

# Estudio de la posibilidad de producción de ácido cítrico en el central azucarero Uruguay

Eliany Abstengo Montero<sup>1\*</sup>, Luis Eduardo Guerra Rodríguez<sup>2</sup>, Erenio González Suarez<sup>3</sup>

1. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). Vía Blanca No. 804 y Carretera Central, San Miguel del Padrón. La Habana, Cuba. [eliany.abstengo@icidca.azcuba.cu](mailto:eliany.abstengo@icidca.azcuba.cu)
2. Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz” (UC)
3. Universidad Central Marta Abreu, de Las Villas (UCLV). Carretera a Camajuaní, km 51/2, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

## RESUMEN

El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbóxico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja. Es un buen conservante y antioxidante natural que se añade industrialmente, como aditivo en el envasado de muchos alimentos, como las conservas de vegetales enlatadas. En el presente trabajo se realiza un estudio de las posibilidades de instalación de una planta anexa a la UEB Central Azucarero Uruguay, ubicado en el municipio Jatibonico, de la provincia de Sancti Spíritus, para la producción de ácido cítrico debido a la gran demanda que tiene este producto en la sociedad. Para su elaboración se realiza un estudio detallado del proceso tecnológico de producción de ácido cítrico y se analizan las diferentes variables de operación. Además se valora su posible integración a la UEB Central Azucarero Uruguay, se realiza la gestión energética, el análisis técnico-económico en el que se obtuvo un valor de TIR de un 15.61 %, un valor de VAN de \$39236156 y PRD de 6 años y 5 meses.

**Palabras clave:** ácido cítrico, energía, seguridad, eficiencia, economía.

## ABSTRACT

Citric acid is an organic tricarboxylic acid that is present in most fruits, especially citrus fruits such as lemon and orange. It is a good preservative and natural antioxidant that is added industrially as an additive in the packaging of many foods such as canned vegetables. In this work, a study is carried out of the installation possibilities of a plant attached to the UEB Central Azucarero Uruguay, located in the Jatibonico municipality of the Sancti Spiritus province, for the production of citric acid due to the high demand that this product has in society. For its elaboration a detailed study of the technological process of citric acid production is carried out, analyzing the different operating variables. In addition, its possible integration to the Sugar Factory Uruguay is analyzed, performing energy management, the technical-economic analysis where an IRR value of 15.61% was obtained, a NPV value of \$ 39236156 and PRD of 6 years and 5 months

**Keywords:** citric acid, energy, safety, efficiency, economy.

## INTRODUCCIÓN

El ácido cítrico (AC) es un ácido orgánico muy frecuente en la naturaleza, es un compuesto intermedio en el ciclo de Krebs, se encuentra en gran cantidad de frutas. Fue aislado por primera vez por Scheele, al mezclar zumo de limón con cal y disolver el precipitado con ácido sulfúrico. A principios del siglo XX, la obtención del ácido cítrico se hacía a partir de limones pero, a mediados de siglo, ese proceso se hizo cada vez menos rentable y se optó posteriormente, cada vez más, por la

producción mediante la fermentación de un microorganismo. El ácido cítrico es usado principalmente, en la industria de la alimentación para la elaboración de bebidas y otros productos, también como saborizante y conservante, aunque tiene otras muchas propiedades por las que es utilizado en esta industria. El ácido cítrico también es utilizado en la industria farmacéutica, textil, cosmética, agrícola y de detergentes. El presente trabajo tiene como objetivo el estudio del ácido cítrico, así como su obtención, aplicaciones e impacto social (1).

Es uno de los ácidos más importantes producido en la actualidad a nivel mundial. Desde la década de los años '70 se ha manifestado un gran interés por muchos investigadores en su obtención (2,3) en el mejoramiento de las tecnologías existentes y en la búsqueda de nuevas aplicaciones, que ha permitido lograr importantes avances en la introducción de nuevos microorganismos, el empleo de nuevos sustratos y la variación de disímiles parámetros de operación para elevar la eficiencia industrial (4, 5).

