{ij}$	0	CD_{312}	315.275
$\sum_{j=1}^2 CP_{7j}$	0	$\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{12} B_{jk}$	0
CP_{73}	49756.8	B_{31}	82897.770
$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 M_{ij}$	0	B_{32}	0
$\sum_{j=1}^2 M_{7j}$	0	B_{33}	38133.980
M_{73}	876000	B_{34}	0
$\sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{12} CD_{jk}$	0	B_{35}	0
CD_{31}	9251.391	B_{36}	10534.380
CD_{32}	0	B_{37}	0
CD_{33}	146.826	B_{38}	24253.870
CD_{34}	0	B_{39}	0
CD_{35}	0	B_{310}	0
CD_{36}	1031.316	B_{311}	0
CD_{37}	0	B_{312}	6387.260
CD_{38}	1598.330	$\sum_{i=1}^7 Mres_i$	0
CD_{39}	0	TAC	4962200

Tabla 8 Resultados, Variables Óptimas

Asimismo, la bioturbosina se distribuirá hacia los aeropuertos de la Ciudad de México, Guadalajara, Toluca, Puerto Vallarta y el Bajío (CD_{31} , CD_{33} , CD_{36} , CD_{38} , CD_{312}). En la Figura 2 se observa el esquema de localización óptimo.

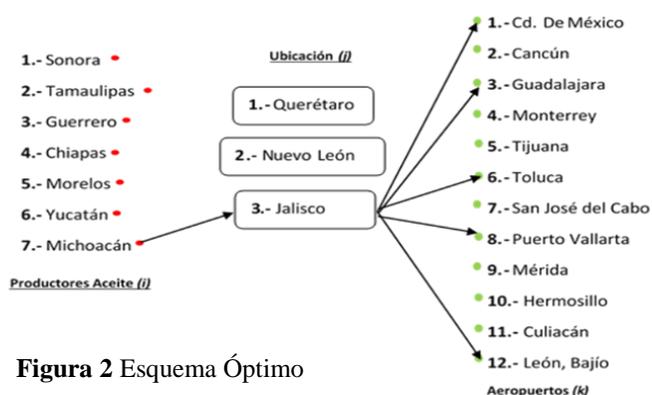


Figura 2 Esquema Óptimo

Conclusiones

El problema de la localización óptima de una planta de producción de bioturbosina, fue abordado en el presente trabajo, junto con la determinación de la cadena de suministro correspondiente. Para tal fin se emplearon estrategias de optimización matemática, auxiliadas por el método del cascarón convexo para relajar las implicaciones propuestas en el modelo.

Los resultados señalan que el estado de Michoacán tiene la capacidad para satisfacer la demanda de materia prima para la planta diseñada, de modo que al ubicarla en Jalisco el costo total anual sea el mínimo; lo anterior considerando la distribución de la bioturbosina hacia los centros de distribución ASA (Aeropuertos) ubicados en la Ciudad de México, Guadalajara, Toluca, Puerto Vallarta y el Bajío.

Agradecimientos

A CONACYT por el apoyo brindado a través del proyecto 239765. Asimismo, A.G. Romero ha sido beneficiada con una beca para la realización de sus estudios de posgrado.

Referencias

- [1] European Commission, “Reducing emissions from the aviation sector”, ec.europa.eu. Consulted 19/01/2016.
- [2] Aeropuertos y Servicios Auxiliares, “Estrategia de los cuatro pilares”, biocombustibles.asa.gob.mx. Consulted 19/01/2016.
- [3] International Air Transport Association, “A global approach to reducing aviation emissions – First stop: carbon neutral growth from 2020”, www.iata.org. Consulted 19/01/2016.

- [4] Gutiérrez Antonio, C., Romero Izquierdo, A. G., Gómez Castro, F. I., & Hernández, S. (2016). Energy Integration of a Hydrotreatment Process for Sustainable Biojet Fuel Production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 8165-8175.
- [5] S/A. (24 de 05 de 2016). Obtenido de http://ual.dyndns.org/Biblioteca/Admon_de_la_Produccion/Pdf/Unidad_03.pdf
- [6] Lira Barragán, L. F., Ponce Ortega, J. M., Serna González, M., & El-Halwagi, M. M. (2011). An MINLP model for the optimal location of a new industrial plant with simultaneous consideration of economic and environmental criteria. *Industrial and Engineering and Chemistry Research*, 953-964.
- [7] S/A. (24 de 05 de 2016). Slideshare. Obtenido de <http://es.slideshare.net/erikalexroa/localizacion-de-plantas>.
- [8] Lee, S., & Grossman, I. E. (2010). New algorithms for nonlinear generalized disjunctive programming. *Computers and Chemical Engineering*, 2125-2141.
- [9] Diwekar, U. (2008). *Introduction to Applied Optimization*. Springer.
- [10] Villafranco, G. (2015). Los estados con mayor crecimiento económico en México. *FORBES México*.
- [11] Villafranco, G. (26 de 05 de 2016). *FORBES México*. Obtenido de <http://www.forbes.com.mx/las-diez-mejores-ciudades-para-hacer-negocios/>
- [12] Molano, M. (26 de 05 de 2016). IMCO. Obtenido de <http://imco.org.mx/competitividad/chiapas-y-nuevo-leon-sur-y-norte-de-mil-maneras/>
- [13] INIFAP. (Octubre de 2009). Obtenido de <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3428/3251%20biocomb%20con%20jatropa.pdf?sequence=1>
- [14] Ruíz Sanabria, R. (2015). *Modelado de la Demanda de Turbosina en México*. Tesis de Licenciatura: UNAM.