

CÁLCULO DE CAPACIDADES DE PRODUCCIÓN INICIALES ÓPTIMAS CONSIDERANDO ELEMENTOS DE INCERTIDUMBRE

CALCULATION OF INITIALS OPTIMAL PRODUCTION CAPACITIES CONSIDERING UNCERTAINTY ELEMENTS

Hilda Oquendo Ferrer^{1}, Erenio González Suárez², Néstor Ley Chong²
y Martha F. Nápoles García¹*

¹ Departamento de Ingeniería Química, Universidad "Ignacio Agramonte" de Camagüey. Carretera Circunvalación Norte km 5 ½, Camagüey, Cuba.

² Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Octubre 12, 2015; Revisado: Diciembre 14, 2015; Aceptado: Enero 20, 2016

RESUMEN

En la diversificación una variante atractiva lo constituye la proyección de plantas de etanol por todas las ventajas que ello representa y un elemento decisivo para poder llevarla a efecto es la existencia o no de caña como materia prima fundamental de la industria azucarera y por tanto de las producciones derivadas. Para la proyección de la capacidad inicial óptima de la planta se consideró la incertidumbre en la materia prima. Se obtienen modelos matemáticos de la capacidad en el tiempo, escogiéndose los que mejor se ajustan, el lineal, por ser el más simple para los futuros cálculos. Se determina la capacidad inicial que debe tener la planta, el tiempo al que debe realizarse la primera ampliación de la misma y la capacidad de esta, lo cual permite, considerando otros criterios, adoptar decisiones acerca de cuál debe ser la capacidad de una planta de alcohol atendiendo a la disponibilidad actual y futura de la caña de azúcar. Se presenta un método general que puede ser utilizado considerando otras Empresas Azucareras tributarias, en una provincia o en una región azucarera.

Palabras clave: Incertidumbre, optimización, modelos, etanol, capacidad de producción

ABSTRACT

In diversification, an attractive variant constitutes the projection of ethanol plants due to all the advantages that this represents and a crucial element for this to be effective is the existence of cane as a fundamental raw material for the sugar industry and therefore the derived productions. To project the initial optimal capacity of the plant, uncertainty in the raw material was considered. Mathematical models of capacity in time are obtained, choosing those that best fit, being the linear the simplest for future calculations. The initial capacity the plant should have is determined, also the time at which the first extension and the capacity of the plant should be done, which allows, considering other criteria, to make decisions about what should be the capacity of an ethanol plant in response to the current and future availability of sugar cane. It is presented a general method that can be used considering other tax sugar companies in a province or a region.

Key words: Uncertainty, optimization, models, ethanol, production capacity.

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de los países Latinoamericanos, entre ellos los productores de azúcar, se encuentran enfrascados en la búsqueda de una estrategia para la reconversión de sus economías y dar respuesta con ella a la apertura de nuevos mercados y a la integración regional. En las condiciones cubanas, a diferencia de los países azucareros de la región, se cuenta con una estrategia de diversificación, puesta en marcha desde los primeros años del triunfo de la revolución, y que ahora se intensifica para lograr una explotación más amplia de la caña de azúcar, junto a la producción de un mayor número de derivados en lo que necesario en la búsqueda de nuevas oportunidades de negocios en este sector (Rabassa y Pérez, 2015). Para lo anterior es particularmente útil la organización de la gestión del conocimiento mediante el vinculo universidad –empresa (Concepción y col., 2013).

A escala mundial el etanol ha adquirido un gran valor por la posibilidad de su uso como combustible, por las posibilidades de desarrollo de la ruta alcohólica y de producciones de gran demanda para la alimentación animal, a partir de sus residuales.

El etanol se obtiene en el mundo a partir de diversas materias primas: residuos de cosecha, residuales que contengan sacarosa, fructosa, celulosa y hemicelulosa. En nuestro país existe la ventaja de poder utilizar la miel de caña como fuente principal de materia prima.

El utilizar la miel depende de la existencia de caña de azúcar, lo cual ha presentado problemas en el país en los últimos tiempos, a esto se le suma que dentro de la estructura del costo de producción de este producto, el 68 % aproximadamente le corresponde a las materias primas, y dentro de esta la miel tiene el peso fundamental. Actualmente se buscan fuentes alternativas que reduzcan este costo y dentro de ellas, una es la de utilizar miel con el jugo de los filtros de cachaza.