La producción de ácido cítrico ha crecido notablemente en el presente siglo. La Unión Europea, Estados Unidos y China reúnen el 88 % del total mundial. Recientemente, se observó un aumento importante en la capacidad productiva de Europa Oriental y del Lejano Oriente. Se estima, por ejemplo, que la demanda en Estados Unidos, en los últimos años, creció hasta al 7 % anual. Este crecimiento se relaciona con la expansión de la industria de alimentos y bebidas (1).

Ante la desfavorable inestabilidad del mercado internacional del azúcar, la industria azucarera en Cuba ha visto la necesidad de diversificar su producción. Los elevados precios de adquisición de este producto oscilan entre 1 200 y 3 000 USD/t. Además, se abren disímiles aplicaciones, con tendencias al incremento, en las industrias alimenticia, farmacéutica, agrícola y de cosméticos (6).

Varios estudios han demostrado que esta nueva planta debe instalarse cerca de un central cuyos índices de producción sean elevados.

En Cuba los centrales que más producen son:

- Central Guiteras, ubicado en la provincia de Las Tunas, con una capacidad de producción instalada de 9200 t; cuenta con una destilería, una planta de recuperación de CO<sub>2</sub>, producción de biogás, planta de tablero, torula y alimento animal.
- Central Uruguay, ubicado en la provincia de Sancti Spíritus, cuenta con una capacidad de producción instalada 9 200 t, y produce, como derivado, miel-urea-bagacillo.

Como el Central Uruguay posee poca producción de derivados, a pesar de su gran capacidad de producción, y el ácido cítrico es un producto de alta demanda nacional, costo elevado en el mercado internacional y que no se produce en Cuba, el presente trabajo estudia la necesidad de instalar una planta de ácido cítrico anexa al central y como alternativa que se utilice como materia prima el bagazo obtenido en este.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del proceso tecnológico.

El proceso de obtención de ácido cítrico, a partir de bagazo de caña, cuenta con las siguientes etapas:

1. Pretratamiento del bagazo.
2. Filtración.
3. Fermentación.
4. Filtración.
5. Separación.

## 6. Cristalización.

## 7. Secado.

En primer lugar, ocurrirán una serie de etapas previas cuyo fin es acondicionar las materias primas principales de la fermentación: el hidrolizado de bagazo (7,8).

El pretratamiento se realiza con el objetivo de remover la lignina y la hemicelulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa, y aumentar la porosidad de los materiales. La tecnología ideal del pre-tratamiento debe cumplir los siguientes requerimientos (7,8):

- Aumentar la formación de azúcares o la habilidad de formar azúcares
- Minimizar la degradación o pérdidas de carbohidratos
- Impedir la formación de co-productos colaterales inhibitorios para los procesos de hidrólisis y fermentación subsecuentes y ser efectivo económicamente.

El primer pretratamiento consiste en una hidrólisis ácida con ácido cítrico al 6 %, a temperatura ambiente, durante una hora a 135 °C, con el objetivo de conseguir eliminar la hemicelulosa, sin afectar, apreciablemente, la celulosa, ni generar sustancias inhibitorias de la fermentación como el furfural, para mantener esta temperatura se utiliza como medio de enfriamiento agua a 5 °C (8,11).

Luego, el bagazo pretratado es filtrado en un filtro rotatorio, al vacío para lograr separar el líquido, que contiene hemicelulosa y ácido cítrico, del sólido que contiene la lignina y la celulosa. El licor será utilizado en la carga de los fermentadores.

Los fermentadores son biorreactores, en los cuales ocurren las siguientes etapas:

Etapas 1: carga de licor con hemicelulosas.

Etapas 2: fermentación de hemicelulosas.

Etapas 3: carga de celulosa+lignina (sólido).

Etapas 4: hidrólisis de celulosa.

Etapas 5: fermentación de la celulosa.

La carga de licor con hemicelulosa tardará aproximadamente 30 min, como máximo, junto con la recepción de los nutrientes necesarios, para que la fermentación ocurra adecuadamente y se ajusta el pH entre 6.8 y 7; en esta etapa ocurre el crecimiento y activación del hongo, mediante la inoculación con esporas y el suministro de aire estéril a un medio de concentración adecuada, en los fermentadores es donde se realiza la producción de ácido cítrico, por medio de un proceso aerobio, con alimentaciones incrementadas.

