

Evaluación económica de alternativas para la solución de los residuales de una planta de alcohol integrada a una fábrica de azúcar de caña

Raquel de la Cruz Soriano

Doctora en Ciencias Técnicas, Centro
Universitario José Martí Pérez. Profesora del Centro de Estudios de
Energía y Procesos Industriales.
raquel@suss.co.cu

Erenio González Suárez

Doctor en Ciencias, Universidad Central Marta
Abreu de las Villas. Profesor del Centro de Innovación Tecnológica.
erenio@uclv.edu.cu

Lisbet López González

Máster en Análisis de Procesos en la Industria
Química, Centro Universitario José Martí Pérez. Profesora del Centro de
Estudios de Energía y Procesos Industriales.
lisbet@suss.co.cu



Recepción: 13 de febrero de 2004 | Aceptación: 25 de mayo de 2004

Resumen

En este trabajo se parte de un estudio previo de análisis de alternativas para la utilización de los residuales de una destilería de alcohol de la región central de Cuba. Las alternativas más atractivas se relacionan con el uso de la vinaza como fluidizante de pastas de cemento, por el proceso húmedo, el fertirriego, la recirculación a la producción de alcohol.

Por las ventajas económicas que posee la producción de torula y las necesidades nutritivas en un país como Cuba y en el contexto latinoamericano, se analizan diferentes variantes estudiadas en proyectos anteriores, combinadas con esta alternativa para determinar los requerimientos de inversión y la factibilidad económica y ambiental de esta producción.

Se proponen tres estrategias, de acuerdo con el nivel de producción de la planta de alcohol:

- Para la producción de 550 HL/d, combinar el fertirriego con la recirculación de la vinaza al proceso.
- Para la producción de 700 HL/d, combinar la recirculación con la instalación de una planta de torula de 7 t/d
- Para la producción de 900 HL/d, instalar una planta de levadura con capacidad de 15 t/d, y complementar la solución de los residuales con el fertirriego.

Palabras Clave

Producción de torula
Vinaza
Solución ambiental

Economic evaluation of alternatives for the solution of the residuals of a alcohol plant integrated to a sugar cane manufacturing company

Abstract

This work is based on a previous study of analysis of alternatives for the use of the residues of an alcohol distilling facility of the central region of Cuba. The most accepted alternatives are related to the use of vinaza as fluidizing of cement pastas for the humid process, the fertirriego, the re-circulation for the production of alcohol.

Because of the economic advantages of tortula production and the nutrition needs in a country like Cuba and in the Latin-american context, different variables studied in other projects are analyzed, combined with this alternative to determine the investment requirements and the economic and environmental viability of this production.

Three strategies are proposed, based on the production level of the alcohol plant.

- For the production of 550 HL/d, combine fertirriego with the re-circulation of vinaza to the process.
- For the production of 700 HL/d, combine the re-circulation with the installation of a tortula plant with 7 t/d
- For the production of 900 HL/d, install a yeast plant with capacity of 15 t/d, and to complement the solution of the residuals with fertirriego.

Key Words

Animal food production
Liquid residual in ethanol production
Environmental solution

Introducción



Campos (1995), determinó que el reducir la carga contaminante de las vinazas, sólo es viable desde el punto de vista económico y financiero, cuando no sea posible utilizarlas en el propio proceso, en los siguientes casos:

- Utilizar la vinaza como "abono" en el cultivo de la caña de azúcar (requiriendo superficies de cultivo estratosféricas).
- Producir y utilizar en el Ingenio y/o destilería el vapor generado por la combustión del metano, producido por la fermentación anaeróbica de la vinaza.
- Recuperar y vender la proteína unicelular obtenida por el tratamiento aeróbico de la vinaza o la venta

de la vinaza directamente, purificada y concentrada, para el mercado de las materias primas de raciones para animales, previos estudios nutricionales.

- Producir y vender cenizas potásicas en el mercado de Fertilizantes. (Considerado muy costoso en destilerías de la India. Shukla, 1995).

