

EVALUACIÓN TECNO-ECONÓMICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
AGAR A PARTIR DE ALGAS ROJAS DEL GÉNERO *GRACILARIA* sp. A ESCALA
PILOTO

MAIRA ALEJANDRA CASTILLA GUZMÁN
MARIO ANDRES CABARCAS LORDUY

UNIVERSIDAD DE SAN BUENVENTURA CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA, ARTES Y DISEÑO
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C
2014

EVALUACIÓN TECNO-ECONÓMICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
AGAR A PARTIR DE ALGAS ROJAS DEL GÉNERO *GRACILARIA* sp. A ESCALA
PILOTO

MAIRA ALEJANDRA CASTILLA GUZMÁN
MARIO ANDRÉS CABARCAS LORDUY

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico

DIRECTOR
Ángel Darío González Delgado Ing. Quim. Ph. D.

UNIVERSIDAD DE SAN BUENVENTURA CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA, ARTES Y DISEÑO
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C
2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

A DIOS, a mis padres Heber Castilla y Rina Guzmán, a mi hermano Miguel Castilla, a mi abuela Teresa Sarabia y en memoria de mis abuelos Humberto Castilla, Macedonio Guzmán y Miriam de Guzmán, por ser parte fundamental para alcanzar cada logro en mi vida.

MAIRA ALEJANDRA CASTILLA GUZMÁN

En primer lugar dedico este triunfo a DIOS por haberme dado la fortaleza para culminar mis estudios de forma satisfactoria, después a mi familia, amigos y profesores que siempre me dieron apoyo en las dificultades que se presentaron en el transcurso de la carrera universitaria.

MARIO ANDRES CABARCAS LORDUY

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a DIOS por permitirme alcanzar esta nueva meta y por darme la fortaleza necesaria para cumplir un sueño más en mi vida.

A mis padres, Heber Castilla y Rina Guzmán y a mi hermano Miguel Castilla por todo su esfuerzo, apoyo incondicional, dedicación y entrega con un toque de amor para conmigo, porque sin importar las circunstancias siempre estuvieron allí.

A mi director de tesis, Ángel González quien con su apoyo, nos brindó sus conocimientos y guía para lograr con éxito y sacar adelante este proyecto. Además, a la docente Yeimmy Peralta y demás profesores quienes hicieron parte de este proceso con su gran ayuda y motivación.

A todos mis familiares y amigos que también hacen parte de este logro, gracias por su apoyo, amistad, palabras de ánimo y compañía en cada etapa de este proceso.

Agradezco a todos, por brindarme siempre lo mejor, por colocar más que un granito de arena en mi vida y por hacer parte de ella.

MAIRA ALEJANDRA CASTILLA GUZMÁN

Le estoy muy agradecido a DIOS por permitirme terminar con vida y salud esta etapa de mi vida, por estar con mi familia y amigos que desde el inicio de mis estudios universitarios estuvieron acompañándome con su apoyo incondicional.

En especial les agradezco su apoyo y atención a los profesores Ángel González y Yeimmy Peralta por haberme servido de guía para el desarrollo de mi trabajo de grado.

MARIO ANDRES CABARCAS LORDUY

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
2. MARCO DE REFERENCIA	7
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	7
2.2 MARCO TEORICO	11
2.2.1 Usos del agar.....	11
2.2.2 Análisis económico.....	12
2.2.3 Análisis técnico.....	12
2.2.4 Macroalgas y sus características	12
2.2.5 Paquete de simulación (ASPEN PLUS)	13
2.2.6 Extracción de agar por método alcalino	13
2.3 MARCO LEGAL.....	14
3. DISEÑO METODOLÓGICO	15
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	15
3.2 ENFOQUE ADOPTADO	15
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
3.4 TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	16
3.4.1 Fuentes primarias.....	16
3.4.2 Fuentes secundarias	16
3.5 VARIABLES.....	16
3.5.1 Variable independiente.....	16
3.5.2 Variable dependiente	16
3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	16

3.7	PROCESAMIENTO O MODELO DE LA INFORMACIÓN	17
3.7.1	Elaboración del diagrama de bloques de las rutas evaluadas	17
3.7.2	Procedimiento aplicado en la simulación	18
3.7.3	Metodología para la evaluación económica	18
4.	RESULTADOS	20
4.1	DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LAS RUTAS A EVALUAR	20
4.2	SIMULACIÓN DE LAS RUTAS DE OBTENCIÓN DE AGAR EN ASPEN PLUS V8.4.....	22
4.3	EVALUACIÓN ECONOMICA, RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS RUTAS SIMULADAS	26
4.3.1	Evaluación del caso de estudio base	26
4.3.2	Análisis de sensibilidad	27
	CONCLUSIONES.....	32
	RECOMENDACIONES.....	33
	GLOSARIO.....	34
	BIBLIOGRAFIA.....	37
	ANEXOS.....	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de producción de agar.....	8
Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de obtención de agar utilizando la ruta 1.....	20
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de obtención de agar utilizando la ruta 2.....	21
Figura 4. Diagrama del proceso de obtención de agar (Ruta 1).....	25
Figura 5. Diagrama del proceso de obtención de agar (Ruta 2).....	25
Figura 6. VPN y PRI vs Precio de materia prima (ruta 1).....	28
Figura 7. VPN y PRI vs Precio de materia prima (ruta 2).....	29
Figura 8. TIR vs Ubicación de la planta.....	31
Figura 9. Estructura de la agarobiosa-(14)- β -D \Rightarrow -galactopiranososa-(13)-3,6-anhidro- α -L \Rightarrow galactopiranososa.....	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables.....	16
Tabla 2. Componentes definidos en la simulación para el alga <i>Gracilaria sp.</i>	23
Tabla 3. Descripción de las principales corrientes de la ruta 1 y 2.....	24
Tabla 4. Parámetros suministrados al simulador económico para la ruta 1 y 2..	26
Tabla 5. Resultados de la evaluación económica para las rutas 1 y 2.....	27
Tabla 6. Efecto del costo de la materia prima sobre la rentabilidad de la ruta 1.	27
Tabla 7. Efecto del costo de la materia prima sobre la rentabilidad de la ruta 2.	29
Tabla 8. Tasa tributaria de los países evaluados para el año 2014.....	29
Tabla 9. Resultados de la evaluación económica de cada ruta por escenario...	30

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexos A. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Caso Base).....	41
Anexos B. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Precio -50%).....	42
Anexos C. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Precio +50%).....	43
Anexos D. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Caso Base).....	44
Anexos E. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Precio -50%).....	45
Anexos F. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Precio +50%).....	46
Anexos G. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Escenario 2).....	47
Anexos H. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Escenario 3).....	48
Anexos I. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Escenario 2).....	49
Anexos J. Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Escenario 3).....	50
Figura K. Variación de la tasa tributaria total (% de utilidades) por año.....	51

INTRODUCCIÓN

El mar siempre ha sido la mayor fuente de recursos para la humanidad, a partir de este, el hombre ha obtenido desde su alimentación hasta los compuestos minerales que son determinantes para su desarrollo, por esta razón se establece como un factor fundamental en el avance económico de los países, además de esto es el hábitat de gran parte de los organismos vivos en el planeta, y muchos son aprovechados como materia prima para obtener productos de valor agregado, un claro ejemplo de estos son las macroalgas marinas, de las cuales se obtienen productos como los hidrocoloides que poseen aplicaciones en la industria de alimentos, metalúrgica, médica y en la industria farmacéutica¹. Las macroalgas del género *Gracilaria sp.* son empleadas como fuente de agar, que es utilizado como gelificante para alimentos, estabilizante en la industria de pinturas y como medio para el cultivo microbiológico entre otras aplicaciones, las algas del género *Gracilaria sp.*, crecen en las costas de clima tropical y a diferencia del género *Gelidium sp.*; estas pueden ser cultivadas con fines de explotación industrial, razón por la cual son más utilizadas como materia prima en la obtención del agar.

Según estudios especializados en biología marina, Colombia cuenta con las condiciones necesarias para realizar el cultivo de las algas del género *Gracilaria sp.* y se encuentran investigaciones a escala laboratorio que demuestran la calidad y el rendimiento de agar que se puede obtener de las especies que crecen en el caribe y el pacífico Colombiano. A pesar de esto no se encuentran estudios que evalúen desde un punto de vista económico el establecimiento de plantas industriales que procesen este tipo de algas, por tal motivo en el presente proyecto se realizó el estudio de factibilidad tecno-económico de una planta de producción de agar, tomando como escenario base el Caribe Colombiano.

Para realizar el estudio de factibilidad tecno-económico de la planta se realizó la simulación del proceso de producción de agar utilizando el software ASPEN PLUS V8.4, a partir del cual se obtuvieron los datos operativos de la planta que sirvieron como base para realizar la evaluación económica en el simulador económico ASPEN PROCESS ECONOMIC ANALYZER 8.4, este toma la información de las simulaciones realizadas y los parámetros económicos del proyecto para establecer los indicadores de rentabilidad del proceso evaluado. Con base a los resultados que se obtienen de los dos simuladores, se realizó un análisis para determinar la factibilidad de la planta evaluada.

¹ATEF, M., REZAEI, M., *et al.* Characterization of physical, mechanical, and antibacterial properties of agar-cellulose bionanocomposite films incorporated with savory essential oil. *En: Food Hydrocolloids [En línea]* Vol. 45, (2014); p. 150-157. Consultado el día 26 de noviembre de 2014. Disponible en: www.sciencedirect.com

EVALUACIÓN TECNO-ECONÓMICA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGAR A PARTIR DE ALGAS ROJAS DEL GÉNERO *GRACILARIA sp. A* ESCALA PILOTO

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las macroalgas marinas son de gran importancia ecológica y a la vez su abundancia, diversidad y valor económico han permitido que se conviertan en materia prima para diversos productos generados por el hombre; el género *Gracilaria sp.*, habita principalmente en aguas someras en mar abierto, estuarios y lagunas costeras y principalmente es utilizada en la industria como materia prima para la producción de agar², polisacárido que tiene diversas aplicaciones, por ejemplo, es utilizado como base para medios de cultivo microbiológico, agente gelificante en alimentos y en la industria farmacéutica. Esto muestra el gran potencial que presentan las macroalgas como fuente directa del agar y sus posteriores aplicaciones.

Colombia cuenta con una disposición geográfica privilegiada que abarca el mar caribe y el mar pacífico, por tal motivo posee una amplia variedad de especies marinas dentro de las que se ubican las macroalgas, estas plantas necesitan de condiciones específicas para su desarrollo y el ambiente tropical de las costas colombianas se convierten en el hábitat ideal para su crecimiento, por esta razón se han realizado múltiples trabajos investigativos que han tratado de establecer las especies de algas y su distribución geográfica alrededor de las costas colombianas, con el fin de determinar cuáles de estas pueden ser explotadas con fines comerciales.

