



BANCO CENTRAL DE CHILE

Reg. 5716

Santiago, 4 de diciembre de 2013

Señora
Evelin Venegas Rivas
Presente

De mi consideración:

Me refiero a la solicitud de acceso a la información pública, ingresada al Banco Central de Chile con fecha 18 de noviembre de 2013, sobre: *"Buen día, primero que todo me presento, mi nombre es Evelin Venegas, estudiante de ingeniería civil industrial de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile. Me encuentro realizando mi proyecto de título, en el cual estoy evaluando la posibilidad de instalar una empresa de alginato en la región de Coquimbo. Y quiero ver la posibilidad de que ustedes que entreguen cierta información que necesito. Esta es: - ¿A cuánto ascienden las ventas de alginato mundialmente?, los últimos 10 años o más, si es posible por país de exportación y/o importación. Si fuese posible en toneladas y monetariamente."*

Al respecto, pongo en su conocimiento, que en el cumplimiento de la función estadística encomendada al Banco Central de Chile, conforme lo dispuesto en el artículo 53 de la Ley Orgánica Constitucional que lo rige, le corresponde al Consejo establecer la naturaleza, contenido y periodicidad de la información que el Instituto Emisor debe compilar y publicar respecto de las principales estadísticas macroeconómicas nacionales, lo que se encuentra contemplado en el Acuerdo de Consejo N° 1493-02-090806.

De acuerdo con lo anterior, informamos a usted que el Banco Central de Chile no dispone de datos relativo a valor de las ventas a nivel mundial del alginato, sea en toneladas o monetariamente, como tampoco de información relativa a exportaciones e importaciones por países.

Sin perjuicio de lo anterior, podrá encontrar información estadística sobre exportaciones e importaciones del alginato en la base interactiva de comercio exterior ESTACOMEX que publica el Servicio Nacional de Aduanas (www.aduana.cl). En efecto, en ella se contiene información estadística desde 1990 en adelante sobre exportaciones e importaciones nacionales por producto. A la señalada base puede ingresar directamente a través del link:

<http://estacomex.aduana.cl/estacomex/asp/index.asp>

Saluda atentamente a usted,

ALEJANDRO ZURBUCHEN S.
Gerente General

Por orden del Sr. Presidente

c.c.: Sr. Presidente
Jefe de Unidad de Acceso a la Información

Diseño de una planta productora de ácido algínico y alginatos a partir de *Azotobacter vinelandii*

Alginate acid and alginates production from *Azotobacter vinelandii*: Plant processing design

Anilú Miranda-Medina*, Luis Peralta-Peláez, Alejandro González-Valdés,
María García-Hernández, María Sánchez-García

Instituto Tecnológico de Veracruz, Miguel Ángel de Quevedo 2779, Colonia Formando Hogar
Departamento de Ingeniería Química e Ingeniería Bioquímica. Teléfono (+229) 938-1385, 91780 Veracruz, Veracruz, México
Correo-e (E-mail): amime_77@hotmail.com

RESUMEN

En esta investigación se analiza la puesta en marcha en México de una planta productora de ácido algínico y alginatos (sodio, potasio y propilenglicol) a partir de *Azotobacter vinelandii*. Los rubros evaluados para esta innovación tecnológica fueron: Estudio de mercado, estudio técnico, estudio económico y análisis ambiental. La investigación documental encontró que hay un mercado importante en México en cuanto al consumo de estos productos la cual se proyectó al año 2016 donde se espera que el país importe 123,517 kg de ácido algínico, 388,018 kg de alginato de sodio, 32,880 kg de alginato de potasio y 214,476 kg de alginato de propilenglicol, siendo Estados Unidos el principal proveedor para México. Teniendo en cuenta que México cuenta con la tecnología para el diseño, así como la construcción de los equipos necesarios, se disminuyen los costos. El estudio económico muestra que la inversión se recuperaría en 6.5 años. Este lapso podría reducirse si el cálculo se plantea considerando la posibilidad de la producción nacional de ácido algínico y alginatos, teniendo con valor agregado una empresa más limpia.

Palabras clave: Ácido algínico, alginatos, *Azotobacter vinelandii*, geles.

ABSTRACT

In this research, the starting-up in México of an alginate acid and alginates (sodium, potassium, and propylene glycol) producing plant from *Azotobacter vinelandii* is proposed. Items evaluated for this technological innovation were: Market study, technical study, economical study, and environmental analysis. Documental research indicated that there is an important market in Mexico for these products. When projecting for year 2016, it is expected that Mexico will import 123,517 kg alginate acid, 388,018 kg sodium alginate, 32,880 kg potassium alginate, and 214,476 kg propylene glycol alginate, from the United States. Considering that Mexico possesses the design technology as well as the equipments construction know-how, costs are reduced. Economical analysis shows that investing costs are recovered in 6.5 years, that could even be reduced if calculations consider national production of alginate acid and alginates, with the plus of a cleaner production plant.