Valdés (1990), plantea la proyección actual y futura de la Industria de los Derivados, en Cuba, hacia una tendencia a encontrar métodos de tratamientos que den mayor aprovechamiento a los residuales, con la obtención de subproductos de mayor utilidad, tanto para la industria como para la sociedad. El tratamiento de la vinaza debe ser la vía para obtener un producto con valor comercial (Durán de Bazúa, 1994; Gehlawat, 1997; Gunjal, 1997; Minaz, 1995).

Como alternativas de tratamiento, se pueden aplicar las siguientes:

1. Lagunas de Estabilización
2. Fertirriego, (Obaya, 1988), (Pande, 1997)
3. Biogás (Valderrama 1990)
4. Biodiscos
5. Concentración – Incineración (Campos 1995)
6. Levadura torula
7. Fluidizante para pastas crudas de cemento
8. Utilización de plantas acuáticas
9. Eliminación de color
10. Recirculación a la producción de alcohol

La utilización de fluidizantes constituye una forma de disminuir el contenido de agua en la pasta, a valores por debajo de la norma establecida (36%), cuando en la fábrica se mantiene este valor en un rango de 40 - 42% de humedad. Con cada unidad por ciento de descenso de agua en la pasta, decrece el caudal del horno en 1,5% y simultáneamente desciende el consumo de calor en aproximadamente el 1%.

Pruebas industriales realizadas en la producción de cemento (Damas, 1985), utilizando mostos de destilería como fluidizante, permitieron obtener la fluidez para un 34% de humedad en la pasta (6% menos que la estándar), además de incorporar sólidos en el horno, lo que posibilitó una disminución en el consumo de combustible.

De la Cruz (1997), mostró que mediante una integración de los resultados económicos con el % alcohol obtenido experimentalmente, se propone como alternativa integral la constituida por la experiencia 7: 52,86% de recirculación de los mostos y 80% del jugo de los filtros, con un consumo de miel de 182,42 ton/d, para lo que resulta un índice de 331,68 ton de miel por hectolitro de alcohol producido, con un efecto económico de 957.350 \$/año.

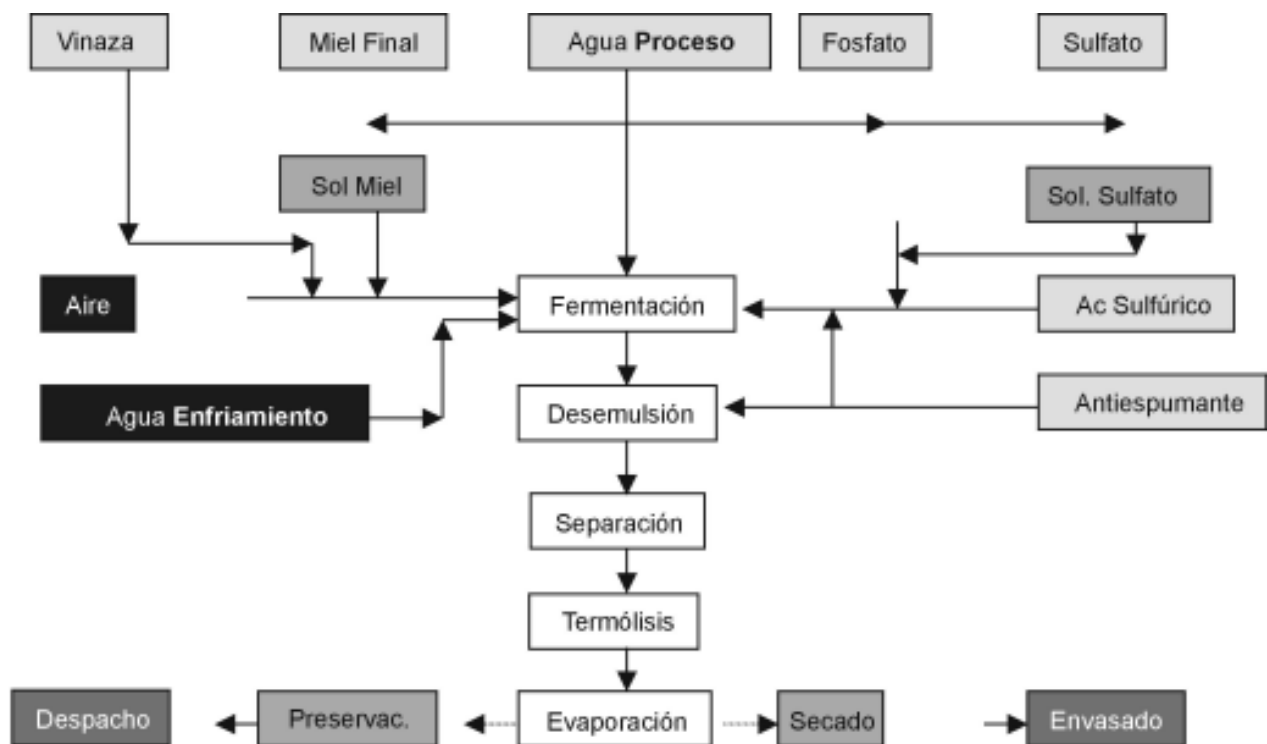
Las vinazas pueden ser la materia prima para otros procesos fermentativos, como la producción de proteínas, por su contenido en vitaminas del complejo B, trazas de elementos como Co, Ni, Mn, Mg, Cu, Fe, aminoácidos libres, ácido carbónico, mono y disacáridos, D-glucosa, D-fructosa, y sacarosa, nitrógeno, ácidos orgánicos, K, Na y otros (Gengel, 1991).