La fermentación va a ser la etapa más duradera de todo el proceso, que tiene lugar en la planta aproximadamente, 6 días. Durante el proceso fermentativo se controlarán distintas variables (temperatura, pH), para que transcurra de manera correcta y se produzca la mayor cantidad posible de ácido cítrico. Será un proceso de tipo discontinuo. Tras el tiempo estipulado, el fermentador se descarga. El producto obtenido, el licor posfermentativo, contiene ácido cítrico, agua e impurezas. Este licor se conduce hacia la siguiente etapa del proceso (12). Como resultados finales de la etapa fermentativa se obtiene una conversión del 82 % de celulosa y 75 % de las hemicelulosas, además de 95.7 t de ácido cítrico/lote.

El caldo de fermentación se clarifica usando un filtro rotativo de vacío. Luego, se usa una serie de unidades de extracción de mezclador-sedimentador para transferir el ácido cítrico de la fase acuosa a la orgánica, en esta etapa ocurre una separación líquido-líquido. La operación se lleva a cabo mediante la extracción, a contracorriente, del ácido cítrico en una fase acuosa caliente, en una segunda serie de unidades mezcladoras-sedimentadoras a 80 °C. La extracción posterior produce una solución acuosa purificada de ácido cítrico al 20 %. La fase orgánica se enfría y se recicla a los extractores mezcladores-sedimentadores. El disolvente orgánico es una mezcla de 60 % de isooc-

tanol y 40 % de triamina. Este disolvente es, esencialmente, inmiscible en agua y tiene una alta eficacia de extracción con respecto al ácido cítrico. La fase orgánica, que contiene el solvente y el ácido cítrico, se envía al paso de extracción posterior. Se logra, con este procedimiento, llevar el AC desde 24.8 %, en corriente de entrada, a 72.3 %, en salida.

Posteriormente, se cristaliza el AC y los cristales salen con una concentración de 88.1 %, estos se secan con aire caliente (120 °C), para obtener ácido cítrico al 99 % y se envasan.

## Análisis de la propuesta

### *Análisis de la tecnología seleccionada*

La evaluación económico-financiera de un proyecto, hecha de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto; o sea, si es o no rentable, y de ser conveniente, si es oportuno o no ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio. En presencia de varias alternativas de inversión, la evaluación es un medio útil para fijar un orden de prioridad entre ellas, seleccionar los proyectos más rentables y descartar los que no lo sean (13).

Al evaluar una inversión, normalmente la proyección se hace para un período de tiempo inferior a la vida útil real del proyecto, por lo que al término del período de evaluación es necesario estimar el valor que podría tener el activo en ese momento, por algunos de los tres métodos reconocidos para este fin, para calcular los beneficios futuros que podría generar, desde el término del período de evaluación.

Mediante el método de Lang se puede estimar la inversión:

$$Inv = \lambda * Eq$$

Donde:

$\lambda$ : coeficiente de Lang, este depende de las características de los fluidos que intervienen en el proceso, en este caso es sólido fluido y su valor es 4.9 (14).

Eq: costo de los equipos fundamentales del proceso

La tabla 1 muestra la primera propuesta de equipamiento y su costo estimado.

**Tabla 1.** Estimación de costo total del equipamiento

| Cantidad                    | Equipo        | Costo unitario(\$) | Costo(\$) |
|-----------------------------|---------------|--------------------|-----------|
| 3                           | Fermentadores | 965 000            | 2 895 000 |
| 2                           | Filtros       | 62 000             | 12 4000   |
| 1                           | Esterilizador | 430 000            | 43 000    |
| 1                           | Mezclador     | 568 000            | 2 272 000 |
| Costo total de equipamiento |               |                    | 5 334 000 |

Por tanto, el valor aproximado de la inversión es de \$26 136 600.

La planta que se propone instalar utilizaría la tecnología que propone Gálvez (15) con algunas modificaciones en la etapa de pre-tratamiento, debido a que la materia prima es bagazo, en la etapa de separación propuestas por Guerra (16) y se muestra en la tabla 2 el costo total de equipamiento real.