Un aspecto importante en el diseño de plantas es la determinación de la capacidad que debe tener la planta para que pueda lograr los mayores beneficios económicos.

Se pretende determinar la capacidad óptima de una planta de etanol, considerando la incertidumbre existente en la materia prima, para ello se utiliza un ejemplo del Proyecto de Diversificación de una Empresa Azucarera que se desarrolla a partir de allí un método general que puede ser utilizado considerando otras Empresas Azucareras tributarias, en una provincia o en una región.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Un interés en los estudios inversionistas lo constituye el cálculo de capacidades de producción iniciales óptimas. Una de las formas utilizadas tradicionalmente es a través de la determinación del punto de equilibrio o umbral de rentabilidad, esto es:

2.1. Determinación del punto de equilibrio

Punto de equilibrio = Umbral de Rentabilidad = Tamaño mínimo económico

Es un indicador del volumen económico que se debe producir donde no se obtienen ganancias pero tampoco pérdidas. En el equilibrio, el costo de producción unitario es igual al precio del producto. Por encima del punto de equilibrio hay ganancias y por debajo hay pérdidas

Este no es un indicador de eficiencia sino es un indicador de alarma.

2.1.1. Método analítico

$$U_{eq} = \frac{F}{(p-v)} \quad (1)$$

Donde:

F: Costo Fijo Global (\$/a)

p: Precio del producto (\$/unidades)

v: Costo variable unitario (\$/unidades)

U_{eq} : Capacidad de la planta en el equilibrio (unidades/a)

Puede constatar la necesidad de reducir los costos y de incrementar los volúmenes de producción, su realización como vía de incrementar la ganancia y la rentabilidad de la empresa. Puede observarse, como una empresa puede pasar de una situación de incosteabilidad o de no rentabilidad a ser una empresa rentable cuando trabaja por encima del punto de equilibrio, por lo que tiene gran importancia su determinación.

2.1.2. Método gráfico

Para este método hacen falta los siguientes datos:

- Costo Fijo Global (F)
- Capacidad Máxima ($u_{m\acute{a}x}$)
- Ingresos por ventas a la máxima capacidad ($P_{m\acute{a}x} = p \cdot u_{m\acute{a}x}$) (2)

- Costo Total Global a la máxima capacidad ($C_{m\acute{a}x} = F + v \cdot u_{m\acute{a}x}$) (3)

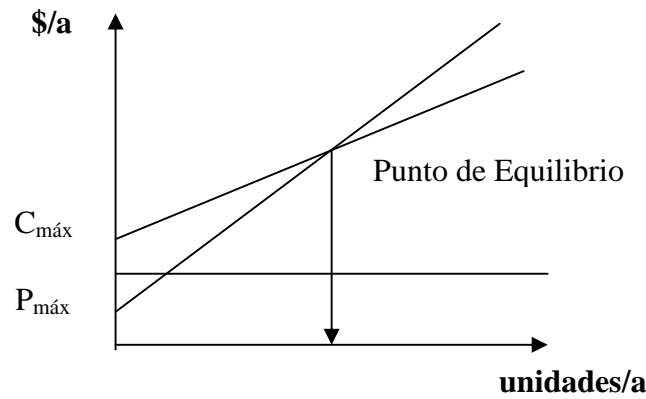


Figura 1. Determinación del punto de equilibrio por el método gráfico

Como se ha dicho, la conversión de fabricas de azúcar en biorrefinerías contribuye al desarrollo territorial (Morales y col., 2013), pero se conoce, que las alternativas de desarrollo de la industria de la caña de azúcar deben considerar los problemas de incertidumbre (González y col., 2004) y para lo cual se han propuesto procedimientos para el desarrollo de tecnologías más limpias (González y col., 2004). Para el tratamiento de la incertidumbre en estos tipos de estudio, (Rudd y Watson, 1968) han descrito un procedimiento metodológico para los estudios de las mejores capacidades iniciales y las ampliaciones de una inversión, cuando la demanda inicial es nula o no.