El estimado de la inversión se obtiene mediante la regla de 0.6, a partir de la capacidad de la planta requerida y de la inversión requerida para una planta de capacidad conocida.

La producción de proteína unicelular (levadura torula), consiste en la fermentación aeróbica de la vinaza por la levadura *Cándida Utilis*, con la adición de nutrientes. En la Figura 1, se esquematiza el proceso de obtención de la torula.

Figura 1. Esquema del proceso de obtención de la torula



En la literatura se reporta que una planta de torula con el uso de miel final y mosto como sustrato, con capacidad de 40 t/d, requiere una inversión \$ 6.600.000, (Colectivo de autores, 1980). Igualmente, con el uso de mieles finales se necesita una inversión de 14.6 millones de pesos para producir 12.000 t/a (Colectivo de autores, 1999).

Nuestro análisis está focalizado en el estudio de una solución al problema de los residuales líquidos de la producción de bioetanol, considerando la producción de levadura de torula con el uso de miel y mosto, como alternativa complementaria a las posibles ventajas económicas que ésta representa y su aporte social en la solución de la alimentación animal, siendo viable en el contexto de los países productores de azúcar y etanol.

1. Materiales y métodos

Para la determinación de alternativas en la solución ambiental, y de la capacidad de producción de torula, se propone el procedimiento expresado a continuación:

1. Análisis de las alternativas propuestas previamente para la utilización de los residuales de la destilería, referidas en la Tabla 1.
2. A partir de las alternativas más atractivas, determinar el volumen de mosto sobrante.
3. Conformar las alternativas para el estimado de la inversión para la producción de levadura torula.
4. Fijar la capacidad de producción de torula, a partir del flujo de mosto, como sustrato limitante

5. Determinar la inversión requerida para cada alternativa, mediante la regla de 0.6
6. Estimar el costo de producción para cada variante
7. Realizar el análisis de los indicadores económicos de cada alternativa

1.1 Análisis de las alternativas propuestas

Se retoma el estudio realizado por López, en el que se mostró que los mostos de la destilería Paraíso se pueden reutilizar limitadamente, a partir de las posibilidades actuales y se estudia la ejecución de nuevos proyectos, entre los que se consideraron:

- **Lagunas:** El sistema de lagunas de la destilería Paraíso ha sufrido una serie de transformaciones en sus dimensiones iniciales, desde su construcción en 1947. En la actualidad se encuentra sobrediseñado y requiere de una necesaria y urgente reconstrucción.
- **Fertirriego:** El complejo agroindustrial dispone de un sistema para beneficiar 12 caballerías destinadas a la producción cañera. Sin embargo, las limitaciones de disponibilidad energética y de mantenimiento, no han posibilitado su uso regular. Según la norma de riego de 400 a 500 m³/ha y un ciclo de riego de 12 a 15 días, es necesaria la ampliación a 64 caballerías para asimilar 3000 m³/d de residual; de ellos 2500, corresponden la planta de azúcar y 1500 a la destilería.
- **Biogás:** El monto de la inversión de la Planta de Biogás, diseño ICIDCA, se obtuvo por el estimado de costo de montaje e instalación de una planta similar (en construcción), que es de 3 millones, por el factor de 0,6 (Max and Edgar, 1980).
- **Fluidizante:** Se consideraron tres variantes en función de la capacidad de producción de la fábrica de cemento, para cada una de las cuales varía el efecto económico. El flujo de mosto necesario se determinó mediante un balance parcial de agua en la planta de cemento. Se utilizó un precio promedio del crudo de \$ 66.11 (Ministerio de Economía y planificación, 1999). Las vías analizadas para el traslado de mosto son las siguientes:

- 1) Ferrocarril, 2) Automotor, 3) Transporte por carretera y 4) Mostoducto (Transporte por tubería).

1.2 Volumen de mosto sobrante

El flujo de mosto disponible para la producción de torula, se determina por:

$$M_{sd} = M_t - M_{pa} \quad (1)$$

Donde:

M_{sd} : Mosto disponible para la producción de torula, m³/d

M_t : Mosto total producido en la destilería, m³/d

M_{pa} : Mosto consumido en los proyectos anteriores, m³/d

1.3 Aternativas para el estimado de la inversión para la producción de levadura torula

Las alternativas se determinan a partir de la selección de las anteriormente definidas en los 14 proyectos estudiados por López (1999) y la incorporación de la producción de proteína unicelular, a partir del mosto disponible y del mosto total producido en la planta de bioetanol.

1.4 Capacidad de producción de torula

Según el reporte de índices de consumo de plantas de torula, a partir de mosto y miel final, es posible determinar la capacidad productiva de una planta de este tipo a partir de la siguiente expresión (Colectivo de autores, 1980, 1999):

$$PT_b = \frac{M_{sd}}{96 \text{ m}^3/\text{t}} \quad (2)$$

1.5 Inversión requerida

La inversión requerida se estima a través de la expresión (Max and Klaus, 1980):

$$\text{Costo Planta}_b = \text{Costo Planta}_a = * \left(\frac{PT_b}{PT_a} \right)^{0.6} \frac{IC_{actual}}{IC_{1980}} \quad (3)$$

1.6 Costos de producción

La determinación de los costos de producción se realiza tomando la ficha de costo para plantas de torula a partir de miel final y vinaza, reportada por (colectivo de autores, 1980, 1999).

1.7 Indicadores económicos para cada alternativa

Los indicadores económicos se estiman por los métodos reportados por (Max and klaus, 1980), (Fraser et al, 2000).

2. Resultados y discusión

Los resultados de la evaluación económica obtenidos por López se comportaron de la forma siguiente:

Tabla 1. Criterios para la Evaluación de las alternativas.

No. de Proyecto	Inversión Inicial (\$)	Flujo de Caja	VAN	TIR	Pr (años)	TE (%)
1	139075,352	139517,253	\$652.907,07	100%	0,997	100,318
2	139075,352	290134,762	\$1.494.251,96	209%	0,479	208,617
3	139075,352	443678,863	\$2.351.944,72	319%	0,313	319,020
4	1308390,281	79622,2036	-\$638.888,61	-1%	16,432	6,086
5	1308390,281	229791,013	\$399.471,30	16%	5,694	17,563
6	1308390,281	379959,828	\$1.437.831,26	28%	3,443	29,040
7	1563510,896	66406,9557	-\$962.194,83	-5%	23,544	4,247
8	1563510,896	216575,765	\$76.165,09	11%	7,219	13,852
9	1563510,896	366744,581	\$1.114.525,04	22%	4,263	23,456
10	340000	104084,614	\$272.322,63	28%	3,267	30,613
11	340000	234587,228	\$1.001.306,33	69%	1,449	68,996
12	340000	372712,842	\$1.772.871,88	110%	0,912	109,621
13	714300	212638,117	\$215.191,97	13%	3,359	29,769
14	3059263,112	651439,19	\$857.771,55	20%	4,696	21,294
15	3557160,915	860617,061	\$1.573.598,52	23%	4,133	24,194

Fuente: López, G. L. (1999). "Alternativas para el tratamiento del residual de la destilería Paraíso". Tesis presentada para la opción del grado de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química, UCLV.