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a nivel nacional la industria de algas no cuenta con una planta de procesamiento de derivados de esta materia prima y como un primer intento por incursionar en este mercado algunas entidades gubernamentales como la Fundación Terrazul y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) con el programa nacional de acuicultura han guiado proyectos en departamentos como la Guajira (Cabo de la Vela) donde

² VERGARA, M. Evaluación de biomasa y extracción de agar del alga roja *Gracilaria vermiculophylla* (gracilariales, rhodophyta) de laguna San Ignacio, B.C.S., México. La Paz B.C.S., 2009. Tesis de maestría (Magister en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politécnico Nacional- Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

incentivan a las comunidades indígenas a cultivar las algas y tomar esta práctica como una alternativa de sostenimiento económico para su población³.

A pesar de las investigaciones que se han realizado en Colombia con el fin de explotar las macroalgas como materia prima para la fabricación de productos con un mayor valor agregado, gran parte de estas terminan en la obtención a escala laboratorio de productos derivados de las algas, y aunque los estudios ejecutados por expertos en biología marina concluyen que Colombia tiene un gran potencial para el desarrollo industrial en este campo, se encuentran muy pocos trabajos que determinen la viabilidad económica de explotar estos recursos a escala industrial, por eso se hace necesario complementar estas investigaciones y realizar estudios de factibilidad que determinen desde un punto de vista económico, la viabilidad del establecimiento de plantas procesadoras de algas para la obtención de productos de un mayor valor agregado.

En el presente proyecto se pretende a partir de la comparación de dos rutas de obtención de agar (congelamiento-descongelamiento y evaporación) realizar un análisis tecno-económico con el fin de determinar la viabilidad del montaje de una planta de producción de agar utilizando algas rojas (*Gracilaria sp*).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es rentable el montaje de una planta piloto para la obtención de Agar a partir de algas rojas del genero *Gracilaria sp* en el Caribe Colombiano?

1.3 JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a los estudios realizados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) en Sudamérica, el desarrollo de la industria de macroalgas se basa principalmente en su cultivo, con el objetivo de suministrar el alga seca como materia prima a los países que cuentan con la tecnología necesaria para su procesamiento, como es el caso de Brasil, Argentina y Chile, sin embargo estos países no alcanzan a cumplir con las demandas de la región y sus reservas no son suficientes para suplir la necesidad generada, por ende se hace necesario proyectarse hacia la búsqueda de poblaciones con potencial para el desarrollo industrial en este campo, que cumplan con las condiciones ambientales para el cultivo y aprovechamiento de las especies de algas utilizadas en la fabricación de estos productos⁴.

³ RINCONES, R., MORENO, D. Establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Aspectos técnicos y económicos para el establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Experiencias en la Península de La Guajira. En: Ambiente y desarrollo. Vol. 15, No. 28 (2011).

⁴ VASQUEZ, J., FONCK, E. Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América latina y el Caribe: Estado actual y perspectivas de la explotación de algas alginofitas en Sudamérica. En: Deposito de documentos de la FAO [En línea]. Consultado el día 4 de abril de 2013 Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB483S/AB483S02.htm>

El agar obtenido de las paredes de las algas, tiene aplicaciones como gelificante en la industria alimenticia y a su vez una gran demanda de este producto está enfocada en la elaboración de quesos, helados, mermeladas, emulsiones cárnicas y panadería, entre otros, además es utilizado principalmente como base para los medios de cultivo microbiológico. Por otra parte, actualmente la totalidad del agar para uso microbiológico que se consume en Colombia es importado de otros países como Estados Unidos, Chile y Portugal y su demanda anual es de aproximadamente una tonelada⁵.

Ya se han realizado varios estudios en diferentes universidades del país donde se estandariza el proceso de obtención de agar bacteriológico y agar alimenticio extraído de las algas del género *Gracilaria sp.*, en varios de estos estudios se utilizan específicamente las algas de la especie *Gracilaria Mammillaris*, localizadas en las playas de Cartagena de Indias, sin embargo, estas investigaciones se realizan a escala laboratorio y se centran en la caracterización del agar obtenido⁶.

Este proyecto es pertinente con el plan nacional de desarrollo (PND) 2010 – 2014⁷, ya que promueve la investigación y la búsqueda de nuevos campos industriales basados en la innovación, para ello se requiere hacer uso de las capacidades con las que cuenta cada región para invertir en el desarrollo de industrias creativas que no solo se centren en la obtención de los recursos primarios, sino que a su vez sean capaces de procesar estos recursos y obtener productos de un mayor valor agregado. Para lograr este fin las apuestas se encaminan al desarrollo industrial de procesos biotecnológicos, con el fin de aprovechar los recursos que aún no son explotados y que pueden convertirse en oportunidades de negocio que promuevan el empleo y la sostenibilidad de las regiones.

Por otra parte, los bioprocesos surgen de la integración de la ingeniería de procesos con las ciencias biológicas a raíz de la necesidad percibida, a comienzos de la década de los cuarenta, de disponer masivamente de antibióticos, alimentos especiales, vitaminas y otros productos de origen biológico, siendo por lo tanto su finalidad el procesamiento de material biológico y el aprovechamiento de la actividad biológica para nuestro beneficio⁸. Los primeros procesos eran empíricos, pero con el avance de la ingeniería genética y molecular, ya es posible aplicar un

⁵ VILLALOBOS A., CALDERON L., *et al.* Evaluación por método ecométrico de agar obtenido de algas rojas colombianas. En: Pontificia Universidad Javeriana. Universitas Scientiarum Revista de la Facultad de Ciencias. No. 12 (2007). Edición especial III.

⁶ MERCADO, M., TRESPALACIOS, A., ALVAREZ, R. Experiencias colombianas en la utilización de medios de cultivos y extractos experimentales a partir de macroalgas marinas del caribe: estado actual de su conocimiento. En: Biosalud. Vol. 7 (2008).

⁷ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Plan Nacional De Desarrollo 2010-2014 [En línea] consultado el día 4 de marzo de 2014. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/PND/PND20102014.aspx>

⁸ Dirección De Investigaciones Universidad San Buenaventura–Cartagena. Formulación de las líneas de investigación.

criterio más preciso en cuanto a este campo, estos avances se fundamentan en el nacimiento de un cuarto paradigma de la ingeniería química enfocado a la industria de los bioprocesos⁹.

Desde esta perspectiva este proyecto se enmarca en la línea de investigación de Bioprocesos y Medio Ambiente del programa de Ingeniería Química de la Universidad de San Buenaventura seccional Cartagena, la cual orienta el desarrollo y aplicación de bioproceso en la industria de recursos renovables, desarrollándose dentro de esta trabajos de grado como: Evaluación financiera y técnica de los aditivos en la producción de bioetanol en Industrias Químicas Real S.A (2009) y Obtención de un bioplástico a partir de la mezcla de polihidroxialcanoato (PHA) y almidón de yuca plastificado (2010), entre otros.

El abordaje de este tema, es pertinente ya que se corresponde con las políticas de la Universidad de San Buenaventura planteadas en el Proyecto Educativo Bonaventuriano (PEB) el cual incentiva al estudiante y profesional Bonaventuriano a solucionar los problemas de la comunidad en la que se encuentra cumpliendo con lo estipulado en su ser universitario donde “Desde una epistemología franciscana toma el saber cómo un proceso de conocimiento en constante devenir, cuyo valor no depende de sí mismo o de su tradición sino de la capacidad para responder a las inquietudes humanas y a las necesidades de la sociedad, generando posibilidades de mejoramiento en la perspectiva de un desarrollo sostenible y armónico con la naturaleza”¹⁰.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad tecno-económica de dos rutas de producción de agar a partir de algas rojas *Gracilaria sp.*, utilizando simulación de procesos.

1.4.2 Objetivos Específicos

Definir mediante un diagrama de bloques los procesos de obtención de agar que se compararán.

Simular los procesos de obtención de agar propuestos utilizando software especializado con el fin de evaluar su factibilidad técnica.

⁹ TAPIAS, H. Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas. En: Ingeniería Química. Revista española [En línea]. No. 359 (1999). Consultado el día 4 de abril de 2013. Disponible en: http://jaibana.udea.edu.co/producciones/Heberto_t/ingenieria_quimica.html

¹⁰MERINO, D. Proyecto Educativo Bonaventuriano. Universidad de San Buenaventura. p.48.

Realizar la evaluación económica de las diferentes rutas para la obtención de agar simuladas.

Comparar los resultados obtenidos en la simulación y evaluación económica con el fin de seleccionar la ruta más promisorio bajo los criterios evaluados.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El agar posee una industria con una amplia trayectoria en el mercado mundial, se data que este hidrocoloide fue descubierto en Japón por Minoya Tarozaemon en 1658 y su fabricación industrial como un producto seco y estable se desarrolla a finales del siglo XVIII. El uso de técnicas industriales modernas para la producción de agar se da por primera vez en los Estados Unidos - California utilizando el método de congelamiento y descongelamiento patentado por Matsuoka, este método aprovecha la poca solubilidad del agar (agarosa y la agarpectina) en agua fría para separarlo del agua y posteriormente secarlo¹¹.

Las técnicas de extracción de agar difieren dependiendo del tipo de alga que se desea utilizar, en general son dos los géneros empleados en mayor proporción a nivel mundial para su producción, y en base a las propiedades que cada tipo de alga presenta se han desarrollado los procesos de extracción. El género *Gelidium* solamente necesita ser lavado para eliminar las impurezas que se adhieren a las algas en la recolección, posterior a esto se calientan en una solución con un ácido muy diluido para extraer el agar, por el contrario el género *Gracilaria* necesita de un pre-tratamiento en álcali (generalmente se utiliza NaOH) para convertir la L-galactosa en L-3,6 - anidrogalactosa con el fin de mejorar la fuerza de gel del agar obtenido (Figura 1)¹².