Keywords: Alginate acid, alginates, *Azotobacter vinelandii*, gels.

INTRODUCCIÓN

Generalidades

Los alginatos son las sales del ácido algínico, polisacárido lineal constituido por dos unidades monoméricas, el

*Autora a quien debe enviarse la correspondencia
Recibido: Julio 17, 2008, Aceptado: Noviembre 17, 2008

ácido β -D-manurónico (M) y el ácido α -L-gulurónico (G). Estos se agrupan en bloques de secuencias MM, MG, unidos por enlaces glucosídicos β (1-4) y bloques GG, GM, unidos por enlaces glucosídicos α (1-4) (Espín y col., 2000; Sabra y col., 2000). *Pseudomonas* y *Azotobacter* son las únicas fuentes procariontas para la obtención de este polímero. *Pseudomonas aeruginosa* es patógeno para el hombre, causando infecciones respiratorias crónicas en pacientes con fibrosis quística. El alginato producido por estas bacterias es rico en ácido manurónico. Algunas especies de *Pseudomonas* tienen la capacidad de formar polimanuronato careciendo totalmente de residuos de ácido gulurónico (Franklin y col, 1994). El alginato de algas varía en proporción de 25 a 75% de ácido D-manurónico (Moreno y col., 1999, 2005). Los tres parámetros esenciales que determinan la solubilidad del alginato en agua son (Moe y col., 1995):

- El valor de pH del medio.
- La fuerza iónica del medio.
- El efecto de iones gelificantes.

ALGINATO COMO GEL

El tipo de gel de alginato depende del número, fuerza, longitud y rigidez de las cadenas entre los enlaces. El módulo de gel de Ca-alginato depende fuertemente en la composición y secuencia de los monómeros en la molécula de alginato. Un alginato rico en residuos de **G** forma geles fuertes y densos, mientras que un alginato rico en residuos **M** forma geles suaves y elásticos. Por esta razón, solamente los alginatos que tienen bloques **G** (algas y alginato bacteriano) pueden enlazar calcio para formar geles rígidos, mientras que el alginato proveniente de *Pseudomonas* forma solamente geles suaves debido a la carencia de bloques **G** en el polímero. (Moreno y col., 2005).

Diferentes tipos de biopolímeros: Polisacáridos de plantas

La principal propiedad de los polisacáridos de origen vegetal es su poder espesante y gelificante, aunque también su capacidad de estabilización de emulsiones o de retención de agua. Algunas de sus aplicaciones industriales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales polisacáridos de origen vegetal (Mata, 2006)

| Origen | Polímero | Especie | Aplicación | CEE |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------|--------|
| Extractos de semillas | Goma guar | <i>Cyamopsis tetragonoloba</i> | Espesante | E412 |
| | Goma garrín | | Espesante | E410 |
| Exudados de plantas | Goma arábiga | <i>Ceratonía siliqua</i> | Estabilizantes | E414 |
| | Goma tragacanto | <i>Acacia</i> sp. | Espesante | - |
| Extractos de sub-productos vegetales | Goma Karaya | <i>Astragalus</i> sp. | Espesante | - |
| | Goma índica | <i>Sterculina urens</i> | Espesante | - |
| Derivados de la celulosa | Pectinas | | Estabilizante | E440 a |
| | Metilcelulosa | | Espesante y b | |
| | Carboximetilcelulosa | | Espesante | E461 |
| | Hidroxipropilcelulosa | | Espesante | |
| | Hidroxipropilcelulosa | | Espesante | |

CEE (denominación asignada por la Comunidad Económica Europea)

Polisacáridos de algas marinas

En las algas marinas, los polisacáridos llevan a cabo un papel estructural parecido al de la celulosa en las plantas. Así, estas moléculas confieren a las algas una estructura más flexible que les permite soportar fuerzas y movimientos debido a la acción de las corrientes de agua (Díaz y Acevedo, 1999). Las numerosas especies de algas marinas existentes se clasifican en cinco categorías fundamentales en función de sus pigmentos y cada familia produce polisacáridos de diferentes tipos (Tabla 2).