Donde:

- Los proyectos 1, 2, y 3, se corresponden con el mostoducto de asbesto cemento con las variantes de 1, 2 y 3 hornos en operación, respectivamente
- Los proyectos 4, 5 y 6 se corresponden con el mostoducto a partir de PVC, con las variantes de 1, 2 y 3 hornos en operación, respectivamente
- Los proyectos 7, 8 y 9, se corresponden con el mostoducto a partir de fibra de vidrio, con las variantes de 1, 2 y 3 hornos en operación, respectivamente
- Los proyectos 10, 11 y 12 se corresponden con el transporte de mosto por carretera, con las variantes de 1, 2 y 3 hornos en operación, respectivamente

- El proyecto 13 se corresponde con el sistema de fertirriego
- Los proyectos 13 y 14 se corresponden con la producción de biogás para una producción de etanol de 700 HL/d y 900 HL/d, respectivamente

Se seleccionó como posible alternativa el combinar con la producción de torula, los proyectos 1, 2 y 3 y el fertirriego con la capacidad instalada actualmente, por ser la más atractiva económicamente.

Para los tres posibles niveles de producción de la planta de alcohol, 550 HL/d, 700 HL/d y 900 HL/d, se obtuvo la disponibilidad de vinaza cruda, cuyos valores se reportan en la Tabla 2:

Tabla 2. Disponibilidad de vinaza por producción de alcohol

P. Alcohol	550 (HL/d)		700 (HL/d)		900 HL/d)	
	<i>Msr</i> (m ³ /d)	<i>Msd</i> (m ³ /d)	<i>Msr</i> (m ³ /d)	<i>Msd</i> (m ³ /d)	<i>Msr</i> (m ³ /d)	<i>Msd</i> (m ³ /d)
No reuso	-	880,00	-	1120,00	-	1440,00
Fluidizante cemento						
1 horno	303,00	577,00	303,00	817,00	303,00	1137,00
2 hornos	606,00	274,00	606,00	514,00	606,00	834,00
3 hornos	909,00	-	909,00	211,00	909,00	531,00
Recirculación de la vinaza						
0,33 mosto	374,00	506,00	436,59	683,41	561,33	878,67
Fertirriego	562,50	317,50	562,50	557,50	562,50	877,50

Donde:

Msr: mosto requerido para cada alternativa, m³/d

Msd: mosto disponible para la producción de torula, m³/d

Las variantes más atractivas para la producción de torula, son: 1) No reuso de la vinaza (usarla totalmente en la producción de torula), 2) en la que se usa como fluidizante para las condiciones de operación actual de la

producción de cemento (1 solo horno), 3) la recirculación de vinaza a la fabricación de alcohol en período de no-zafra analizada por de la Cruz (1999) y 4) el fertirriego para la capacidad actual del sistema. Como resultado se obtuvo lo que se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3: Capacidad de producción de torula y requerimientos de inversión

P. Alcohol	550 (HL/d)			700 (HL/d)			900 HL/d)		
Alternativa	Pt (t/d)	Pn (t/d)	Inversión	Pt (t/d)	Pn (t/d)	Inversión	Pt (t/d)	Pn (t/d)	Inversión
No reuso	9,17	9,50	2785749,8	11,67	12,00	3204916,27	15,00	15,00	3664061,01
Fluidizante cemento									
1 horno	6,01	6,00	2114456,2	8,51	9,00	2696829,23	11,84	12,00	3204916,27
2 hornos	2,85	3,00	1395020,8	5,35	6,00	2114456,19	8,69	9,00	2696829,23
3 hornos	-		-	2,20	2,00	1093769,83	5,53	6,00	2114456,19
Recirculación de la vinaza									
0,33	5,27	6,00	2114456,2	7,12	7,00	2319352,53	9,15	9,50	2785749,77
Fertirriego	3,31	4,00	1657845	5,81	6,00	2114456,19	9,14	9,50	2785749,77