Para los equipos previstos, se estableció que sería posible mantener un aceptable nivel de fiabilidad de la planta, a partir del mantenimiento preventivo planificado y el nivel de inventarios de insumos y herramientas suficientes, para dar respuesta a las averías operativas, excepto para el compresor por su complejidad. El dimensionamiento de los equipos se realizó siguiendo la norma (17) y utiliza el simulador SuperPro Designer v9.0.

Tabla 2. Equipamiento de la planta

| Cantidad / en espera                   | Descripción                     | Costo unitario (\$) | Costo (\$) |
|--|---------------------------------|---------------------|------------|
| 1/1                                    | Compresor                       | 5900                | 11800      |
|  | Eficiencia % = 70               |                     |            |
| 1/0                                    | Cámara de esterilización        | 513000              | 513000     |
|  | Diámetro = 10 m                 |                     |            |
|  | Longitud = 11.73m               |                     |            |
| 3/0                                    | Fermentadores                   | 965000              | 2895000    |
|  | Volumen = 276.78 m <sup>3</sup> |                     |            |
| 1/0                                    | Filtro de aire                  | 1300                | 1300       |
|  | Flujo = 0.83 m <sup>3</sup> /s  |                     |            |
| 2/0                                    | Filtro de aire                  | 62000               | 124000     |
|  | Flujo = 2.32 m <sup>3</sup> /s  |                     |            |
| 4/0                                    | Tanque estabilizador            | 40000               | 160000     |
|  | Volumen = 170.04 m <sup>3</sup> |                     |            |
|  | Diámetro = 4.16 m               |                     |            |
| 1/0                                    | Tanque                          | 319000              | 319000     |
|  | Volumen = 62.08 m <sup>3</sup>  |                     |            |
|  | Diámetro = 3.16 m               |                     |            |
| 1/0                                    | Esterilizador                   | 430000              | 430000     |
|  | Diámetro = 2.92 m               |                     |            |
|  | Longitud = 13.22 m              |                     |            |
| 2/0                                    | Filtro rotatorio al vacío       | 169000              | 338000     |
|  | Área = 71.12 m <sup>2</sup>     |                     |            |
| 2/0                                    | Filtro rotatorio al vacío       | 178000              | 356000     |
|  | Área = 77.93 m <sup>2</sup>     |                     |            |
| 1/0                                    | Secador rotatorio               | 635000              | 635000     |
|  | Diámetro = 2.92 m               |                     |            |
|  | Longitud = 14.60 m              |                     |            |
| 1/0                                    | Mezclador/sedimentador-1        | 129000              | 129000     |
|  | Flujo = 47.8 m <sup>3</sup> /h  |                     |            |
|  | Número de etapas = 3            |                     |            |
| 1/0                                    | Mezclador/sedimentador-2        | 78000               | 378000     |
|  | Flujo = 90.8 m <sup>3</sup> /h  |                     |            |
|  | Número de etapas = 6            |                     |            |
| 4/0                                    | Mezclador Enchaquetado          | 568000              | 2272000    |
|  | Volumen = 81.76 m <sup>3</sup>  |                     |            |
|  | Diámetro = 3.26 m               |                     |            |
| 2/0                                    | Cinta transportadora            | 187000              | 374000     |
|  | Ancho = 148.37 cm               |                     |            |
|  | Longitud = 50 m                 |                     |            |
| Costo de otros equipos no listados     |                                 |                     | 2263000    |
| Accesorios                             |                                 |                     | 10700      |
| Costo total de compra del equipamiento |                                 |                     | 11298000   |

*Balances de materiales y energía de la planta.**Principales insumos*

La planta fue simulada en el software SuperPro Designer v9.0. Este software nos facilita los balances de materiales y energía. En la tabla 3 se muestra el consumo de los materiales que utiliza la planta.

Se realizaron los balances energéticos de las etapas de prehidrólisis, hidrólisis y evaporación ya que en estas etapas son en las que se consumen vapor y energía.

Las propiedades termodinámicas de los fluidos se tomaron de Perry *et al.*(18).