Procedimiento:

1. Se considera la adaptación de un sistema a una situación, en que pueda o no existir una demanda inicial, D_0 , y una variación lineal de la misma en el tiempo:

$$Demanda(D) = D_0 + a \cdot \theta \quad (4)$$

donde a es la pendiente y θ el tiempo

2. Determinar el factor de sobrediseño (F_{sd})
3. En lo cual es necesario considerar que la fiabilidad de los equipos incide en la disponibilidad anual de la instalación y por ello en su sobre diseño (Rosa y González, 2005)
4. Determinar la capacidad inicial recomendada:

$$Q_i^* = D_0 + F_{sd} \cdot \frac{a}{i} \quad (5)$$

donde i es la tasa de interés financiero.

5. Determinar el tiempo al que debe realizarse la primera expansión:

$$\theta = \frac{(Q_i^* - D_0)}{a} \quad (6)$$

6. Determinar la capacidad de la $Q^* = \frac{a}{i}$ expansión: (7)

(Rudd y Watson, 1968) describen este procedimiento, aplicado a la demanda, es decir consideran la incertidumbre por las variaciones en la demanda. Este procedimiento puede ser aplicado como bien plantean los mismos autores a otros casos como las predicciones en los precios, costos, la energía, capacidad del mercado, etc., siempre que se pueda tratar el crecimiento como un modelo lineal.

A pesar de que este enfoque de determinación de las capacidades instaladas, esencialmente a partir de la demanda del mercado, es a todas luces lo más justo, en el caso específico de las agroindustrias, un factor determinante para lograr los diferentes niveles de capacidad instalada es la disponibilidad de biomasa. Por tanto, en el caso de la industria de la caña de azúcar el factor determinante de los niveles de diversificación es la disponibilidad de la materia prima básica en lo cual las comunidades científicas tendrán que jugar un papel esencial (Concepción y col., 2010).

Por ello, si se demuestra que las proyecciones de los crecimientos de caña en el tiempo tienen un comportamiento lineal, sería conveniente valorar, cómo aplicar este procedimiento a la incertidumbre en la materia prima fundamental para alcanzar los niveles de diversificación deseados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación de la capacidad inicial óptima, considerando la incertidumbre en la demanda de etanol en la región en estudio (territorio).

En la gestión de conocimientos para el desarrollo de la industria de la caña de azúcar siempre se ha valorado como oportuno el crecimiento en la producción de etanol (Placeres y col., 2012), y muy recomendable considerar la incertidumbre a los cambios futuros por ello se realizó un análisis de proyección de la demanda mínima de etanol en el período 1998-2010, en una región azucarera “A”, a partir de los datos de la tabla 1, ajustándose un modelo lineal que fue validado por las pruebas estadísticas correspondientes, este se muestra en la figura 2.

Tabla 1. Demanda provincial de etanol de la región “A”

Año	Demanda Región “A” (hL/d)
1	790,17
2	823,57
3	858,36
8	1 095,71
13	1 358,87

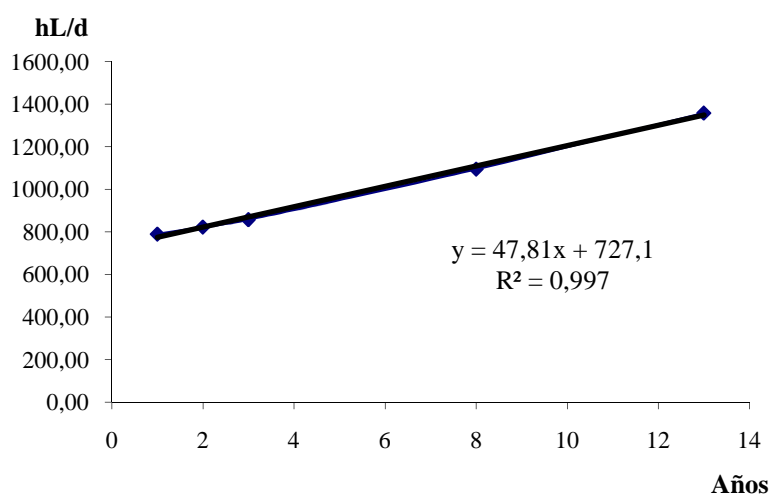


Figura 2. Comportamiento de la demanda de etanol en la región en estudio

Este modelo se utilizó para determinar la capacidad óptima inicial de la planta teniendo en cuenta la incertidumbre en la demanda de etanol en la provincia y la incertidumbre financiera.