Tabla 2

Principales familias de algas marinas y polisacáridos producidos por ellas (Mata, 2006)

| Familia | Polisacáridos |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Cyanophyceae (algas verde azuladas) | Glucógeno, lipopolisacáridos |
| Xanthophyceae (algas amarillas verdosas) | Laminarano, celulosa, 1-6 α -D glucanas, xilanas |
| Chlorophyceae (algas verdes) | Almidón, laminarano, celulosa, glucomanas |
| Rhodophyceae (algas rojas) | Agar, carragenina, furcellarano |
| Phaeophyceae (algas marrones) | Alginatos, heteroglucanas sulfatadas |

Polisacáridos microbianos

Los polisacáridos microbianos ofrecen una serie de ventajas frente a los de origen vegetal (algas). Entre estas ventajas pueden citarse la gran versatilidad de los microorganismos para sintetizar polisacáridos neutros o

con carga, con gran variedad en cuanto a su composición y propiedades funcionales, aunado a su producción, la cual es a partir de una fuente renovable e inagotable y puede llevarse a cabo bajo condiciones controladas. Otra ventaja, es la posibilidad de manipulación genética que permite la obtención de productos con mejores propiedades funcionales e incluso mayor calidad (Mironescu, 2003). En la Tabla 3 se presentan algunos polisacáridos de interés comercial (Mata, 2006).

Tabla 3
Principales polisacáridos microbianos de interés comercial (Mata, 2006)

| Polisacárido | Microorganismos |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Celulosa | <i>Acetobacter xylinum</i> |
| Curdlana | <i>Acetobacter</i> sp. <i>Alcaligenes faecalis</i> var. <i>myxogenes</i> <i>Agrobacterium</i> spp. |
| Dextranas | <i>Leuconostoc mesenteroides</i> <i>Lactobacillus</i> spp. <i>Streptococcus</i> spp. |
| Elsiana | <i>Elsinoe leucospila</i> |
| Escleroglucana | <i>Rhizobium trifolii</i> J60 |
| Levana | <i>Scherotium rolfsii</i> <i>Scheyzophyllum commune</i> <i>Bacillus polymixa</i> <i>Erwinia herbicola</i> <i>Streptococcus salivarius</i> |
| Pululana | <i>Aureobasidium pullulans</i> |
| Ácido hialurónico | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Estreptococos grupo A y C |
| Alginatos | <i>Azotobacter vinelandii</i> <i>Azotobacter chroococcum</i> <i>Pseudomonas</i> spp. |
| Desulfatoheparina | <i>Escherichia coli</i> K5 |
| Emulsana | <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> |
| Esquizofilana | <i>Schizophyllum commune</i> |
| Galana | <i>Sphingomonas paucimobilis</i> |
| Rhamsana | <i>Alcaligenes</i> sp. |
| Succonoglicana | <i>Sinorhizobium</i> spp. <i>Agrobacterium</i> spp. <i>Alcaligenes</i> spp. |
| Xantana | <i>Xanthomonas campestre</i> |
| XM6 | <i>Enterobacter</i> XM6 |
| Welana | <i>Sphingomonas</i> sp. <i>Zoogloea ramigera</i> |
| Otros | <i>Rhizobium</i> sp. |

Procesos de obtención de alginatos: Extracción de alginatos de algas

El alginato está presente en la pared celular de las algas caféas como sales de calcio, magnesio y sodio. La meta del proceso de extracción es obtener alginato de sodio seco en polvo. El objetivo del proceso de extracción de alginato a partir de las algas es convertir todas las sales de alginato a sales de sodio, disolverlas en agua y eliminar los residuos del alga por filtración (McHugh, 2003).

Producción de alginatos por vía biotecnológica

Los biorreactores utilizados para la producción comercial de polisacáridos microbianos consisten en recipientes aireados dotados de agitación mecánica que proporcionan la turbulencia necesaria para la formación de pequeñas burbujas y el mezclado, lo que garantiza una buena transferencia de masa. El diseño de un biorreactor eficiente incluye un equilibrio entre la energía suministrada para la aireación y la destinada a la capacidad del bombeo de impulsor (o flujo de masa) que determina la transferencia de calor y el mezclado en el biorreactor (Cuesta y col., 2005; Jerga y col., 2006).

Aplicaciones

Los usos de los alginatos están basados en tres principales propiedades. La primera es su habilidad cuando se disuelven en agua para espesar la solución resultante, más técnicamente descrita como su capacidad para incrementar la viscosidad de las soluciones acuosas (Vermani y col., 1997). La segunda es su capacidad para formar geles; la formación de geles ocurre cuando una sal de calcio es adicionada a una solución de alginato de sodio en agua. La tercera propiedad de los alginatos es la capacidad para formar películas de alginato de sodio o calcio y fibras de alginato de calcio (Orive y col., 2002). En la Tabla 4 se condensan los usos de los alginatos.