*Evaluación económica del proceso*

La evaluación económico-financiera de un proyecto valora criterios que comparan flujos de beneficios y costos y determina si un proyecto, es rentable o no y si es oportuno ejecutarlo en ese momento o se posterga su inicio. En presencia de varias alternativas de inversión, la evaluación es un medio útil para fijar un orden de prioridad entre ellas, seleccionar los proyectos más rentables y descartar los que no lo sean (19).

Al evaluar una inversión, normalmente la proyección se hace para un período de tiempo inferior a la vida útil real del proyecto, por lo que, al término del período de evaluación, es necesario estimar el valor que podría tener el activo en ese momento, por algunos de los tres métodos reconocidos para este fin, para calcular los beneficios futuros que podría generar desde el término del período de evaluación.

Los índices de consumo de vapor y energía se tomaron de los reportados por González (20) y se muestran en la tabla 4. A partir de esta información, se determina que los índices de vapor y electricidad anuales de ácido cítrico serán de 11.88 t/t AC y 1 700 kw-h/tAC, respectivamente, que se utilizaron en el cálculo de los costos variables (21).

**Tabla 4.** Consumo de energía en la producción de ácido cítrico

| Concepto                  | UM                    | Valor promedio | Valor máximo |
|---------------------------|-----------------------|----------------|--------------|
| Agua para el enfriamiento | Gal/min               | 250            | 350          |
| Aire comprimido           | Pie <sup>3</sup> /min | 18000          | 24000        |
| Electricidad              | kW                    | 5000           | 5500         |
| Refrigeración             | t                     | 150            | 200          |
| Vapor                     | Lb./hora              | 60000          | 66000        |
| Agua para el proceso      | Gal/min               | 120            | 150          |

La planta productora de ácido cítrico será ubicada anexa al central, como estrategia de integración y, por orientaciones de AZCUBA, el vapor que consumirá tendrá un precio de 4.96 \$/t vapor. A partir de la tecnología china, se determinaron los índices de consumo de materia prima y de los insumos necesarios para la producción de ácido cítrico. Estos valores se reportan en la tabla 5 (21).

Para un flujo de producción de 4 920 t/año, se trabajará en la planta un total de 7 920 h con un número de 53 lotes anuales.

El resumen ejecutivo se muestra a continuación:

- Inversión: \$ 50 169 952.
- Costo de operación: 6 243 001 \$/año.

**Tabla 3.** Consumo de materiales de la planta

| Material          | kg/yr       | kg/batch   |
|-------------------|-------------|------------|
| Aire              | 37311654.55 | 703993.48  |
| Sulfato de amonio | 99048.10    | 1868.83    |
| Nutrientes        | 619050.60   | 11680.20   |
| Solvente          | 39894.37    | 752.72     |
| Bagazo            | 11968311.60 | 225817.20  |
| Agua              | 5279932.32  | 99621.36   |
| Total             | 55317891.53 | 1043733.80 |

**Tabla 5.** Índices de consumo y precios de materia prima y materiales

| Materias primas y materiales      | Índice/t | Precio  |
|-----------------------------------|----------|---------|
| Bagazo (t)                        | 2        | 5.26    |
| Ácido cítrico (t)                 | 1        | 2000    |
| Óxido de calcio (t)               | 1        | 56.25   |
| Ácido clorhídrico(t)              | 0.4      | 169     |
| Hidróxido de sodio(kg)            | 10       | 0.66151 |
| Amonio(kg)                        | 10       | 0.18    |
| Ag. antiespimante(kg)             | 2        | 232.575 |
| Policuagulante (kg)               | 0.1      | 0.31147 |
| Carbón activado                   | 20       | 2.84    |
| <b>Servicios</b>                  |          |         |
| Electricidad (kWh)                | 1700     | 0.0753  |
| Vapor (t)                         | 11.88    | 4.96    |
| Agua de proceso (m <sup>3</sup> ) | 10       | 0.1     |
| Agua de servicio (m3)             | 40       | 0.34    |

- Ganancias: 9 840 413 \$/año.
- PRD: 6.40 años.
- Precio de venta: 2000 \$/t.

El análisis demuestra que el proyecto de instalación de la planta es factible económicamente con una inversión total de 50 168 952 USD y un período de recuperación de 6.40 años.