A continuación se presentan los resultados de los cálculos efectuados considerando que la demanda inicial no es nula, sin sobre diseño y para distintas tasas de rentabilidad, el valor más probable, valor más favorable y desfavorable.

Tabla 2. Resultados para la capacidad inicial óptima de la planta a partir de la demanda

	<i>Demanda inicial no nula sin sobre diseño</i>			<i>Fórmulas</i>
	<i>i = 0,12</i>	<i>i = 0,15</i>	<i>i = 0,18</i>	<i>Sin sobrediseño</i>
Pendiente (a)	47,82	47,82	47,82	-
Capacidad Inicial (hL/d)	1125,60	1045,90	992,77	$Q_i^* = a/i + Do$
Primera ampliación (años)	8,33	6,67	5,56	$\theta = (C_i^* - Do)/a$
Capacidad de la ampliación (hL/d)	398,49	318,79	265,66	$Q^* = a/i$
Total	1 524,09	1 364,70	1 258,43	$Q_t = Q_i^* + Q^*$

Como se aprecia en la tabla 2, atendiendo a una demanda mínima de etanol y considerando además la incertidumbre financiera la capacidad de una planta de etanol en la región en estudio puede proyectarse, en la actualidad, en el rango de 1 258 a 1 524 hL/d. Fue aplicado el método desarrollado por (Rudd y Watson, 1968), incluyéndole como elemento nuevo el análisis de la incertidumbre financiera.

En el caso específico de la industria de la caña de azúcar, nos encontramos con un problema adicional al determinar las capacidades iniciales de las instalaciones industriales que es el concerniente a los cambios futuros en la disponibilidad de la materia prima (caña), lo que está actualmente acentuado, en Cuba, por el decrecimiento de la disponibilidad de este cultivo debido a las afectaciones en los últimos años, lo que hace de este un problema de interés práctico y metodológico que debe en el caso de este sector industrial y quizás de otros sectores agroindustriales estar incluido en los estudios inversionistas.

3.2. Capacidad inicial óptima de la planta de Etanol de acuerdo a la incertidumbre en la materia prima, en la región en estudio.

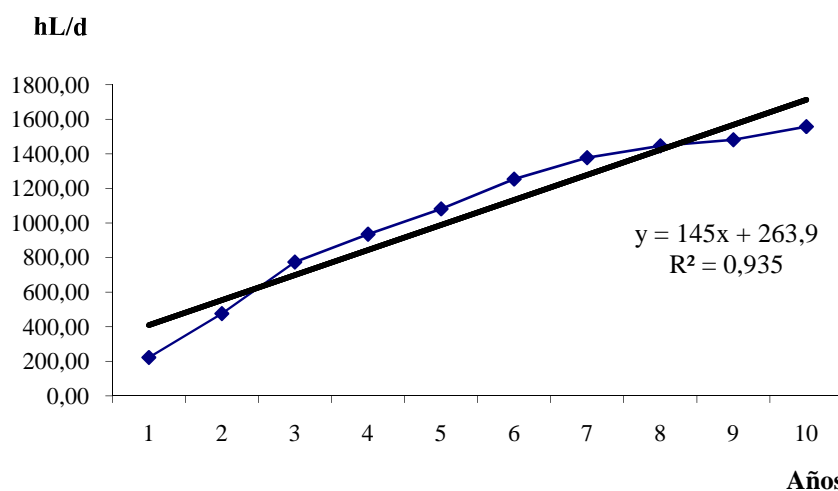
Atendiendo a las consideraciones realizadas, a continuación se muestran las cantidades de miel destinadas para etanol, y las potencialidades de producción que representan en hL/d.