Según lo consultado en la base de datos Scopus, las primeras investigaciones publicadas sobre la extracción de agar a partir del género *Gracilaria sp.* datan del año 1992, donde el primer estudio "Influence of extraction time on the rheological properties of agar from some *Gracilaria* species from the Philippines"¹³ se enfoca en relacionar cómo se ven afectados el rendimiento y la calidad del agar ante los cambios en las variables del proceso de extracción por álcalis, este estudio utilizó siete especies de algas localizadas en Filipinas con el objetivo de establecer cuáles de estas podían ser utilizadas para obtener agar con las especificaciones requeridas para el mercado. Después de este estudio se realizó otra investigación en 1993 "Evaluation of steam explosion as pretreatment in agar extraction from

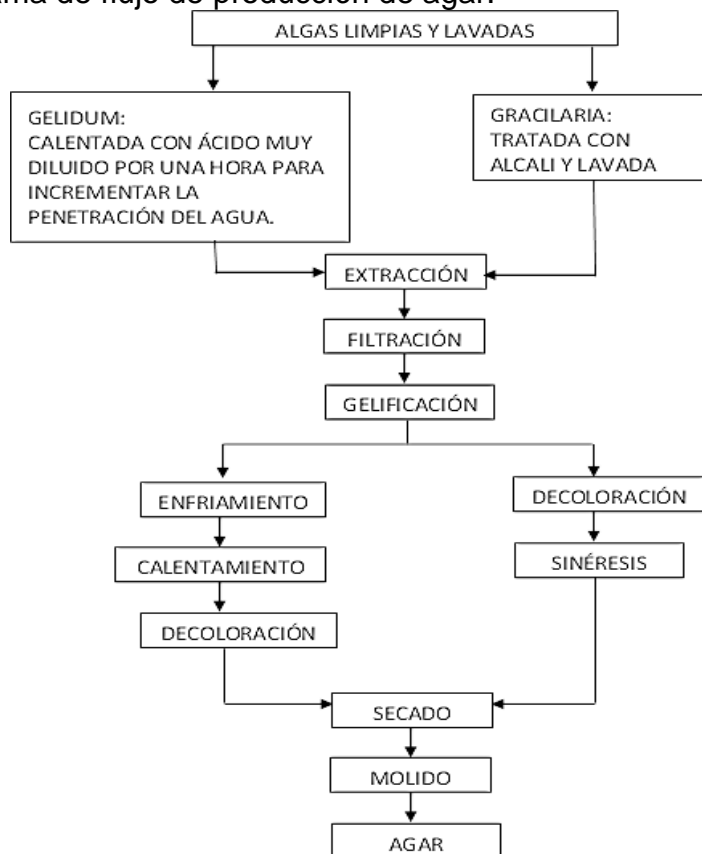
¹¹ ARMISEN, R., GALATAS, F. Production and utilization of products from commercial seaweeds: chapter 1 - production, properties and uses of agar [En línea] consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/X5822E/x5822e03.htm#chapter 1 production](http://www.fao.org/docrep/X5822E/x5822e03.htm#chapter%201%20production)

¹² VERGARA, M., Op. cit., p. 5

¹³ HURTADO, A. Influence of extraction time on the rheological properties of agar from some *Gracilaria* species from the Philippines. En: Botánica Marina [En línea] Vol. 35, No. 5 (1992); p. 441-445. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com

Gracilaria dura (C. Agardh) J. Agardh (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*)¹⁴ en la que se estudió la eficiencia de reemplazar NaOH en el pre-tratamiento por álcalis con Na_2CO_3 , variando la temperatura y el tiempo de exposición de las algas al vapor.

Figura 1. Diagrama de flujo de producción de agar.



Fuente: Modificado de VERGARA, M. (2009)

Desde el año 2009 hasta el año 2013 se ha mostrado gran interés en optimizar los diferentes procesos de extracción para los géneros *Gracilaria*, a pesar de las numerosas investigaciones que han sido efectuadas con el fin de determinar las condiciones óptimas para el pre-tratamiento de las algas en álcali con NaOH, aún se sigue investigando en esta área, para el 2009 los autores Li, H., Zhang, W., *et al.*, estandarizan un nuevo proceso para la obtención de agar con álcalis utilizando NaOH en conjunto con una etapa posterior de fotoblanqueo, mediante la cual se mejoran las características y el rendimiento del agar obtenido¹⁵. En el mismo año se registra una publicación sobre el trabajo realizado por Kumar, V., y Fotedar, R.

¹⁴ MURANO, E., TOFFANIN, R. Evaluation of steam explosion as pretreatment in agar extraction from *Gracilaria dura* (C. Agardh) J. Agardh (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*). *En: Journal of Applied Phycology* [En línea] Vol. 5, No. 4 (1993); p. 417-424. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com

¹⁵ LI, H., ZHANG, W., *et al.* Optimization and scale-up of a new photobleaching agar extraction process from *Gracilaria lemaneiformis*. *En: Journal of Applied Phycology* [En línea] Vol. 21, No. 2 (2009); p. 247-254. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com

los cuales mediante un diseño experimental determinaron las condiciones óptimas de concentración, temperatura y tiempo de remojo para algas del genero *Gracilaria cliftonii*, en este experimento se obtiene un mayor rendimiento y calidad del agar a partir de pre-tratamientos con un rango entre 3% y 5% de solución alcalina, el cual encaja con los rangos de concentración empleados en los pre-tratamientos con álcalis de otros géneros de algas *Gracilaria*¹⁶.

Para el año 2013 se publican tres artículos científicos relacionados con la obtención de agar, el primer artículo “Comprehensive extraction of agar and R-phycoerythrin from *gracilaria lemaneiformis* (Bangiales, Rhodophyta)” describe un proceso de extracción para la recuperación de R-ficoeritrina a partir del alga *lemaneiformis* aun húmeda, es decir sin secar el alga antes de la extracción, posterior a esta etapa se extrae por álcalis el agar. De este estudio se observó que las propiedades del agar obtenido no se veían afectadas al tomar el alga húmeda y además se comprobó que es posible a partir de este género dar un ahorro energético en el proceso de extracción, debido a que no es necesaria la etapa de secado de las algas utilizadas¹⁷.

Otro de los aspectos que se busca en el estudio de los proceso de extracción de agar a nivel industrial, es el ahorro energético, esto se debe a que gran parte de estos proceso utilizan la técnica de congelamiento y descongelamiento para separar el agua del gel que contiene el agar; en el año 2013 los investigadores Xu, B., Zhang, W., Li, C., *et al*, realizaron una publicación titulada “Production of agar with low-temperature solubility and high gel strength from *Gracilaria* by screw extrusion”¹⁸ donde describen los resultados obtenidos de un proceso de extracción en el que separan el agar contenido en las algas sin el uso de un pre-tratamiento alcalino y sin el proceso de congelamiento y descongelamiento, esto con el fin de disminuir la demanda energética. En este proceso el alga se introduce en un extrusor de doble tornillo y mediante el método de superficie de respuesta se optimizan las condiciones de operación para el extrusor.

Gran parte de los procesos industriales para la obtención de agar a partir del genero *Gracilaria sp.* aparecen patentados desde mediados del siglo XX, muchos de estos procesos han utilizado procedimientos experimentales a nivel de laboratorio para diseñar el esquema de recuperación de agar, en general se pueden destacar dos procesos de extracción que se enfocan en disminuir el uso

¹⁶ KUMAR, V., FOTEDAR, R. Agar extraction process for *Gracilaria cliftonii* (Withell, Millar, & Kraft, 1994). En: Carbohydrate Polymers [En línea] Vol. 78, (2009); p. 813-819. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.sciencedirect.com

¹⁷ NIU, J., XU, M., WANG, G., *et al*. Comprehensive extraction of agar and R-phycoerythrin from *gracilaria lemaneiformis* (Bangiales, Rhodophyta). En: Indian Journal of Marine Sciences [En línea] Vol. 42, No.1 (2013); p. 21-28. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: ww.scopus.com

¹⁸ XU, B., ZHANG, W., LI, C., *et al*. Production of agar with low-temperature solubility and high gel strength from *Gracilaria* by screw extrusion. En: Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering [En línea] Vol. 29, No.2 (2013); p. 280-286. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: ww.scopus.com

de agentes químicos en los pre- tratamientos y los grandes consumos energéticos que se dan a raíz de la separación del gel de agar obtenido y el agua contenida en dicho gel.

En 1973 los investigadores Chigasaki, S., Kawasaki, T., *et al.* patentan un proceso para la producción de agar a partir del género *Gracilaria* en Estados Unidos, titulado "Process for the production of agar from a red alga"¹⁹ en esta patente se describe un proceso para obtener el agar a un bajo consumo de agentes químicos como el NaOH, utilizando un tornillo de extrusor que cumple la función de destruir la pared celular de las algas húmedas y con la ayuda de una solución alcalina con una concentración baja (aproximadamente en un rango de 0,1 a 0,8% en peso basado en el peso seco del alga empleada) se da la extracción del agar con propiedades de fuerza de gel mayores a las del tratamiento por álcalis en autoclave.

Para el año 1982 los inventores Kenitra, R., Auzeville, M., *et al.*²⁰, patentan un nuevo proceso para la obtención de agar utilizando torres de intercambio iónico, estas torres reemplazan la etapa de pre-tratamiento con álcalis utilizando resinas iónicas y aniónicas que destruyen la pared celular de las algas al retirar los iones y aniones activos contenidos en esta, además el proceso ofrece la ventaja de recuperar las resinas de intercambio iónico con lo que se reduce el uso de agentes químicos en el proceso, por otra parte, se hace uso de prensas hidráulicas modificadas que aprovechan la sinéresis del gel de agar, con el fin de separar el agua contenida en este, para ello se utilizan cilindros que contienen telas transversales que sirven como membrana a través de la cual al aplicar una presión determinada se da el paso del agua contenida en el gel, posterior a esta etapa el gel con alta concentración de agar es secado y triturado para su almacenamiento.

En Cartagena se realizó un trabajo de grado en la Universidad De San Buenaventura Cartagena - Bolívar llamado "Utilización del agar extraído de la macroalga *Gracilaria mammillaris* recolectada en Cartagena de Indias, como producto gelificante para la elaboración de mermeladas de tomate de árbol"²¹, en este trabajo se obtuvo agar a escala laboratorio y se comparó su poder gelificante con el de la pectina, como resultado de este estudio se demostró que el agar extraído ofrecía las mismas características gelificantes que la pectina utilizando una menor cantidad en la mermelada de tomate de árbol, además el gel formado por el agar ofrecía una temperatura de fusión superior a la del gel formado por la pectina, lo que lo hace más atractivo para la fabricación de productos alimenticios

¹⁹ CHIGASAKI, S., KAWASAKI, T., *et al.* Process for the production of agar from a red alga (1973). United States. No. 330,688. Agosto 26 de 1975.

²⁰ KENITRA, R., AUZEVILLE, M., *et al.* Process for producing agar-agar from an algae extraction juice (1986). United States. No. 889,092. Octubre 25 de 1988.

²¹ ARDILA, B., VELEZ, M. Utilización del agar extraído de la macroalga *Gracilaria Mammillaris* recolectada en Cartagena de Indias, como producto gelificante para la elaboración de mermelada de tomate de árbol. Cartagena (1998). Trabajo de grado (Ingeniero de alimentos). Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería.

con una mayor temperatura de cocción, cabe anotar que los autores de este trabajo definieron de forma detallada el proceso a partir del cual obtuvieron el agar y como recomendación ofrecieron estudiar el proceso a escala industrial.