Estos datos se obtienen en el simulador Super Pro Designer (22).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de la integración de la planta de ácido cítrico al central

#### *Análisis económico*

La eficiencia económica del central es 27 038.7 MP/año, con un costo por peso de 0.76. La incorporación de una planta productora de 5000 t/a de ácido cítrico podrá aportar 7.5 MP como ingreso, al estabilizarse sus producciones al 70 % de la capacidad instalada en el 3er año de explotación, para reportar un retorno interno de la inversión después de los impuestos de 16.80 %, lo que permitiría recuperar la inversión en 5 años y tres meses y mejorar los indicadores anuales del ingenio en 10.7 MP/año.

#### *Análisis energético*

El central produce en zafra 367 996.8 t de bagazo y para la producción de 5 000 t de ácido cítrico se necesita 34 499 t de bagazo, restando estos valores quedan disponibles 333 497.8 t de bagazo que equivalen a 787 054.808 t de vapor, ya que el índice de generación de vapor es de 2.36 kg de vapor/kg de bagazo (23). En el central se consumen en el proceso aproximadamente 0.54 t de vapor por t de caña a moler, Uruguay muele 383.33 t de caña/h, lo que equivale a 919 992 t de caña molida en el periodo de zafra (100 días), por lo que consume 496 795.68 t de vapor. Si se le resta al vapor que se genera, el que consume el central se obtiene 290 259.128 t de vapor anual y si se analizan

los balances se determina que el consumo de vapor es de 2 385.40 t y restan 287 873.728 t de vapor. Los índices de consumo fueron tomados de Rodríguez (24). Este análisis demuestra que la instalación de la planta anexa es factible energéticamente y que puede ser abastecida, aún instalada la bioeléctrica y el vapor restante sería consumido por esta en los días sin zafra.

### *Análisis ambiental*

La introducción de una nueva tecnología incluye el aumento de los riegos ambientales asociados, que deben gestionarse adecuadamente, para minimizar su impacto.

El manejo inadecuado de los residuos sólidos provoca contaminación en las zonas urbanas, por una incorrecta organización, recolección, clasificación y disposición final.

Como parte de la política de producciones más limpias y aprovechamiento económico de los residuales, en la fábrica de azúcar se puede emplear la cachaza, que es un producto residual del proceso, como mejorador del suelo (abono orgánico). Además, se pueden reciclar las cenizas que se obtienen por la combustión del bagazo, que son ricas en fósforo y potasio, como fertilizantes.

Los residuales líquidos de la industria azucarera y sus derivados son fuente de contaminación ambiental, por su contenido de materias orgánicas. Estos residuales contienen cantidades apreciables de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes beneficiosos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, constituyen valiosos recursos para regar y fertilizar la caña de azúcar y otros cultivos, a la vez que son peligrosos si llegan a depositarse en ríos y presas porque pueden ocasionar grandes trastornos a la flora y la fauna.

Los residuales de la planta de ácido cítrico pueden ser reutilizados:

- La lignina como combustible para la generación de energía eléctrica.
- El micelio del hongo, junto con las corrientes líquidas residuales, como alimento animal.

Para reducir estos riesgos se proponen las siguientes acciones:

- Establecer un proyecto de producciones más limpias.
- Contar con medidores de flujo, en la entrada de las líneas de abasto y el medidor de caudal, a la salida del central y la planta anexa.
- Incrementar la reutilización de los residuales líquidos y sólidos en la agricultura cañera y no cañera, como fertilizantes, enmiendas orgánicas y mejoradores del suelo; previa caracterización de estas y con las recomendaciones específicas para el uso en los diferentes cultivos.
- Potenciar dentro del Sistema de Innovación Tecnológica, las investigaciones sobre el empleo de energías renovables, emplear subproductos y residuales provenientes de la agroindustria azucarera
- Estimular la producción de energía renovable y la generación de electricidad a partir de biocombustibles.