Tabla 4
Usos de los alginatos en las diferentes industrias (Orive y col., 2002)

| Industria | Uso |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Textil | Como espesante en colorantes |
| Alimentaria | Utilizado como espesante en salsas, jarabes y helados. Forma emulsiones estables con saborizantes volátiles. Se utiliza como estabilizante de suspensiones |
| Farmacéutica y usos médicos | Elaboración de impresiones dentales. Interrumpe hemorragias, ayuda a la cicatrización rápida. Para la encapsulación de pastillas y cápsulas, es agente fijador y emulsificador |
| Cosméticos | Como estabilizante de espumas e hidratante del cabello, como suavizante en jabones, champúes ("shampoos") y cremas de afeitar |
| Biotecnología | Utilizado en técnicas para la inmovilización de células, en la microencapsulación de células |

Estudio de mercado

La producción anual de alginatos a escala mundial es de 22 mil toneladas, siendo los principales fabricantes: Reino Unido, Estados Unidos, Noruega y Francia, quienes aportan más del 80% de la producción y el

consumo mundial. Recientemente, han iniciado su elaboración a baja escala países como la India y Chile. México importa 300 toneladas anuales de alginatos, los cuales son empleados para la elaboración de productos textiles, alimenticios y farmacéuticos (SIAVI, 2007). La Figura 1 presenta estas cifras. Como se puede observar, el proveedor más importante de México es Estados Unidos, el cual compra la materia prima a comercializadoras mexicanas (proveniente de algas) y después de haberla procesado, la vende a México como producto final: Ácido algínico. En la Figura 2 se muestran las importaciones de los diversos tipos de alginatos, en kg, en donde se puede visualizar más claramente la demanda existente para cada uno de ellos. En la Tabla 5 se muestra un resumen de los mercados de alginato para el año 2001. El mercado total tiene un valor de alrededor de 195 millones de dólares.

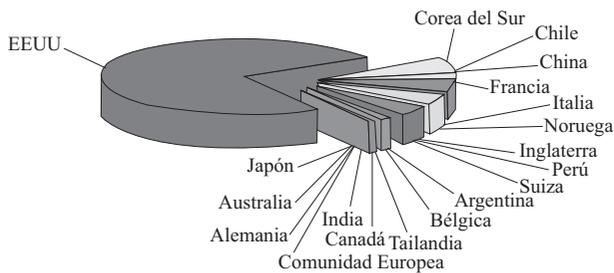


Figura 1. Países exportadores de ácido algínico y sus derivados a México (2000-2004) (SIAVI, 2007)

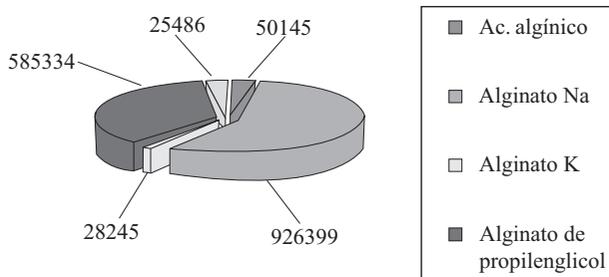


Figura 2. Importaciones de alginatos a México, en kg, durante los años 2000 al 2005 (INEGI, 2007)

Tal y como lo demuestra los datos estadísticos consultados en el INEGI (2007), los principales productos importados por México son (listados en orden de magnitud): Alginato de sodio, alginato de propilenglicol, ácido algínico, alginato de potasio y, finalmente, alginatos de magnesio, amonio y calcio.

Tabla 5
Mercado de consumo de alginato (FAO, 2001a,b)

| <i>Aplicación</i> | <i>Toneladas</i> | <i>Porcentaje, %</i> |
|----------------------------|------------------|----------------------|
| Alimentaria y farmacéutica | 10 000 | 33 |
| Todos los grados técnicos | 20 000 | 67 |
| Total | 30 000 | 100 |

Hay 8 grandes productores, cuatro productores principales en Europa y Estados Unidos, dos en Japón, unos más pequeños en Chile e Indonesia y, probablemente, otros 20 productores menos importantes, muchos de ellos ubicados en China. En la Tabla 6 se enlistan los principales productores de alginatos a nivel mundial y su ubicación geográfica.

Tabla 6
Principales empresas productoras de alginatos y su ubicación geográfica (FAO, 2001a,b)

| <i>Empresa</i> | <i>Ubicación geográfica</i> |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| FMC Biopolymer | Estados Unidos |
| Degussa Texturant Systems | Alemania |
| Danisco Cultor | Dinamarca |
| Kimica Corporation | Japón |
| Fuji Chemical Industry Co Ltd | Japón |
| Algisa, Compañía Industrial de alginatos S.A. | Chile |
| China Seaweed Industrial Association | China |

Para determinar el precio de los productos se establece un promedio a partir del precio por kg que se maneja en los registros de importación del INEGI (2007) para el ácido algínico, alginato de potasio y alginato de propilenglicol. El precio para el alginato de sodio se determinó con base en las cotizaciones realizadas con tres proveedores de diferentes empresas, Alquimia Mexicana (2008), Gardhal, S.A. (2007) y ALFADELTA, S.A. de C.V. (2008), así como en la información del INEGI (2007). En la Tabla 8 se presentan los datos.