En el año 2011 en la universidad Nacional De Colombia - Facultad de Ingeniería y Arquitectura se desarrolló una tesis de maestría llamada “Evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de micro-algas”²², en este trabajo se investigó sobre la siembra de micro-algas por diferentes técnicas de cultivo con el fin de obtener biocombustibles, específicamente etanol y biodiesel, todo esto con el fin de establecer la viabilidad del montaje de una planta de producción de biocombustibles, para ello se basan en la comparación de los diferentes métodos de cultivo y procesos de producción de etanol y biodiesel haciendo uso del simulador comercial Aspen Plus, el cual posee un paquete de evaluación económica que permite mediante la simulación de los proceso estimar el capital de inversión, los costos de operación y las ganancias.

La metodología a utilizar en este estudio para la evaluación tecno-económica del proceso, se basa en aquella desarrollada en el trabajo “Evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de micro-algas”, consistente en simular las alternativas de producción y luego comparar los procesos de extracción de agar a partir de las macroalgas del género *Gracilaria sp.*, con el objetivo de determinar la factibilidad tecno-económica de dos rutas de producción de agar a partir de algas rojas *Gracilaria sp.*, utilizando simulación de procesos.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 Usos del agar. El uso del agar depende de sus propiedades, con base en ello puede ser utilizado en diferentes ámbitos. En la industria alimenticia, es utilizado como aditivo en embutidos debido a que no posee ningún sabor u olor desagradable, además se utiliza como gelificante para proteger a las conservas enlatadas de pescado y carne para que no entren en contacto directo con el metal, constituye a su vez un sustituto natural vegetal de las gelatinas animales que se obtienen a partir de los huesos y la piel de los mismos y por esto es muy utilizado en la cocina vegetariana.

Por su parte, el agar es utilizado para mejorar los recubrimientos metálicos en objetos fabricados con plomo o zinc; en la industria papelera ofrece propiedades impermeabilizantes al papel y en la industria textil, se utiliza para dar consistencia

²² JARAMILLO, J. Evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de micro-algas. Manizales 2011. Trabajo de grado de maestría (Magister en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia-sede Manizales. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

y rigidez a los tejidos facilitando los estampados; en la industria microbiológica es utilizado como base para los medios de cultivo²³.

2.2.2 Análisis económico. El análisis económico se centra, fundamentalmente, en la valoración de la situación económica y financiera de un proyecto, evaluando los riesgos implícitos de corto a mediano plazo que estos atribuyen a la estabilidad de precios desde la perspectiva de la interacción de la oferta y la demanda en los mercados de bienes y servicios. Para realizar un estudio económico a través de este tipo de análisis, es importante la identificación de un nuevo diseño de planta o al mejoramiento de una planta antigua. Una vez se ha identificado el objetivo y esté disponible la información relevante (es decir, las estimaciones), el flujo del análisis económico viene dado a partir de tres pasos: primero definir las posibles alternativas de solución, luego evaluar cada alternativa y por último seleccionar la mejor alternativa de solución.

Estas alternativas contienen información costo inicial, vida útil esperada, ingresos y gastos anuales estimados de la alternativa, valor de salvamento del proyecto, una tasa de interés apropiada y posiblemente efectos de impuestos sobre la renta²⁴. Por su parte, para la realización del análisis económico puede requerirse las estimaciones de la información antes mencionada, pero sin las estimaciones de flujos de efectivo durante un periodo de tiempo establecido, no es posible realizar un estudio económico de un proyecto.

2.2.3 Análisis técnico. Se estudia el tamaño del proyecto, su localización, el proceso productivo, el análisis de los costos y el análisis administrativo. Su objeto central es definir las posibilidades de forma estadísticas para determinar si es posible o no elaborar el producto o servicio deseado, en la calidad, cantidad y costo requerido.

2.2.4 Macroalgas y sus características. Las macroalgas marinas constituyen una parte importante del ecosistema bentónico, es decir, de aquellos organismos que viven estrechamente asociados con el fondo marino, En primer lugar, como seres autótrofos son responsables de la mayor parte de la productividad primaria de los ambientes costeros. Por su arquitectura sirven también de refugio para numerosas especies animales, muchas de las cuales incluso las utilizan como alimento. Son además el soporte de otros organismos ya sean pequeños invertebrados o pequeñas algas que crecen epífitas sobre otras de mayor porte²⁵.

²³ BOTANICAL. Agar-Agar: Características del agar [En línea]. Consultado el día 27 de mayo de 2013. Disponible en: http://botanical-online.com/agar_agar.htm

²⁴ TARQUIN, A., BLACK, L. Ingeniería económica. Mc Gran Hill 4 edición (2000).

²⁵ PIRIZ, M. Macroalgas Marinas: Clave ilustrada para identificación de los géneros más frecuentes en Golfo Nuevo y alrededores [En línea]. Consultado el día 27 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.cenpat.edu.ar/geac/PDFs/Macroalgas.pdf>

2.2.5 Paquete de simulación (ASPEN PLUS). Se puede dividir en tres bloques fundamentales. El primero, eje de simulación, que es el núcleo del programa, escrito en Fortran es el que soporta todo el modelo desde la lectura del archivo de entrada que describe el proceso hasta su resolución por algoritmos numéricos.

Tiene diferentes módulos aparte del de simulación: optimización, estimación, regresión, entre otros. La interfase grafica de usuario, es el entorno gráfico de modelado. En la interface gráfica de usuario se crean los diagramas de flujo de proceso. Esta interfase posee un sistema experto que va guiando en la construcción del modelo. Tiene incorporado una ayuda con hiperlinks, de forma que se accede de forma rápida a los diferentes menús de iconos que se identifican con los modelos de su librería. Brinda además, un modo de dibujo en el cual se puede aumentar la calidad de la descripción del modelo.

Por ultimo las propiedades físicas, que contiene el bancos de datos con modelos termodinámicos y propiedades de un gran un número de componentes: orgánicos, inorgánicos, electrolitos y sólidos. Las propiedades más empleadas durante las simulaciones son: Coeficientes de fugacidad, Entalpías, Densidades, Entropías, Energías libres. Además, su flexibilidad permite seleccionar directamente los métodos que se quiere emplear como: NRTL, Wilson, Soave-Redlich-Kwong, UNIFAC, UNIQUAC, entre otros, dependiendo de las características del proceso y la rigurosidad que se desee, de tal forma se deben seleccionar según el tipo de componentes y condiciones de operación de trabajo²⁶.

2.2.6 Extracción de agar por método alcalino. El proceso de extracción de agar por el método alcalino, generalmente aplicado a las algas del género *Gracilaria sp.*, comprende siete etapas en las cuales se procesa la materia prima con el objetivo de obtener el hidrocoloide. La primera etapa del proceso consiste en retirar las impurezas que se adhieren a la materia prima en la recolección, llevándose a cabo a través de un lavado con agua, en la segunda etapa se realiza el secado de la materia prima para reducir su humedad, con el fin de adecuarla para la siguiente etapa. En la tercera etapa se lleva a cabo el tratamiento alcalino de las algas, que consiste inicialmente en aplicar una solución de NaOH al 5% en peso y luego neutralizar con una solución de H₂SO₄ al 1.5% en peso; la biomasa tratada se lleva a la etapa cuatro donde es mezclada con agua y calentada a una temperatura de 80°C; en la etapa cinco se separan el agar y el agua del material lignocelulosico. En la etapa siete se realiza la purificación del agar, donde se retira el contenido de agua en la mezcla hasta obtener el agar a las condiciones de humedad deseadas²⁷.

²⁶ JARAMILLO, J., Op. cit., p. 38

²⁷ KUMAR, S., GUPTA, R., *et al.* Bioethanol production from *Gracilaria verrucosa*, a red alga, in a biorefinery approach. En: Bioresource Technology [En línea] Vol. 135, (2013); p. 150-156 consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.sciopus.com.

2.3 MARCO LEGAL

Dentro de los aspectos legales que regulan el manejo de los recursos renovables acuícolas en el país se encuentra la Ley 99 de 1993, expedida el 22 de diciembre, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

Citando en el título dos, artículo 5°, inciso 24, donde se establece al Ministerio de medio ambiente la función de regular la conservación, preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras, y coordinar las actividades de las entidades encargadas de la investigación, protección y manejo del medio marino, de sus recursos vivos, y de las costas y playas; así mismo, le corresponde regular las condiciones de conservación y manejo de ciénagas, pantanos, lagos, lagunas y demás ecosistemas hídricos continentales²⁸.

Además, para la elaboración de emulsificantes, espesantes y gelificantes, se establece la norma ICONTEC 1582, que establece los límites máximos que pueden obtener en contenido de metales pesados este tipo de productos.

²⁸ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL .Política de Gestión Ambiental Urbana [En línea]. Consultado el día 9 de octubre de 2014. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/politica_de_gestion_ambiental_urbana.pdf

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto está enmarcado en un tipo de investigación aplicada, la cual según Zorrilla (1993), es aquella que está estrechamente relacionada con la investigación básica, pero además busca la aplicación de estos conocimientos con el fin de solucionar problemas por medio de los avances teóricos que ya han sido desarrollados. A su vez, está contenida dentro de la investigación correlacional, ya que busca establecer la relación causa-efecto entre dos variables de un caso de estudio en particular alterando la variable independiente con el fin de medir el cambio en la variable dependiente²⁹.

3.2 ENFOQUE ADOPTADO

Para el proyecto a realizar se desarrolla el proceso de investigación desde un enfoque deductivo. La investigación deductiva es aquella que intenta determinar en qué medida se relacionan las variables y la generación de los resultados a través de una muestra, con este tipo de enfoque lo que se busca es determinar por medio de la inferencia si un fenómeno sucede de la forma esperada o no. Por otra parte, esta investigación también se enmarca en el enfoque cuantitativo, ya que “permite conocer la probabilidad de que un hecho suceda a partir de seleccionar una muestra representativa y confiable”³⁰, recolectando datos del caso de estudio e interpretando mediante el tratamiento de estos la relación entre las variables.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Siendo una investigación no experimental, se pretende responder el problema planteado utilizando herramientas de simulación, que permitan obtener los datos necesarios para analizar el proceso desde un punto de vista tecno-económico.

²⁹ GRAJALES, T. Tipos de investigación [En línea]. Consultado el día 29 de mayo de 2013. Disponible en: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>

³⁰ IESPPCREA. El conocimiento y la investigación científica: paradigmas y enfoques de la investigación científica [En línea]. Consultado el día 29 de mayo de 2013. Disponible en: http://www2.minedu.gob.pe/digesutp/formacioninicial/wp-content/uploads/2010/09/Material_dia_1.pdf

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1 Fuentes primarias. La recopilación de la información primaria se realizara mediante los datos contenidos en el software ASPEN PLUS V8.4, el cual contiene una base de datos que incorpora la información necesaria referente a equipos, costos de instalación, entre otros datos relevantes para la evaluación técnico-económica. Por otra parte, también se hará uso de la información contenida la página web del consorcio privado dedicado al comercio electrónico (www.alibaba.com) sobre la información referente a los costos de la materia prima e insumos del proceso.