Tabla 3. Capacidad de producción de etanol de acuerdo a la disponibilidad de materia prima

<i>Año</i>	<i>Caña (t)</i>	<i>Miel (t)</i>	<i>Producción (hL/d)</i>
1	4 232 644,00	23 344,03	222,32
2	5 143 461,25	50 071,56	476,87
3	6 210 930,35	81 395,96	775,20
4	6 787 461,00	98 313,99	936,32
5	7 310 315,40	113 656,92	1 082,45
6	7 927 093,75	131 756,00	1 254,82
7	8 370 223,25	144 759,43	1 378,66
8	8 613 633,40	151 902,20	1 446,69
9	8 742 845,10	155 693,86	1 482,80
10	9 014 097,90	163 653,65	1 558,61

Para estos datos se ajustó un modelo lineal, validado por las pruebas estadísticas correspondientes como se puede apreciar en la figura 3:

Se calcula la capacidad óptima inicial cuando la demanda inicial no es nula y no se considera sobrediseño, por cuanto las proyecciones se considera están ya sobre dimensionadas.

**Figura 3.** Comportamiento de la capacidad de producción de Etanol a partir de la disponibilidad de caña

Como se aprecia en la tabla 4, teniendo en cuenta la disponibilidad de miel de la región en estudio para la producción de etanol, así como el valor más probable, más favorable y desfavorable de la tasa de interés financiera, la capacidad de proyección de esta planta puede estar en el rango de 1 875 a 2 680 hL/d.

Una alternativa para hacer más competitiva la inversión de una destilería es macrolocalizarla en una región de más fácil acceso del producto terminado a su principal cliente, por ello considerando las proyecciones inversionistas ya evaluadas de una rectificadora de etanol que ha sido macrolocalizando en la zona sur del territorio en estudio.

Tabla 4. Determinación de la capacidad óptima a partir de la disponibilidad de caña

	<i>Demanda inicial no nula sin sobrediseño</i>			<i>Fórmulas</i>
	<i>i = 0,12</i>	<i>i = 0,15</i>	<i>i = 0,18</i>	<i>Sin sobrediseño</i>
Pendiente (a)	145,00	145,00	145,00	-
Capacidad Inicial (hL/d)	1 472,31	1 230,64	1 069,53	$Q_i^* = a/i + D_0$
Primera ampliación (años)	8,33	6,67	5,56	$\theta = (Q_i^* - D_0)/a$
Capacidad de la ampliación (hL/d)	1 208,33	966,66	805,55	$Q^* = a/i$
Total	2 680,63	2197,30	1 875,08	$Q_t = Q_i^* + Q^*$

3.3. Capacidad inicial óptima de la planta de etanol de acuerdo a la incertidumbre financiera y en el crecimiento de la cantidad de caña en la Zona Sur de la región (territorio) en estudio.

En el total de miel se hicieron las mismas consideraciones anteriores para tres Complejo Agroindustriales Azucareros de la Zona Sur con posibilidades de aportar la miel o la caña para que el Complejo Agroindustrial Azucarero al cual está anexa la destilería, la procese.

Tabla 5. Producción de etanol de acuerdo a la disponibilidad de caña de la zona sur.

<i>Año</i>	<i>Caña (t)</i>	<i>Miel (t)</i>	<i>Producción (hL/d)</i>
1	903 106,50	12 291,25	117,06
2	1 068 902,00	17 156,45	163,39
3	1 424 884,50	27 602,59	262,88
4	1 505 350,00	29 963,82	285,37
5	1 632 643,50	33 699,19	320,94
6	1 833 111,50	39 581,83	376,97
7	1 904 653,00	41 681,19	396,96
8	1 980 127,50	43 895,95	418,06
9	2 002 886,00	44 563,79	424,42
10	2 046 172,00	45 834,00	436,51

Para estos datos se ajustó un modelo lineal, validado por las pruebas estadísticas correspondientes, como se puede apreciar en la figura 4:

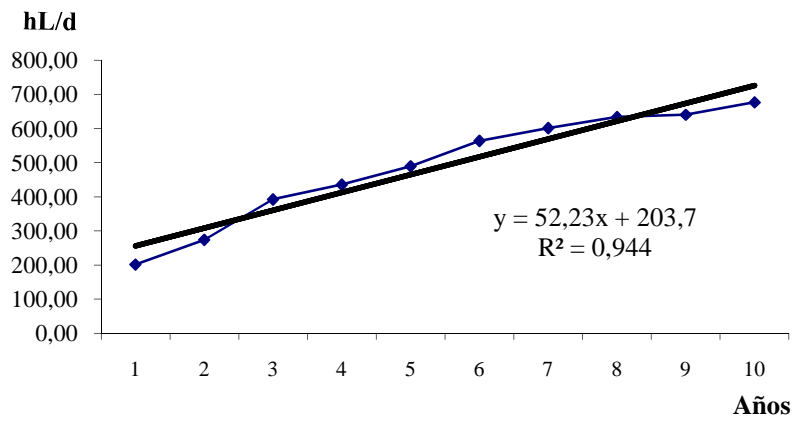


Figura 4. Comportamiento de la capacidad de la planta de etanol de acuerdo a la disponibilidad de caña en la zona sur