Tabla 8

Determinación del precio promedio por kg para ácido alginico, alginato de potasio, alginato de sodio y alginato de propilenglicol (ALFADELTA, 2008; Alquimia Mexicana, 2008; Gardhal, 2007; INEGI, 2007)

| Producto | Presentación, kg | Precio, \$(Pesos mexicanos) |
|----------------------------|------------------|-----------------------------|
| Ácido alginico | 248.38 | 1 |
| Alginato de potasio | 167.29 | 1 |
| Alginato de propilenglicol | 175.75 | 1 |
| Alginato de sodio | 3671.73 | 25 |

ESTUDIO TÉCNICO

Selección y justificación de las tecnologías

La selección de las tecnologías que se utilizarían en la producción depende de la estabilidad del producto a lo largo del proceso, así como también del grado de pureza deseada. Así mismo, estas tecnologías repercuten directamente en el costo de los equipos, en la inversión inicial y en los costos indirectos de operación. Por todo lo anterior, será fundamental la selección de la tecnología adecuada para el proceso (Geankoplis, 1998; Page y Sadoff, 1976; Parente y col, 1998; Pindar y Bucke, 1975).

Biorreacción

El biorreactor presenta un modo de operación por lote, en el cual el biorreactor se carga al inicio del ciclo con medio de cultivo y se inocula con el microorganismo. A partir de este momento la biorreacción procede sin reemplazo del medio fermentado y en principio sin la entrada de ninguna otra corriente de medio fresco, por un periodo definido, característico para la biorreacción en cuestión, al término del cual se detiene la operación para vaciar el contenido completo del reactor. El tiempo de operación está definido por el momento en que se alcanza el rendimiento, concentración o productividad máxima (Chen y col., 1985; Moilanen, 2006; Reyes y col., 2003; Saude y col., 2002; Trujillo y col., 2001).

Centrifugación

La centrifuga elegida para la separación de la caldo y biomasa es una centrifuga de discos. Éstas son las más

utilizadas para caldos biológicos donde el diferencial de densidades suele ser bajo y la viscosidad alta. En este caso, debido a que es un producto muy viscoso por ser una goma, este tipo de centrifuga resulta ser la más adecuada para el proceso (Fett, 1995).

Extracción líquido-líquido

Después de haber concluido la centrifugación para la separación de la biomasa del sobrenadante, se lleva a cabo una extracción líquido-líquido ya que el producto de interés es extracelular. Esta operación se realiza mediante la adición de dos volúmenes de etanol al 95% por un volumen de sobrenadante para lograr la precipitación o separación del ácido alginico (Geankoplis, 1998).

Mezclado

El diseño de la fase de mezclado es necesario para las etapas en los tanques de precipitación de los diferentes tipos de alginatos. La viscosidad del fluido es uno de los factores que influyen en la selección del mezclador (Galindo y Albiter, 1996; Galindo y Nienow, 1992; Geankoplis, 1998).

Lixiviación

La torta proveniente de la centrifugación es llevada a una lixiviación con dos volúmenes de etanol al 95% por un volumen de torta obtenida, para lograr una mejor separación de ácido alginico con una pureza mayor. Las etapas que tienen lugar en la extracción sólido líquido son (Geankoplis, 1998):

- Cambio de fase del soluto al disolverse en el disolvente
- Difusión a través del disolvente existente en los poros del sólido hacia el exterior de la partícula
- Transferencia del soluto desde el disolvente en contacto con la partícula hacia la masa principal del disolvente

Reducción de tamaño

Una vez que se obtiene la torta del precipitado del ácido alginico y de los alginatos de sodio, potasio y de

propilenglicol, se procede a la reducción de tamaño. El contenido de humedad de los materiales puede jugar un papel importante en la evolución del proceso de pulverización cuando excede del 5% ya que hay un incremento en la adhesividad del material, fijándose en distintas zonas del molino y formando aglomerados, con la consiguiente reducción de la efectividad o eficacia del proceso. Para llevar a cabo la modalidad de pulverización húmeda el material debe presentar (Gacesa, 1998):

- Consistencia pastosa
- Obliga a la adición de cantidades importantes de agua, generalmente > del 50% de la masa del producto.

Secado por aspersión

Por medio del secado por aspersión se retirará de la torta la humedad para obtener la biomasa ya completamente seca. En esta etapa de proceso se utiliza el secado por aspersión ya que es el método más ampliamente usado en alimentos para consumo humano y es el más económico. La distribución del tamaño de las partículas obtenidas por este método es en general menor a 100 μm . Una de las grandes ventajas de este proceso, además de su simplicidad, es que es apropiado para materiales sensibles al calor, ya que el tiempo de exposición a temperaturas elevadas es muy corto (5 a 30 s) (Geankoplis, 1998).