3.4.2 Fuentes secundarias. Se tendrán en cuenta fuentes como libros, tesis, revistas y artículos científicos de información útil para llevar a cabo la investigación, además se hará uso de las bases de datos electrónicas que proporciona la universidad de San Buenaventura.

3.5 VARIABLES

3.5.1 Variable independiente

- Precio de materia prima
- Tasa tributaria
- Ubicación de la planta

3.5.2 Variable dependiente

- TIR (Tasa interna de retorno)
- NPV (Valor presente neto)
- Tiempo de retorno de la inversión

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla1. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores
Precio de materia prima	Económica	USD
Tasa tributaria total	Económica	%/periodo
TIR (Tasa interna de retorno)	Económica	%
NPV (Valor presente neto)	Económica	USD
Tiempo de retorno de la inversión	Económica	Años

Fuente: Autores

3.7 PROCESAMIENTO O MODELO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento de la información se realizó mediante el uso de la herramienta ASPEN PLUS V8.4, donde se implementó la simulación de las dos rutas de obtención de agar a partir de algas rojas (*Gracilaria sp*), además se aplicó a cada simulación la evaluación económica mediante el paquete Aspen Process Economic Analyzer, para determinar la factibilidad de cada ruta utilizando los indicadores económicos que proporciona el simulador. Por otra parte, la esquematización de la información es presentada por medio de tablas y graficas que muestren de forma organizada y resumida los resultados obtenidos.

3.7.1 Elaboración del diagrama de bloques de las rutas evaluadas. Para el diagrama de bloques de las rutas evaluadas se utilizó la información recolectada en la revisión bibliográfica referente a la obtención de agar a escala laboratorio e industrial, con el objetivo de complementar los datos requeridos para la simulación en cada etapa del proceso. En las dos rutas evaluadas, Ruta 1 (Congelamiento-descongelamiento) y Ruta 2 (Evaporación) existen etapas generales que son iguales para ambas y etapas específicas para cada una de estas.

3.7.1.1 Etapas generales del proceso

Primera etapa (lavado): las algas utilizadas como materia prima son lavadas con agua en una proporción de agua con respecto al alga alimentada de 8:1 en peso, con el fin de retirar todas las impurezas que se adhieren a estas en el proceso de recolección, las cuales pueden ser arena, musgo, sal y otros materiales sólidos.

Segunda etapa (filtrado de alga): las algas provenientes del lavado son separadas del agua u otras impurezas para ser alimentadas a la etapa de secado.

Tercera etapa (secado): se realiza un secado con el fin de retirar el contenido de humedad presente en las algas que serán alimentadas a la etapa de pre-tratamiento alcalino.

Cuarta etapa (tratamiento alcalino): las algas provenientes de la tercera etapa son mezcladas con una solución de NaOH al 5% en peso en una relación de alga/solución de 1:20, a una temperatura de 80°C, esto se realiza para destruir la estructura celular del alga.

Quinta etapa (filtrado de pulpa): luego del tratamiento alcalino se separan la biomasa tratada de la solución alcalina.

Sexta etapa (neutralización): la biomasa tratada es neutralizada con una solución de H₂SO₄ al 1.5% en peso a una temperatura de 80°C.

Séptima etapa (calentamiento): se hierva la biomasa tratada con agua en una relación de biomasa/agua de 1:20 a una temperatura de 80°C.

Octava etapa (filtrado agar): se realiza una filtración a presión donde se separa el agar y el agua de la pulpa sobrante que generalmente está compuesta por celulosa y otros componentes que son hidrolizados en monosacáridos.

3.7.1.2 Etapas específicas del proceso

Novena etapa-Ruta 1 (congelamiento-descongelamiento): en esta etapa la mezcla agar-agua se gelifica a temperatura ambiente, para luego ser congelada a -10°C con el fin de aprovechar la poca solubilidad del agar en agua a baja temperatura, para luego retirar el agua a medida que se va descongelando.

Novena etapa-Ruta 2 (evaporación): en esta etapa se suministra energía en forma de calor para evaporar el agua contenida en la mezcla y purificar el agar.

3.7.2 Procedimiento aplicado en la simulación. Para realizar la simulación del proceso de producción de agar se utilizó como herramienta el simulador comercial ASPEN PLUS versión 8.4, siendo este un proceso en el que intervienen compuestos sólidos, se eligió en base a las recomendaciones ofrecidas por la guía del simulador el paquete de fluidos NTRL, además se definió el proceso en estado estable, caracterizando cada una de las corrientes con los compuestos alimentados, algunos de estos compuestos fueron tomados directamente de la base de datos de ASPEN PLUS y aquellos que no se encontraban en dicha base de datos se crearon como compuestos hipotéticos utilizando las propiedades de la base de datos de la National Renewable Energy Laboratory (NREL)³¹.

3.7.3 Metodología para la evaluación económica. Para evaluar la rentabilidad de las dos rutas de obtención de agar estudiadas se aplicaron indicadores económicos como la tasa interna de retorno (TIR), periodo de retorno de la inversión (PRI) y el valor presente neto (VPN), con el fin de determinar cuál de estas rutas ofrece la mejor alternativa económica, para esto se hizo uso de la herramienta ASPEN PROCESS ECONOMIC ANALYZER, en la cual se cargaron los datos de las simulaciones que contenían las dos rutas de obtención, cabe resaltar que esto se realizó por separado para cada ruta.

Una vez cargados los datos de la simulación se ingresan parámetros económicos como, la ubicación de la planta, tasa de impuestos, tipo de depreciación de la planta, valor de salvamento, costos de materia prima y utilidades, tipo de planta y fluidos manejados, número de trabajadores, fecha de inicio de operación de la planta y período de operación de esta, entre otros parámetros importantes para la

³¹ WOOLEY, R., PUTSCHE, V. Development of an ASPEN PLUS physical property database for biofuels components. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/MP-425-20685 (1996).

realización de la evaluación. Luego de completar la información requerida por el simulador económico, este arroja un sumario de resultados donde se incluye el dimensionamiento y costo de los equipos, flujo de caja por período del proyecto, tasa interna de retorno de la inversión, tiempo de retorno de la inversión, valor presente neto del proyecto, costos de operación y costos de mantenimiento por cada período de funcionamiento de la planta, parámetros mediante los cuales se determina la factibilidad económica de cada ruta evaluada.

3.7.3.1 Definición de los casos de estudio aplicados a las rutas de obtención

Para evaluar y determinar los parámetros de operación óptimos en cada ruta de obtención se aplicaron tres casos de estudio, descritos a continuación.

Caso de estudio base. En este caso de estudio se tomó como base el costo de materia prima cotizado a través de la página web del consorcio privado dedicado al comercio electrónico (www.alibaba.com) y a Colombia como escenario.

Efecto de la materia prima: para este caso de estudio se varió el costo de la materia prima, para ambas rutas, buscando establecer la sensibilidad de las rutas estudiadas ante el costo de la materia prima.

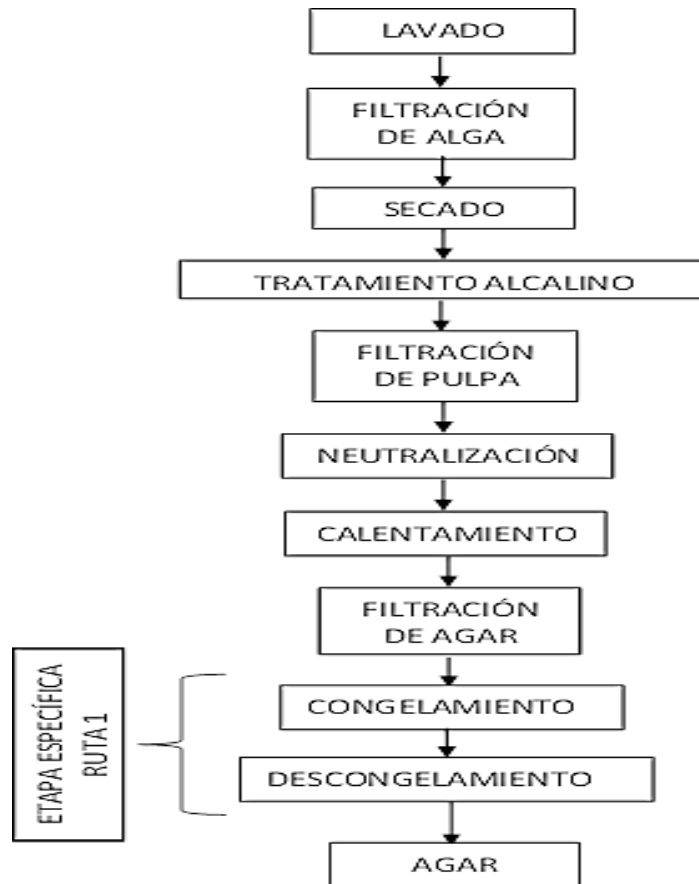
Influencia de la ubicación de la planta y la tasa tributaria: teniendo en cuenta la importancia que tiene la tasa tributaria total en una evaluación económica, se consultó en el sitio web del Banco Mundial la tasa tributaria para tres países distintos, con el fin de establecer la sensibilidad del proceso con respecto a este parámetro.

4. RESULTADOS

4.1 DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LAS RUTAS A EVALUAR

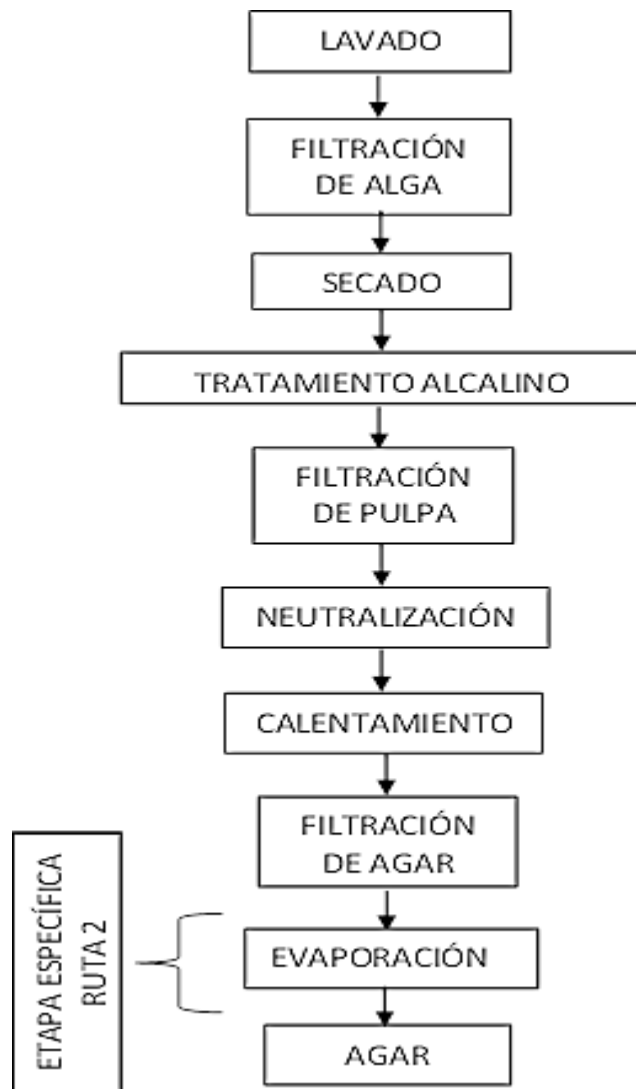
Cada una de las etapas del proceso de obtención de agar consta de una serie de condiciones operativas que fueron descritas en la sección 3.7.1, a partir de ello se presentan en las figuras 2 y 3 el diagrama de bloques del proceso de obtención de agar de las rutas 1 y 2 respectivamente. La selección de las etapas que se cambiaron en las rutas presentadas, se debe principalmente al consumo de energía que se aplica en la separación de la mezcla agar-agua que sale de la etapa de filtrado de agar (octava etapa), pues esta sección del proceso representa gran parte de las utilidades requeridas, el objetivo de este cambio es determinar que tanto se ve afectada la rentabilidad del proceso aplicando las tecnologías que se muestran en cada una de las ruta.

Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de obtención de agar utilizando la ruta 1.



Fuente: Autores

Figura 3. Diagrama de bloques del proceso de obtención de agar utilizando la ruta 2.



Fuente: Autores

4.2 SIMULACIÓN DE LAS RUTAS DE OBTENCIÓN DE AGAR EN ASPEN PLUS V8.4.

Para la simulación del proceso de obtención de agar se asumió que las algas utilizadas contenían arena y sal producto del manejo que se les da en la recolección, para simular su limpieza se utilizó una torre de lavado representada en la figura 4 por el equipo LAV-1, en el cual se retira la sal y la arena utilizando agua; posterior a esta etapa se secan las algas en un horno con el fin de prepararlas para la etapa de tratamiento alcalino, que fue simulada por medio de un reactor estequiométrico representado por el equipo R-1 en el que se lleva a cabo la destrucción de la pared celular de las algas mediante una solución de hidróxido de sodio (NaOH) diluida, con el objetivo de liberar el agar contenido en estas, en dicho reactor también se dan reacciones secundarias como la hidrólisis de la celulosa y la hemicelulosa que son reducidas a azúcares como Xilosa y galactosa respectivamente.

Después de la etapa de tratamiento alcalino, la biomasa tratada es llevada a la etapa de neutralización, que también fue simulada con un reactor estequiométrico representado por el equipo R-2, en este se hace reaccionar el NaOH proveniente de la etapa de tratamiento alcalino con una solución de ácido sulfúrico diluido, convirtiendo el exceso de NaOH en Na_2SO_4 que luego es retirado mediante un filtro rotatorio representado por el equipo FIL-2.

La biomasa tratada en las etapas anteriores es alimentada a un tanque de calentamiento representado por el equipo TK-1, donde se mezcla con agua y se calienta a una temperatura de 80 °C, esto se hace para diluir el agar que luego es separado de los demás componentes sólidos utilizando un filtro prensa (FIL-3). Este equipo separa el agar junto con el agua, que luego es eliminada ya sea por medio la ruta 1 congelando la mezcla agar-agua a -10°C con el fin de aprovechar la baja solubilidad del agar en agua fría para ir separándolo a medida que se descongela o utilizando una evaporación del agua en la mezcla como se realiza por medio de la ruta 2. Para la simulación de las dos rutas evaluadas se asumió una eficiencia del 100% con respecto al contenido de agua eliminado de la mezcla agua-agar, esto se hizo con el fin de comparar ambas rutas bajo las mismas condiciones de producción de la planta, además se trabajó con una base de cálculo de 8000 Ton/año obedeciendo a la demanda del agar en Colombia.

Al realizar la simulación de las rutas de obtención de agar fue necesario tener en cuenta que para describir la materia prima (alga *Gracilaria sp.*) se utilizaron los componentes descritos en la tabla 2.

Tabla 2. Componentes definidos en la simulación para el alga *Gracilaria sp.*

Componente	Unidad funcional*	Composición % masa	Tipo	Fuente
Sal	NaCl	9.85	Sólido	Base de datos ASPEN
Arena	CaCO ₃	9.85	Sólido	Base de datos ASPEN
Humedad	H ₂ O	6.28	Líquido	Base de datos ASPEN
Agar**	(C ₁₂ H ₁₈ O ₉) _n	39.09	Sólido	RSOC
Cenizas	Ash	5.58	Sólido	Base de datos NREL
Lípidos	Trioleína	2.79	Sólido	Base de datos ASPEN
	Tripalmitina		Sólido	Base de datos ASPEN
	Histidina		Sólido	Base de datos ASPEN
Proteínas	Arginina	3.49	Sólido	Base de datos ASPEN
	Lisina		Sólido	Base de datos ASPEN
Ácidos grasos	Ac. Palmítico	1.04	Sólido	Base de datos ASPEN
	Ac. Oleico		Sólido	Base de datos ASPEN
Lignina	Lignina	1.04	Sólido	Base de datos ASPEN
Hemicelulosa	Xilan	6.98	Sólido	Base de datos NREL
Celulosa	(C ₆ H ₁₀ O ₅) _n	13.96	Sólido	Base de datos NREL

*Estos subcomponentes se ingresaron a la simulación para definir a cada componente.

**El componente agar fue creado por el usuario utilizando las propiedades que se encuentran en la Royal Society of Chemistry (RSOC).

Fuente: Autores

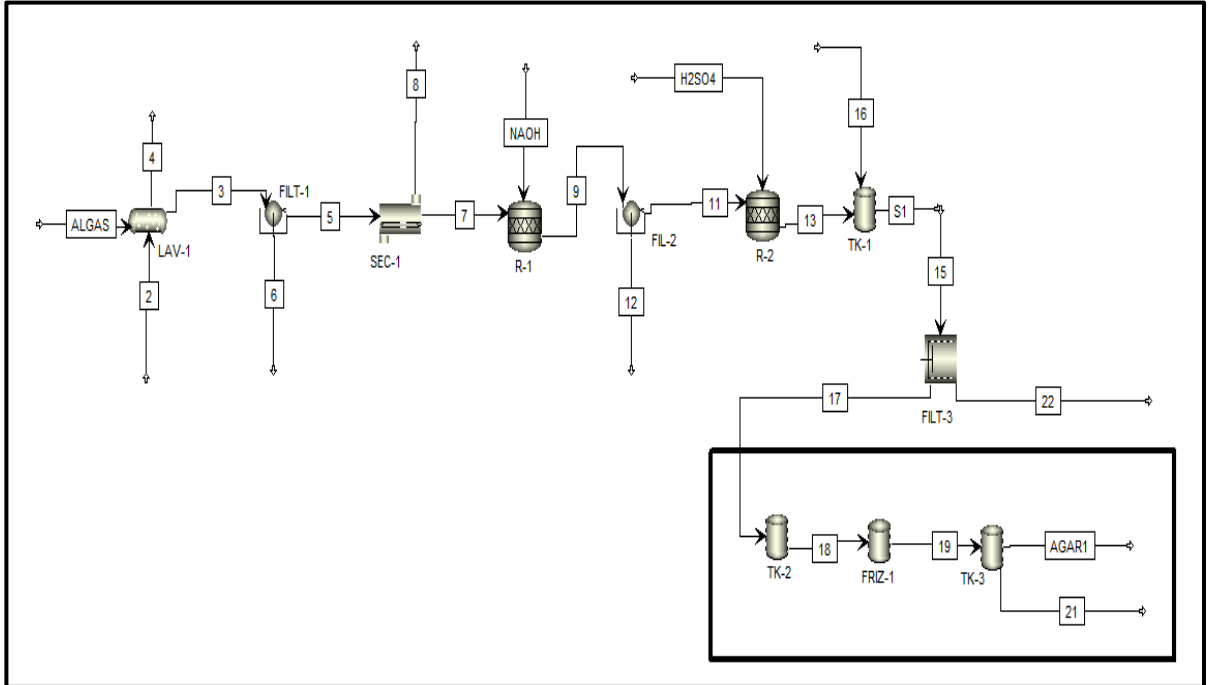
La composición de las corrientes principales del proceso que se obtuvieron después de realizar la simulación para ambas rutas son mostradas en la tabla 3, además de esto, en las figuras 4 y 5 se presentan los diagramas del proceso de obtención de agar en el ambiente de simulación de ASPEN PLUS V8.4 para la ruta 1 y 2, teniendo en cuenta que la zona encerrada en un recuadro de cada figura representa las etapas diferenciadoras de cada ruta planteada.

Tabla 3. Descripción de las principales corrientes de la ruta 1 y 2.

	Corrientes generales de la ruta 1 y ruta 2						Corrientes específicas ruta 1		Corrientes específicas ruta 2	
	Algas	2	NaOH	H ₂ SO ₄	16	17	18	19	Agar1	Agar 2
Temperatura (°C)	25	25	25	25	25	80	25	-10	25	25
Presión (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Componente líquido										
Flujo (kg/h)	260	8000	14800	158	14800	4369,80	4369,80	4369,80	395,56	395,56
Agua	0,2416	1	0,950	0,985	1	0,910	0,910	0,910	0	0
NaCl	0,3792	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaCO ₃	0,3792	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NaOH	0	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0
H ₂ SO ₄	0	0	0	0,015	0	0	0	0	0	0
Agar	0	0	0	0	0	0,09	0,09	0,09	1	1
Componente sólido										
Flujo (kg/h)	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ash	0,07550	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Celulosa	0,18870	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Xilan	0,09434	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trioleina	0,01889	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lisina	0,00061	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido palmítico	0,00943	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido Oleico	0,00943	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tripalmitina	0,01887	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agar	0,52830	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Histidina	0,01860	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arginina	0,02790	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lignina	0,00943	0	0	0	0	0	0	0	0	0