En la tabla 6 se puede apreciar, teniendo en cuenta la disponibilidad de miel de la Zona Sur de la región en estudio (territorio) y el escenario para la tasa de interés financiera, la capacidad de proyección de una planta de etanol puede estar en el rango de 784,17 a 1074,38 hL/d.

Tabla 6. Determinación de la capacidad óptima de la planta de etanol a partir de la disponibilidad de caña de la zona sur

	<i>Demanda inicial no nula sin sobrediseño</i>			<i>Fórmulas</i>
	<i>i = 0,12</i>	<i>i = 0,15</i>	<i>i = 0,18</i>	<i>Sin sobre diseño</i>
Pendiente (a)	52,24	52,24	52,24	-
Capacidad Inicial (hL/d)	639,07	552,00	493,96	$Q_i^* = a/i + Do$
Primera ampliación (años)	8,33	6,67	5,56	$\theta = (Q_1 - Do)/a$
Capacidad de la ampliación (hL/d)	435,32	348,25	290,21	$Q^* = b_1/i$
Total	1 074,39	900,25	784,17	$Q_t = Q_i^* + Q^*$

Como se ha oportunamente demostrado por los resultados de la ciencia y la técnica, la instalación de una nueva destilería de etanol en condiciones ambientalmente compatibles está asociada a su integración material con una planta de levadura Torula, lo que permite aprovechar las vinazas en la producción de un producto de amplia demanda en la alimentación animal (Martínez y col., 2014). Para la planta de Torula, teniendo en cuenta el balance de mieles realizado y la relación tecnológica existente entre ambas, las capacidades óptimas atendiendo a la incertidumbre en la materia prima y financiera, estarán en correspondencia con las determinadas para la planta de etanol. No se analiza la incertidumbre en la demanda pues al no existir ninguna instalación de producción de un alimento animal de calidad, la demanda existente siempre estará por encima de cualquier oferta que de inmediato se pueda realizar.

3.4. Comparación de los resultados obtenidos para la región en estudio.

La determinación de las capacidades óptimas de la planta de producción de etanol se realizó por dos vías, considerando la incertidumbre en la demanda y en la materia prima y en ambas, la incertidumbre financiera.

Para la determinación de las capacidades óptimas de las plantas de producción de etanol a partir de la proyección en la demanda es adecuado utilizar el método desarrollado por (Rudd y Watson, 1968), incorporándosele el elemento de la incertidumbre financiera.

La determinación de las capacidades óptimas de las plantas de producción de Etanol considerando la incertidumbre en la materia prima constituye un aporte en el plano metodológico y científico, lo cual no está reportado hasta el momento en la literatura y que es útil para producciones que como la del azúcar y sus derivados depende de materias primas agrícolas.

Como se muestra, la capacidad atendiendo a la disponibilidad de la materia prima es superior a la capacidad determinada a partir de la proyección de la demanda, es decir hay miel suficiente en la provincia para producir etanol que satisfaga la demanda.

Tabla 7. Comparación de las capacidades obtenidas a partir de la demanda y la materia prima

	$i = 0,12$		I $i = 0,15$		$i = 0,17$	
	<i>Demanda</i>	<i>M.Prima</i>	<i>Demanda</i>	<i>M.Prima</i>	<i>Demanda</i>	<i>M.Prima</i>
Capacidad Inicial (hL/d)	1 125,60	1 472,31	1 045,90	1 230,64	992,77	1 069,53
Primera ampliación (años)	8,33	8,33	6,67	6,67	5,56	5,56
Capacidad de la ampliación	398,49	1 208,33	318,79	966,66	265,66	805,55
Total (hL/d)	1 524,09	2 680,64	1 364,69	2 197,30	1 258,43	1 875,08

Si se hace una comparación del resultado de considerar la miel de sólo cuatro Empresas Azucareras de la Zona Sur con posibilidades reales de asociarse, donde la capacidad óptima estaría entre 784,17 hL/d y 1 074,38 hL/d con el resultado del estudio de mercado en la región en estudio, en que la demanda actual del producto es de 1 044,3 hL/d, se puede concluir que proyectando una planta de 784,17 hL/d se elimina la incertidumbre en la demanda, en la materia prima y financiera.