ANÁLISIS ECONÓMICO

La tasa interna de retorno o recuperación (TIR) es la tasa de descuento que, aplicada a los flujos netos de efectivos esperados durante la vida útil del proyecto, reduce el valor presente neto a cero, es decir la tasa de interés más alta que el inversionista podría pagar sin perder dinero:

$$\text{TIR} = \text{ganancias} / \text{inversión}$$

En la Tabla 9 se muestra el cálculo de la inversión total del capital necesario para la puesta en marcha de la planta productora de ácido algínico y alginatos (sodio, potasio y propilenglicol). En la Tabla 10 se presentan los ingresos por ventas de los diferentes productos.

Tabla 9
Cálculo de los costos para la puesta en marcha de la planta (Adaptado de Peters y Timmerhaus, 1991)

| <i>componentes</i> | <i>Costo, \$ (Pesos mexicanos)</i> |
|----------------------------------------------|------------------------------------|
| Costo del equipo | 30,354,700.00 |
| Costo de instalación | 11,838,333.00 |
| Instrumentación y control (instalación) | 3,946,111.00 |
| Costo de tubería (instalación) | 9,409,957.00 |
| Costos eléctricos (instalación) | 3,035,470.00 |
| Construcción (incluyendo servicios) | 8,802,863.00 |
| Materiales de construcción | 3,035,470.00 |
| Servicios auxiliares | 16,695,085.00 |
| Costo total directo de la planta | 87,117,989.00 |
| Supervisión | 8,711,798.90 |
| Costo total directo e indirecto de la planta | 95,829,787.90 |
| Contingencias | 4,355,899.45 |
| Inversión del capital fijo | 100,185,687.35 |
| | 22,462,478.00 |

Tabla 10
Ingreso por ventas

| <i>Producto</i> | <i>Producción (sacos de 25 kg/ año)</i> | <i>Precio de venta por saco, \$ (Pesos mexicanos)</i> | <i>Ingreso por venta, \$ (Pesos mexicanos)</i> |
|----------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Alginato de sodio | 2328 | 3671.73 | 8,547,779.70 |
| Alginato de potasio | 197 | 3,800 | 748,600.00 |
| Alginato de propilenglicol | 1287 | 4,000 | 5,148,000.00 |
| Ácido algínico | 741 | 6,000 | 4,446,000.00 |
| Total | 4553 | 16,300 | 8,890,379.70 |

El cálculo de la tasa interna de retorno es:

$$\text{TIR} = 0.154$$

La inversa del TIR se define como la velocidad o rapidez en el tiempo de recuperación del capital o inversión, sin tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo. En este caso es de:

$$R = 1/\text{TIR} = 1/0.1317 = 6.5 \text{ años}$$

En caso de ponerse en marcha el proyecto, la inversión se podría recuperar en 6 años y medio aproximadamente.

ANÁLISIS AMBIENTAL

Dentro de los parámetros a considerarse en la puesta en marcha de una planta productora de ácido alginico y alginatos se señalan los siguientes:

- Informe o manifestación de Impacto Ambiental
- Generación, manejo y disposición final de residuos de proceso

En este último punto ya se tiene señalados los residuos generados dentro del proceso y son:

- Sólidos: Comprende los residuos municipales y residuos de proceso. En los residuos municipales se encuentran aquellos generados en las áreas administrativas, baños, comedor y áreas verdes de la planta. En los residuos de proceso se tienen los producidos dentro del propio proceso, como las tortas generadas en las centrifugas, sustrato, biomasa, etc. Para los residuos municipales generados se dispondrá de los mismos con la recolecta por parte del servicio de limpieza municipal ofrecida por el municipio de Coatepec, Veracruz. Para los provenientes del proceso, los residuos sólidos generados en el proceso corresponden a *Azotobacter vinelandii*. Dado que este microorganismo está comprendido dentro de los organismos no patógenos, su disposición no está controlada por no causar daño al medio ambiente y, por lo tanto, su presencia en los residuos de tipo municipal no representa un peligro y pueden ser dispuestos junto con ellos. Una opción para los residuos sólidos de tipo biodegradable puede ser su aprovechamiento integral junto con los lodos obtenidos de la planta de tratamiento de aguas de tipo sanitario en un sistema anaerobio que genere biogás rico en metano que sirva para precalentarlos (Benvenuta-Tapia, 1999).
- Líquidos: Comprende los residuos líquidos grises y de proceso. En los residuos líquidos grises y negros están aquellos encontrados en las áreas administrativas, servicios sanitarios y comedor que pueden ser tratados directamente en una planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias (Miranda-Medina, 2004). Los líquidos de proceso se refieren a los desechos de *Azotobacter vinelandii* dentro de las corrientes de agua. Como se mencionó en el punto anterior, este microorganismo está comprendido dentro de los no patógenos por lo que su disposición no está controlada por causar daño a medio ambiente

y, por lo tanto, su presencia en los residuos líquidos del proceso no representa un peligro y pueden ser tratados directamente en la planta de tratamiento de aguas residuales sanitarias junto con los residuos líquidos sanitarios. Los lodos residuales de esta planta aerobia de tratamiento pueden ser reutilizados como se menciona arriba, para la producción de biogás rico en metano.