## **CONCLUSIONES**

1. La temperatura, tiempo y pH, en las etapas de pre-tratamiento y fermentación, son junto con la concentración de ácido, en el pre-tratamiento, las variables de operación más influyentes en el proceso de obtención de ácido cítrico de materiales lignocelulósicos.
2. La mejor tecnología a emplear en la planta, es la que propone el ICIDCA para producir ácido cítrico, a partir de mieles finales modificadas con una hidrólisis, en la etapa de pre-tratamiento, debido a que la materia prima es bagazo, y en la etapa de separación debe usarse una separación líquido-líquido y no un intercambio iónico.
3. Es posible cubrir los distintos requerimientos materiales y energéticos de la UEB Central Azuca-

tero Uruguay, siempre y cuando se utilice la producción sobrante anual de bagazo en su totalidad y utilicen los vapores de escape, en la etapa fermentativa.

4. Es factible el proceso inversionista previsto que asciende a un valor de inversión de 72 695 000 USD.
5. Es necesario tener mucho cuidado con el manejo del ácido sulfúrico, el almacenamiento del ácido cítrico y del hongo *Asperigullus niger*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Muñoz Villa, A.; *et al.* Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila, 2014. Vol. 6.
2. Pandey, P. *Studiess on citric acid production by Aspergillus niger in batch fermentation. Recent research in science and technology.* 2013.
3. Torrado, A., *Citric acid production from orange peel wastes by solid stated fermentation.* . Brazilian Journal of Microbiology, 2011.
4. Laboni Majumder, I.K., *et al.* *Citric Acid Production by Aspergillusniger Using Molasses and Pumpkin as Substrates.* 2010.
5. Mahin, A. *Citric Acid Production by Aspergillus niger through SolidState Fermentation on Sugarcane Bagasse.* Bangladesh J Microbiol, 2008.
6. Blanco, G. y Herryman M. *Situación mundial y tendencias en la producción y uso del ácido cítrico.* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA). , 2005.
7. Abdullah-Al-Mahin, *et al.* *Improved Citric Acid Production by Radiation Mutant Aspegillus Niger Using Sugarcane Bagasse Extract.* 2012.
8. Nápolez, A.I. y López R. *Hidrólisis y tratamientos químicos a los materiales celulósicos.* 1987, Ciudad de la Habana: Editorial Científico-Técnica.
9. Sun, Y. and C. NG, *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review.* Biore-sources Technology, 2002.
10. Mesa, L. y Gonzalez E. *Technical economic evaluationof alternatives for assimilation from sugar cane bagasse.* Congreso de Medio Ambiente y Biocombustibles., 2009.
11. Piñeros, Y. *Aprovechamiento de biomasa lignocelulosica. Algunas experiencias de investigación en Colombia.* 2014.
12. Ali, S. *et al.* Production of citric acid by *Aspergillus niger* using cane molasses in a stirred fermentor. 2002.
13. Vizzio, M. *Ordenamiento de la Formulación, y Evaluación Financiera.* 1996.
14. Peters, M. y Timmerhaus, K. *Plant Desing and Economics for Chemical Engeeniers.* 1991.
15. Galvez, L. *Manual de los derivados de la caña de azúcar.* 2000.
16. Guerra, L.E. *Propuesta tecnológica para la producción de ácido cítrico a partir de un residuo de la agroindustria azucarera cubana.* 2015, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz.
17. ASME, *ASME2010.* 2010.
18. Perry, R.H. y Chilton, C.H. *Chemical Engineers´ Handbook.* 1973.
19. Vizzio, M. *Estudio de Caso: Ordenamiento de la Formulación, y Evaluación Financiera.* 1996.
20. González, E. *Los problemas de incertidumbre en el desarrollo diversificado integrado a la industria de la caña de azúcar.* Centro Azúcar, 2002. No 4.
21. López, L.; Soriano, L.; Gómez, M. Estudio de las diferentes capacidades para la producción de ácido cítrico en la región central de Cuba. Centro Azúcar, 2006. 33.
22. SPD, *SPD 9.0 Manual* 1991.
23. IPROYAZ *Estudio de Oportunidad Planta BIOELÉCTRICA UEB Central Azucarero Uruguay.* 2017.
24. Rodríguez, R. *Evaluacion prospectiva para transformar una fabrica de azucar en biorefineria.* 2016.