Una vez determinadas las capacidades óptimas se requiere estudiar los aspectos relacionados con la macrolocalización de la instalación de acuerdo con los gastos de transportación, las capacidades de producción y la alternativa de vinculación de caña.

4. CONCLUSIONES

1. El modelo lineal que se obtuvo para el estudio de la capacidad inicial de una planta para la producción de etanol en presencia de incertidumbre de la demanda y de la cantidad de materia prima disponible satisfacen los requerimientos del territorio en estudio.

2. Para satisfacer las cantidades de etanol del territorio en estudio cuando existe incertidumbre de la demanda de este producto, se requiere de una planta con una capacidad inicial que se encuentre en el rango de 1 258 hL/d a 1 524 hL/d.
3. Para garantizar la demanda de etanol en presencia de incertidumbre en las cantidades de las materias primas disponible en los diferentes escenarios financieros, se requiere la proyección de una planta con una capacidad inicial en el rango de 1 875 hL/d a 2 680 hL/d de etanol.
4. En el estudio de macrolocalización de la planta resultó por su fácil acceso, la zona sur de territorio como alternativa de proyección de una destilería de etanol con una capacidad inicial de producción de 784,15 hL/d se elimina la incertidumbre de la demanda, de las cantidades de materia prima disponible y del riesgo financiero.

REFERENCIAS

- Concepción, D.N., Portal, M., González, E., La gestión de conocimientos y el papel de las comunidades científicas en el desarrollo de la industria de la caña de azúcar., Centro Azúcar, Vol. 37, No. 1, pp. 104-111, 2010.
- Concepción, D.N., González, E., González, V., Guerrero, L., La organización de la gestión del conocimiento desde el vínculo universidad – empresa., Centro Azúcar, Vol. 40, No. 4, 2013, pp. 46-50.
- González, E., Pedraza, J., Rosa, E., Oquendo, H., Experiencia en la consideración de la incertidumbre en la industria azucarera y de procesos químicos de Cuba., Centro Azúcar Vol. 31, No. 1, 2004, pp. 92-94.
- González, E., Catá, Y., Oquendo, H., Turrado, J., Sistema de procedimientos para la consideración de la incertidumbre en el desarrollo de tecnologías limpias que utilizan la biomasa como materia prima., Centro Azúcar, Vol. 31, No. 2, 2004, pp. 22-26.
- Martínez, Y., de Armas, A.C., González, E., y Kafarov, V.V., Propuesta de alternativa para la transformación de una fábrica de azúcar en Biorrefinería., Centro Azúcar, Vol. 41, No. 1, pp. 92-99, 2014.
- Morales, M., Mesa, L., González, E., de Armas, A.C., Impulso al desarrollo territorial a través de la reconversión de instalaciones para la diversificación de la industria de la caña de azúcar., Centro Azúcar, Vol. 40, No. 3, 2013, pp. 80-84.
- Placeres, A., González, E., Concepción, D.N., Mesa, L., González, I., Gestión de Ciencia y Técnica para el desarrollo prospectivo de tecnologías obtención de etanol., productos y otros biocombustibles de la industria de la caña de azúcar., Centro Azúcar, Vol. 39, No. 2, 2012, pp. 41-55.
- Rabassa, G., y Pérez, A., Necesidades, limitaciones y proyecciones de los estudios de oportunidades de negocios en la industria azucarera., Centro Azúcar, Vol. 42, No. 3, 2015, pp. 1-9.
- Rosa, E., González, E., Consideración de la fiabilidad de los equipos en el diseño de instalaciones de la industria química., En: Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria de procesos químicos fermentativos y farmacéuticos, Editorial Científico Técnica, La Habana, 2005, Capítulo 3, pp. 49-70.
- Rudd, D.F., Watson, C.C., Strategy of Process Engineering., McGrawHill, New York, 1968, pp. 309-329.