Donde:

Pt: Producción de torula estimada, t/d

Pn: Producción nominal fijada para la planta, t/d

Los costos de producción estimados se reportan en la Tabla 4:

Tabla 4. Costo de producción para una planta de torula de 15 t/d, (330 d/a)

Componentes	UM	Índice	Valor(UM/d)	Costo(\$/d)	Costo(\$/a)
Materias primas					
Mosto	m ³ /t	96	-	-	-
Miel Final	t/t	2,55 ^{***}	38,25	1585,46	523202,63
Nutrientes					
Fosfato	t/t	0,09 ^{**}	1,35	464,40	153252,00
Sulfato de amonio	t/t	0,05 ^{**}	0,68	108,00	35640,00
Ácido sulfúrico	t/t	0,04 ^{**}	0,60	46,14	15226,20
Vapor	t/t	6,00 ^{**}	90,00	316,80	104544,00
Agua	m ³ /t	60,00 ^{***}	900,00	45,00	14850,00
E. Eléctrica	KW-h/t	1800,00 ^{**}	27000,00	1620,00	534600,00
Mano de obra	\$/t		10,00*	95,00	31350,00
Mantenimiento	\$/t		21,00*	199,50	65835,00
G. Generales	\$/t			4480,30	1478499,83
Depreciación	\$/t		14% Inversión **	1554,45	512968,54
C. Total	\$/t			6034,75	1991468,37

* Tomado de López (1999)

** Tomado de ICIDCA (1980)

*** Tomado de ICIDCA (1999)

Del estudio por López (1999), y los resultados obtenidos en este trabajo, se consiguen los costos de producción y los flujos de caja para las variantes seleccionadas previamente (Tabla 5) y los indicadores económicos para la selección de las mejores alternativas (Tablas 6, 7 y 8).

Tabla 5. Indicadores económicos de las alternativas seleccionadas previamente

Alternativa	Variante	Inversión 1 (\$)	C.T.P. ₁ (\$/a)	Ingresos 1 (\$/a)	F.C. ₁ (\$/a/a)
No reuso	-	-	-	-	-
Fluidizante cemento					
1 horno	Mostoducto AC	139075,35	79831,46	219348,71	139517,25
2 hornos	Mostoducto AC	139075,35	148562,67	438697,43	290134,76
3 hornos	Mostoducto AC	139075,35	214367,285	658046,15	443678,865
Recirculación de la vinaza					
	0,33	726 507.35	233 363,3	2467773,13	2234409,83
Fertirriego	-	-	-	-	

Fuente: López, G. L. (1999). "Alternativas para el tratamiento del residual de la destilería Paraíso". Tesis presentada para la opción del grado de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química, UCLV.

Donde: Inversión 1, inversión requerida para las alternativas previas, \$.

C.T.P.₁, costo total de producción para las alternativas previas, \$/a.

F.C.₁, flujo de caja para las alternativas previas, \$/a.

Tabla 6: Indicadores económicos considerando la producción de torula (550 HL/d)

Alternativa	CTP (\$/a)	Ingresos 2 (\$/a)	Inversión t (\$)	F.C.t (\$/a)	VAN (\$)	TIR	Rent %	Pr (a)
No reuso	1353586,88	1919247,00	2785749,77	565660,12	3475736,59	15	20,31	4,92
Fluidizante cemento								
1 horno	946043,05	1212156,00	2253531,54	405630,20	2492422,00	14	18,00	5,56
2 hornos	562997,87	606078,00	1534096,19	481777,56	2960314,54	32	31,40	3,18
3 hornos	-	-		-				
Recirculación de la vinaza								
	0,33	946043,05	2840963,54	2500522,78	15364630,04	118	88,02	1,14
Fertirriego	511703,50	808104,00	1657845,04	296400,50	1821252,79	12	17,88	5,59

Se comprueba que para las condiciones de operación actual de la planta, todas las alternativas tienen un VAN positivo, sin embargo la tasa interna de retorno y el período de recuperación de la inversión, demuestran que las alternativas más atractivas económicamente son: 1) la combinación de un mosto de uva con dos hornos de cemento en producción, con una tasa interna de retorno de 32% y una recuperación de la inversión de 3.18 años, y 2) la recirculación de vinaza con una TIR de 118% y el Pr de 1.14 años; esta última similar al sistema biostil usado en Brasil, reportado por De la Cruz (1998).