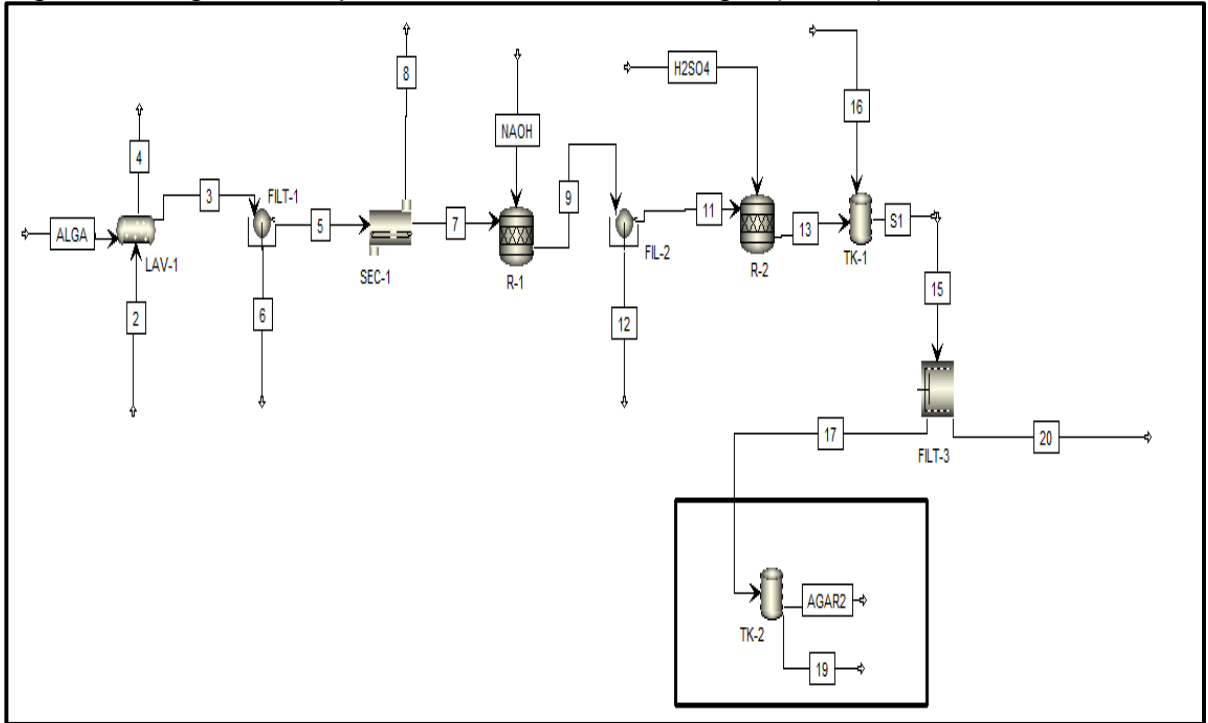
Fuente: Autores

Figura 4. Diagrama del proceso de obtención de agar (Ruta 1)



Fuente: Autores

Figura 5. Diagrama del proceso de obtención de agar (Ruta 2)



Fuente: Autores

4.3 EVALUACIÓN ECONOMICA, RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS RUTAS SIMULADAS

4.3.1 Evaluación del caso de estudio base

Para la evaluación del caso base aplicado a ambas rutas, se estableció la tasa tributaria total de Colombia (75,4%)³² para el año 2014 y el precio de la materia prima en USD 5.000/Ton³³. En la tabla 4 se muestran los parámetros suministrados al software de evaluación económica para las dos rutas estudiadas, a su vez la base de datos del simulador se actualiza según los indicadores de primer trimestre del año 2013.

Tabla 4. Parámetros suministrados al simulador económico para la ruta 1 y 2.

Ubicación de la planta	Colombia	
Parámetro	Unidades	
Inicio de operación de la planta	Día/mes/año	01/01/16
Vida económica del proyecto	años	15
Tasa tributaria total	%/año	75,4
Método de depreciación		Lineal
Valor de salvamento	%	20
Capital de trabajo	%	15
Descripción del proceso		Proceso nuevo y no probado
Tipo de fluidos de proceso		Líquidos y solidos
Modo de operación del proceso		Estado estable
Aumento del capital del proyecto	%/año	5
Aumento del precio del producto	%/año	5
Aumento del precio materia prima	%/año	3,5
Aumento del costo de utilidades	%/año	3
Aumento de costos operativos y de mantenimiento	%/año	3

Fuente: Autores

En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos de la evaluación económica, a partir de estos datos, se puede establecer que la ruta 2 arroja mejores indicadores económicos que la ruta 1, lo cual se atribuye a la disminución del número de equipos en la etapa específica del proceso que da como resultado una reducción en los costos operativos y de utilidades. Este beneficio se ve reflejado en una diferencia porcentual de 5,94 con respecto a la tasa interna de retorno de la inversión. Desde un enfoque técnico este resultado es razonable, teniendo en

³² BANCO MUNDIAL. Tasa tributaria total [En línea]. Consultado el día 10 de octubre de 2014. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/IC.TAX.TOTL.CP.ZS>

³³ ALIBABA GROUP. Precio venta algas [En línea]. Consultado el día 10 de octubre de 2014. Disponible en: <http://spanish.alibaba.com/trade/search?SearchText=algas+marinas+secas&selectedTab=products>

cuenta que la corriente de filtrado de agar (corriente 17) sale a una temperatura de 80°C y se requiere menos energía para evaporar el agua mediante la ruta 2, que disminuir esta temperatura a -10°C como ocurre en la ruta 1.

Tabla 5. Resultados de la evaluación económica para las rutas 1 y 2.

Parámetro	Unidades	Ruta 1	Ruta 2
Costo total de capital del proyecto	USD	12.451.000	11.790.000
Costo operativo del proyecto	USD/año	48.400.000	46.099.000
Costos de labor operativa y mantenimiento	USD/año	1.044.000	1.043.000
Costo utilidades	USD/año	497.787	486.894
TIR	%	29,76	35,70
PI		1,10	1,12
TRN	%	10,48	11,78

Fuente: Autores

Por otra parte, la diferencia que se presenta en los costos de capital, costos operativos y costos de labor y mantenimiento del proyecto no es significativa entre las dos rutas, mientras que el cambio con respecto a la tasa interna de retorno si es apreciable. A pesar de esto, los índices de rentabilidad son mayores a uno para ambas rutas lo que indica que sin tener en cuenta las diferencias existentes, se puede afirmar que ambas rutas son rentables.

4.3.2 Análisis de sensibilidad

Efecto del costo de la materia prima. Para el análisis ejecutado en este caso de estudio que es aplicado a ambas rutas, se realizó la variación del precio de la materia prima con una desviación del 50% superior e inferior del precio base, con el fin de establecer la sensibilidad de las rutas ante este parámetro.

- **Ruta 1.**

Tabla 6. Efecto del costo de la materia prima sobre la rentabilidad de la ruta1

Parámetro	Unidades	Ruta 1		
		% de variación de la materia prima		
		-50%	Precio base	50%
PRI	Años	2,78	4,72	10,27
VPN	USD	265.549.000	156.353.000	47.158.000
TIR	%	60,18	29,76	8,92
PI		1,19	1,10	1,03
TRN	%	19,21	10,48	2,95

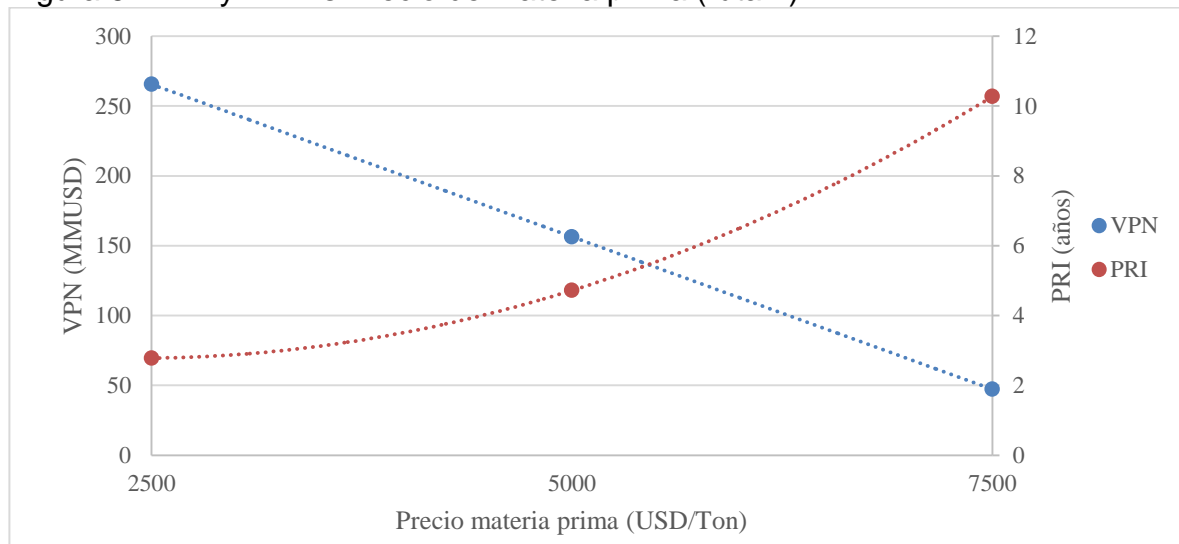
Fuente: Autores

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para la ruta 1, en ella se observa que al disminuir el precio base de la materia prima en un 50% la TIR aumenta un 30,42%, sin embargo al aumentar este valor en la misma proporción

la TIR disminuye un 20,48%, lo cual indica que el proceso es más sensible a las bajas en el precio de la materia prima.

En la figura 6 se muestra la variación del valor presente neto (VPN) y el periodo de recuperación de la inversión (PRI) en función del precio de la materia prima, el punto de intersección entre los polinomios de regresión para ambos parámetros representa el costo límite de la materia prima en el que el VPN y PRI son atractivos, después de este precio de materia prima se requerirá un periodo mayor para recuperar la inversión y a su vez el valor presente neto disminuye.

Figura 6. VPN y PRI vs Precio de materia prima (ruta 1)



Fuente: Autores

A partir de esta figura se puede establecer que el precio de materia prima en el punto de intersección es de USD 5.450/Ton, valor para el cual se obtiene un VPN de USD 136.698.000 y un PRI de 5,3 años. Considerando esto, un rango óptimo en el que se puede mover el precio de la materia prima sin afectar significativamente el período de recuperación de la inversión sería de 4.500 a 5.450 USD /Ton.

- **Ruta 2.**

En la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos para la ruta 2, en ella se observa la misma tendencia que en la ruta 1, debido a que al disminuir el precio base de la materia prima en un 50% la TIR aumenta 36,2% y al aumentar el precio en la misma proporción la TIR disminuye un 22,6%, sin embargo mediante esta ruta los cambios porcentuales son mayores a la ruta 1.