Consecuentemente, para cada uno de estos tipos de residuos se propone un sistema integral de disposición, el cual tiene como objetivo no solamente la minimización de los mismos sino su reutilización y aprovechamiento dentro de la planta, teniendo si no un sistema cero de residuos, sí uno amigable con el ambiente al lograr su minimización.

Conclusiones

Considerando que el objetivo de la presente investigación, que trata de la evaluación y factibilidad de la puesta en marcha de una planta productora de ácido alginico y de alginatos de sodio, potasio y proplenglicol a partir de *Azotobacter vinelandii* se pueden dar las siguientes conclusiones:

- ✓ Los alginatos actualmente presentan una gran diversidad de usos, entre los cuales pueden destacarse los de espesantes en alimentos, estabilizantes de espumas, suavizantes, etc.
- ✓ El análisis de mercado demostró que la mayor producción de alginatos está dada por el Reino Unido, Noruega, Francia y Estados Unidos y que el precio promedio de venta de estos alginatos muestran un gran interés por la producción de los mismos en México sin intermediarios
- ✓ El análisis técnico arrojó que es posible la producción en México de ácido alginico y de los diversos alginatos mediante vía biotecnológica con un proceso viable para una empresa mexicana dado que es una tecnología abierta
- ✓ El análisis económico muestra que se recupera la inversión en 6.5 años. El tiempo de recuperación se puede reducir aún más si se cotizan los equipos por empresas mexicanas
- ✓ El análisis ambiental demuestra que se puede tener una planta productora con tecnología amigable al ambiente, teniendo con esto no solamente una empresa más limpia sino también con un compromiso con la sociedad.

NOMENCLATURA

| | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| G | Ácido α -L-gulurónico |
| M | Ácido β -D-manurónico |
| R = 1/TIR | Velocidad o rapidez en el tiempo de recuperación del capital o inversión |
| TIR | Tasa interna de retorno o recuperación |