Tabla 7: Indicadores económicos considerando la producción de torula (700 HL/d)

Alternativa	CTP (\$/a)	Ingresos 2 (\$/a)	Inversión t (\$)	F.C.t (\$/a)	VAN (\$)	TIR	Rent %	Pr (a)
No reuso	1643404,91	2424312,00	3204916,27	780907,09	4798336,03	21	24,37	4,1
Fluidizante cemento								
1 horno	1307543,05	1818234,00	2835904,58	650208,20	3995247,92	20	22,93	4,4
2 hornos	946043,047	1212156,00	2253531,54	556247,71	3417901,40	23	24,68	4,1
3 hornos	403413,06	404052,00	1232845,18	444317,81	2730140,59	39	36,04	2,8
Recirculación								
0,33	1069804,7	1414182,00	3045859,88	2578787,06	15845530,13	111	84,67	1,2
Fertirriego	946043,05	1212156,00	2114456,19	266112,95	1635148,90	4	12,59	7,9

Para una producción de 700 HL/d; se tiene que las variantes más ventajosas se refieren igualmente a la recirculación para la producción de etanol y la fluidización de pastas de cemento en la máxima capacidad productiva.

Tabla 8: Indicadores económicos considerando la producción de torula (900 HL/d)

P. Alcohol	900 HL/d							
Alternativa	CTP (\$/a)	Ingresos 2 (\$/a)	Inversión t (\$)	F.C.t (\$/a)	VAN (\$)	TIR	Rent %	Pr (a)
no reuso	1991468,37	3030390	3664061,01	1038921,6	6383723,70	25	28,35	3,5
Fluidizante cemento								
1 horno	1643404,91	2424312	3343991,63	920424,34	5655609,14	26	27,52	3,6
2 hornos	1307543,05	1818234	2835904,58	800825,71	4920727,32	27	28,24	3,5
3 hornos	946043,05	1212156	2253531,54	709791,82	4361363,46	31	31,50	3,2
Recirculación								
0,33	1353586,88	1919247	3512257,10	2800069,95	17205217,73	100	79,72	1,3
Fertirriego	1353586,88	1919247	2785749,77	565660,12	3475736,59	15	20,31	4,9

Al incrementarse la producción de alcohol, se alcanzan indicadores favorables en las alternativas analizadas. Se mantiene que la mejor variante es la que combina la recirculación de los mostos con la producción de torula, pues permite obtener alimento animal y estrategias de uso de recirculación de la vinaza en la fabricación de alcohol, pues se recicla sólo el 25% de la vinaza producida, a diferencia del sistema biostil que recircula el total de la vinaza producida en una planta de bioetanol.

Para las condiciones actuales de operación, la combinación del fertirriego con la recirculación permite asimilar el volumen de residual a verter, sin embargo la selección de la alternativa, a criterio de los autores, debe favorecer la producción de proteína animal por el impacto social adicional que representa. Esto significaría la inversión de un capital de \$ 3.030.390, con una capacidad productiva de 15 t/d.



Conclusiones

Las alternativas que no consideran la producción de proteína animal, aunque son atractivas económicamente, no ofrecen posibilidades absolutas en la solución de la problemática ambiental en el complejo estudiado.

Para las condiciones actuales la recirculación de la vinaza y el fertirriego, las presentadas son las alternativas que permiten asimilar el volumen de mostos a verter y desde el punto de vista económico son factibles.

Aunque la producción de biogás es atractiva para niveles de producción de 900 HL/d, es posible analizar otras alternativas para la solución energética, lo que ofrece la ventaja de producir alimento animal económicamente factible.

Las variantes más atractivas económicamente son las que combinan la recirculación de vinaza para la obtención de alcohol, con la producción de levadura torula.

De fijarse la capacidad de producción de alcohol en 700 HL/d, se sugiere a los productores la realización de una inversión en una planta de torula de 7 t/d.

La alternativa de operación más ventajosa para la planta cuando la producción de 900 HL/d de alcohol, es la inversión en una planta de torula de capacidad de 15t/d que asimile el total de los residuales de la destilería, con el fertirriego como variante complementaria para la solución de los residuales.

Bibliografía

- Campos G., T. y otros (1995). "La caña de azúcar, su entorno ambiental. Parte I. Tratamiento de Vinazas en una planta piloto en México en un reactor de Biodiscos". Informe Técnico de Proyecto VIN-01-95. México: Pub. Facultad de Química, UNAM. 207 p.
- Colectivo de Autores (1980). "Los derivados de la caña de azúcar" En: Editorial Científico Técnica; ICIDCA. pp. 305-312.
- Colectivo de Autores (1999). "Manual dos derivados da cana-de- açúcar". ABIPTI- Associação dos instituições de Pesquisa Tecnológica. 1ª Edición en portugués. pp. 273-277.
- Damas Carreras, S. (1985). "Consideración para la disminución del consumo de energía de un horno rotatorio de cemento". Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química. UCLV. Curso 1984 -1985.
- De la Cruz, R. (1998). "Aplicación del análisis Complejo de Procesos en la intensificación de la destilería Paraíso". Monografía, Biblioteca virtual del MES, C. Habana.
- De la Cruz, R. y González, E. (1999); "Diseño de un sistema de tratamiento de jugo de los filtros y mostos de destilería para al producción de alcohol en condiciones de incertidumbre". En: Rev. Centro Azúcar.
- Durán de Bazúa, C.; Dordovés, M. y Zedillo, E. (1994). "Demonstration of cleaner production techniques for the sugarcane industry". Third consultancy report United nations Industrial Development Office. Project US/INT/91/217/15-01-2. ONUDI-México, GEPLACEA, PIQA y QA-UNAM. México, D.F.: 44 p.
- Fraser, N. M. et al. (2000). *Engineering economics in Canada*. 2nd edition.
- Gehlawat, J.K. 1997. "Riqueza a partir de los efluentes de los complejos industriales de alcohol, papel y azúcar". International Sugar Journal. Vol. XCIX. No. 1180.
- Gengel, A. (1991). "Study of the chemical Composition of cane alcohol vinasse". En: International Sugar Journal. Vol. LXXXIII. No. 1112.
- Gunjal B.B y Haoase, D.G. 1997. «Conceptos modernos en las tecnologías de tratamiento de efluentes de las destilerías». En: International Sugar Journal. Vol. XCIX. No. 1180.
- López, G. L. (1999). "Alternativas para el tratamiento del residual de la destilería Paraíso". Tesis presentada para la opción del grado de Máster en Análisis de Procesos en la Industria Química, UCLV.
- Max, P.; Klaus, T. (1980). "Plant design and economics for chemical engineering". Ciudad de La Habana: Edición Revolucionaria.
- Minaz. (1995). "Tratamiento de los desechos de las fábricas de producción de alcohol a partir de mieles de caña de azúcar mediante la recuperación de levadura *Saccharomyces* y la producción de biogás". Ciudad de la Habana.
- Obaya, M.C. (1988). "Valor Biofertilizante de los residuales de las destilerías de alcohol". ICIDCA. Vol. XXII. No. 2.
- Pande, H. P. y Sinha, B. K. (1997). "Uso de los desechos de la destilería como fertilizantes". En: International Sugar Journal. Vol. XCIX. No. 1180.
- Vaderrama J. O.; Montenegro, E. y Arrue, A. (1990). "Producción de biogás a partir de desechos orgánicos y energía solar I. Principios Básicos". Ingeniería Química.
- Shukla, G. L. (1995). "Control de la contaminación de la Industria azucarera: tratamiento y distribución de los efluentes del ingenio y la destilería". En: International Sugar Journal, Volume XCIX, No 1180.
- Valdés, E.; Obaya, M.C. y Ramos, J. (1990). "Algunas consideraciones del uso y/o tratamiento de los residuales de Industria azucarera y Derivados". III Congreso ATALAC. Preservación y manejo del medio ambiente. ICIDCA. La Habana.