BIBLIOGRAFÍA

- ALFADELTA. 2008. Comunicación personal. Veracruz, Veracruz, México.
- Alquimia Mexicana. 2008. Comunicación personal. Veracruz, Veracruz, México.
- Benvenuta-Tapia, J.J. 1999. Estudio de las posibles emisiones contaminantes a la atmósfera de equipos que consuman biogás generado en plantas de tratamiento biológico de aguas residuales. *Tesis de Maestría en Ingeniería*. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Campo del conocimiento: Ingeniería Química, Campo disciplinario: Procesos). UNAM. México D.F. México.
- Chen, W., Chen, J., Chang, S., Su, C.H. 1985. Bacterial alginate produced by a mutant of *Azotobacter vinelandii*. *Am. Soc. Microbiol.* **49**(3):543-546.
- Cuesta, A., Monsalve-Gil, J., Mesa, M., Zapata, A., Trujillo, M. 2005. **Estrategias de cultivo en la producción de alginatos por *Azotobacter vinelandii***. Pub. Interna. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Díaz, A., Acevedo, F. 1999. Scale up strategy for bioreactors with Newtonian and non Newtonian broths. *Bioproc. Eng.* **21**:21-23.
- Espín, G., Castañeda, M., Guzmán, J., Moreno, S. 2000. GacS sensor kinase regulates alginate and poly-b-hydroxybutyrate production in *Azotobacter vinelandii*. *J. Bacteriol.* **182**:2624-2628.
- FAO, 2001a. Food and Agriculture Organization. Mercado de consumo de alginatos. Dirección electrónica: www.fao.org/docrep/field/003/AB483S/AB483S04.htm
- FAO, 2001b. Food and Agriculture Organization. Principales empresas productoras de alginatos y su ubicación. Dirección electrónica: www.fao.org/DOCREP/004/y3550s/Y3550S04.htm
- Fett, W. 1995. Yields of alginates by fluorescent *Pseudomonas* in batch culture. *Ind. Microbiol.* **14**:412-415.
- Franklin, M. J., Chitnis, C. E., Gacesa, P., Sonesson, A., White, D.C., Ohman, D. E. 1994. *Pseudomonas aeruginosa* AlgG is a polymer level alginate C5-mannuronan epimerase. *J. Bacteriol.* **176**(7):1821-1830.
- Gacesa, M. 1998. **Bacterial alginate biosynthesis-recent progress and future prospects**. *Microbiol.* **144**:1133-1143.
- Galindo, E., Albitzer V. 1996. High-yield recovery of xanthan by precipitation with isopropyl alcohol in a stirred tank. *Biotechnol.* **12**(4):540-547.
- Galindo, E., Nienow, A. 1992. Mixing of highly viscous simulated Xanthan fermentation broths with the Lighthing A-315 impeller. *Biotechnol.* **8**(3):233-239.
- Gardhal, 2007. 2008. Comunicación personal. Veracruz, Veracruz, México.
- Geankoplis, Ch. 1998. *Procesos de transporte y Operaciones Unitarias*. 3a. ed. Editorial Continental. México D.F. México.
- INEGI. 2007. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Importaciones de alginatos en México entre 2000-2005. Dirección electrónica: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.aspx>
- Jerga, A., Stanley, M., Tipton, P. 2006. Chemical mechanism and specificity of the C5-Mannuronan epimerase reaction. *Biochem.* **45**:9138-9144.
- Mata, J. 2006. Caracterización de los exopolisacáridos producidos por microorganismos halófilos pertenecientes a los géneros *Halomonas*, *Alteromonas*, *Idiomarina*, *Palleronia* y *Salipiger*. *Tesis* (Directoras: Dra. Emilia Quesada Arroquia y Dra. Victoria Béjar Luque). Universidad de Granada, Departamento de Microbiología. Granada, España.
- McHugh, D.J. 2003. *A guide to the seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper No. 441. 105 p. Roma, Italia.
- Miranda-Medina, A. 2004. **Uso eficiente del agua en el sector hospitalario**. Tesis de Maestría en Ingeniería. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Campo del conocimiento: Ingeniería Ambiental, Campo disciplinario: Agua). UNAM. Febrero 6, 2004. México D.F. México.
- Mironescu, M. 2003. Microbial polysaccharides. Production, characterization and properties. *Food Technol.* **7**(2):26-38.
- Moe, S.T., Draget, K., Skjak-Braek, G., Smidsrod, O. 1995. Temperature dependence of the elastic modulus of alginate gels. *Carbohydr. Pol.* **19**:279-284.
- Moilanen, P. 2006. Modeling aerated fermenters with computational fluid dynamics. *Ind. Eng. Chem.* **45**:8656-8663.
- Moreno, J., Vargas-García, C., López, M., Sánchez-Serrano, G. 1999. Growth and exopolysaccharide production by *Azotobacter vinelandii* in media containing phenolic acids. *Microbiol.* **86**:439-445.
- Moreno, R., Santacruz, I., Nieto, M. 2005. Nuevas aplicaciones de los alginatos en el conformado cerámico. *Bol. Soc. Esp. Ceram.* **44**(1):45-52.
- Orive, G., Ponce, S., Hernández, R.M., Gascón, A.R., Igartua, M., Pedraz, J.L. 2002. Biocompatibility of microcapsules for cell immobilization elaborated with different type of alginates. *Biomaterials.* **23**:3825-3831.
- Page, W., Sadoff, H. 1976. Physical factors affecting transformation of *Azotobacter vinelandii*. *Am. Soc. Microbiol.* **125**(3):1080-1087.
- Parente, E., Clementi, F., Moresi, M. 1998. Alginate production by *Azotobacter vinelandii* DSM576 in batch fermentation. *Ind. Microbiol. Biotechnol.* **20**:171-176.
- Peters, M., Timmerhaus, K. 1991. *Planta design and economics for chemical engineers*. 4. ed. Mc.Graw Hill. Nueva York, NY. EEUU.
- Pindar, D., Bucke A. 1975. The biosynthesis of alginic acid by *Azotobacter vinelandii*. *Biochem.* **152**:617-622.
- Reyes, C., Peña, C., Millán, M. 2003. Reproducing shale flasks performance in stirred fermentors: Production of alginates by *Azotobacter vinelandii*. *Biotechnol.* **105**(1-2):189-198.
- Sabra, W., Zeng, A., Lunsdorf, H., Deckwer, W. 2000. Effect of oxygen on formation and structure of *Azotobacter vinelandii* alginate and its role in protecting nitrogenase. *Am. Soc. Microbiol.* **66**(9):4037-4044.
- Saude, N., Cheze-Lange, H., Beunard, D., Dhulster, P., Guillochon, D., Caze, A., Morcellet, M., Junter, G. 2002. Alginate production by *Azotobacter vinelandii* in a membrane bioreactor. *Process Biochem.* **38**:273-278.
- SIAMI, 2007. Sistema de información arancelaria. Exportación de ácido alginico y sus derivados. Dirección electrónica: <http://www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviWeb/siaviMain.jsp>
- Trujillo, M., Peña, C., Ramírez, O., Galindo, E. 2001. Effect of oscillating dissolved tension on the production of alginate by *Azotobacter vinelandii*. *Biotechnol.* **17**(6):1042-1048.
- Vermani, M., Kelkar, S., Kamat, M. 1997. Studies in polysaccharides production and growth of *Azotobacter vinelandii* MTCC 2459, a plant rhizosphere isolate. *Microbiol.* **24**:379-383.