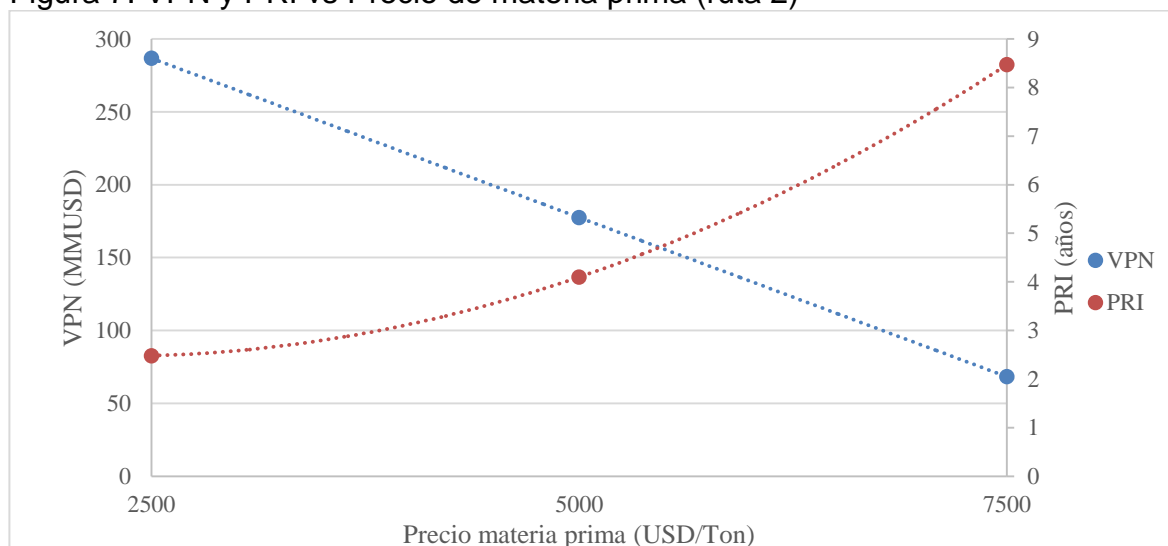
Tabla 7. Efecto del costo de la materia prima sobre la rentabilidad de la ruta 2

		Ruta 2		
Parámetro	Unidades	% de variación de la materia prima		
		-50%	Precio base	50%
PRI	Años	2,48	4,10	8,47
VPN	USD	286.699.000	177.474.000	68.278.000
TIR	%	71,9	35,7	13,1
PI		1,20	1,12	1,04
TRN	%	20,52	11,78	4,23

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta la figura 7, se determinó que el precio de materia prima en el punto de intersección es de USD 5.500/Ton, con un valor presente neto de USD 155.635.000 y un periodo de recuperación de la inversión de 4,63 años. El rango óptimo del precio de la materia prima es de 4.500 a 5.500 USD /Ton, el cual es superior al presentado para la ruta uno.

Figura 7. VPN y PRI vs Precio de materia prima (ruta 2)



Fuente: Autores

Influencia de la ubicación de la planta y la tasa tributaria. Teniendo en cuenta el precio base de las algas, que fue tomado de igual forma para los tres escenarios, se realizó la evaluación utilizando la tasa tributaria de los países mencionados en la tabla 8 para ambas rutas.

Tabla 8. Tasa tributaria de los países evaluados para el año 2014

Caso de estudio 2			
Escenario	Ubicación	Tasa tributaria total (%)	Fuente
1	Colombia	75,4	Banco Mundial
2	España	58,2	Banco Mundial
3	Estados unidos	43,8	Banco Mundial

Fuente: Autores

El resumen de la evaluación económica se presenta en la tabla 9, de ella se puede inferir que para la ruta 1 el aumento en el índice de rentabilidad (PI) es de 0,1 a medida que aumenta la tasa tributa total, mientras que para la ruta dos este aumento es de 0,11. Este parámetro es importante en la evaluación económica, teniendo en cuenta que un cambio en él puede afectar de manera significativa la tasa de retorno de inversión. A su vez, el tiempo de recuperación de la inversión para ambas rutas se ve afectado por la tasa tributaria total que se maneja en cada escenario.

Tabla 9. Resultados de la evaluación económica de cada ruta por escenario

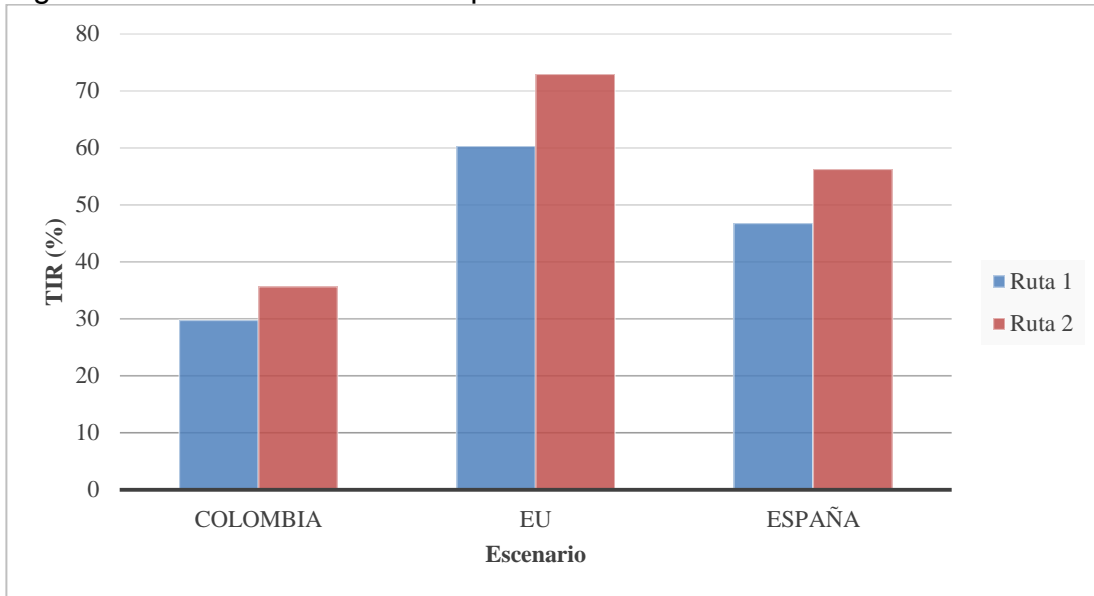
Parámetro	Unidades	Ruta 1			Ruta 2		
		Escenario					
		1	2	3	1	2	3
PRI	Años	4,72	3,36	2,82	4,10	2,95	2,48
TIR	%	29,76	46,8	60,35	35,7	56,28	72,96
PI		1,1	1,2	1,3	1,12	1,23	1,34
TRN	%	10,48	20,48	30,36	11,78	23,04	34,36

Fuente: Autores

En la figura 8 se comparan las dos rutas evaluadas en sus respectivos escenarios, esto se realizó con el fin de determinar la influencia de la tasa tributaria de cada país con respecto a la tasa interna de retorno (TIR). De los tres escenarios estudiados, Estados Unidos presentó la TIR más elevada para la ruta 2, esto se debe a que la tasa tributaria total para este país es de 43,8 %, siendo esta la más baja de todos los escenarios, además se observa que entre mayor es la tasa tributaria en el escenario presentado menor es la diferencia respecto a la TIR entre las rutas.

En el caso de Colombia la tasa tributaria total ha ido disminuyendo desde el año 2005 con un valor de 83,7% hasta 2014 con un valor de 75,4%, como se muestra en el anexo K. A pesar de esta disminución progresiva que ha tenido en los últimos años, sigue estando muy por encima del promedio mundial que para el año 2014 es de 40,9%, es por esto que de los escenarios estudiados presenta la rentabilidad más baja para ambas rutas.

Figura 8. TIR vs Ubicación de la planta



Fuente: Autores

CONCLUSIONES

Luego de realizar la evaluación técnico-económica de dos rutas de producción de agar a partir de algas rojas del género *Gracilaria sp.* a escala piloto, se puede concluir que las dos rutas evaluadas desde el punto de vista tecno-económico son factibles, sin embargo la ruta 2 que utiliza la evaporación presenta una mayor rentabilidad, debido al menor costo total de capital fijo, atribuyéndose a que el proceso planteado requiere un menor número de equipos, además en esta ruta los costos operativos y de utilidades empleadas son menores, puesto que los requerimientos energéticos para la evaporación de la mezcla agua-agar que sale de la etapa del filtrado de agar son más bajos en comparación con la ruta 1 que emplea el método de congelamiento y descongelamiento para purificar el agar.

Del análisis de sensibilidad realizado al costo de la materia prima en las dos rutas, se puede establecer que este es el factor más influyente en la rentabilidad de la planta, pues al aumentar en un 50% el periodo de recuperación de la inversión se duplica y el valor presente neto del proyecto disminuye a menos de la mitad, es por esta razón que se debe asegurar el sustento de la materia prima sin importar el escenario en que se realice el montaje de la planta.

La influencia de la ubicación de la planta depende básicamente de la tasa tributaria total que aplica el Gobierno al sector industrial en cada país. Por esta razón, al ser evaluada Colombia frente a países como Estados Unidos y España que tienen tasas tributarias totales menores, resulta ser menos rentable; sin embargo, en caso de ubicar la planta en este escenario sería recomendable la búsqueda de deducciones de impuestos con el fin de disminuir el efecto que tiene la tasa tributaria total en la rentabilidad del proyecto.

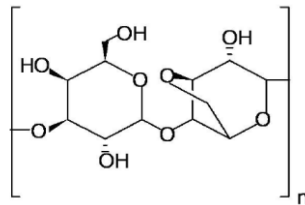
RECOMENDACIONES

- Se recomienda para posteriores investigaciones, tomar otros criterios de evaluación para la selección de las rutas ya sea desde el punto de vista energético realizando un análisis energético preliminar, o mediante una evaluación ambiental.
- Teniendo en cuenta que en el proceso planteado existen corrientes que salen del proceso con un gran contenido de agua y diferentes purezas, se recomienda estudiar la posibilidad de recircular estas corrientes mediante una integración de masa bajo el concepto Water Integration.
- Del proceso de producción de agar planteado se dan subproductos como la celulosa, hemicelulosa, lignina, entre otros compuestos, que pueden ser aprovechados para la producción de bioetanol, se recomienda para posteriores investigaciones evaluar el potencial de estos residuos bajo el concepto de biorefinería.
- Debido a que el precio de la materia prima es influyente en la rentabilidad del proceso, se recomienda realizar un estudio económico que determine la factibilidad del cultivo de las algas en los escenarios estudiados.

GLOSARIO

AGAR. El agar es un polisacárido (galactano) sulfatado en menor o mayor grado dependiendo de la especie y el método de extracción. El modelo ideal está representado por la agarobiosa, cuya unidad básica se compone por dos monosacáridos alternantes de D-galactosa y L-3,6-anhidrogalactosa con enlace 1-4 y 1-3 respectivamente. En conjunto el agar está formado por dos fracciones, la agarosa y la agarpectina.

Figura 9. Estructura de la agarobiosa.-(14)-β-D galactopiranososa-(13)-3,6 -anhidro-α-L-galactopiranososa.



Fuente: Evaluación de biomasa y extracción de agar del alga roja *Gracilaria vermiculophylla* (gracilariales, rhodophyta) de laguna San Ignacio, B.C.S., México.

AGAROFITAS. Algunas algas rojas del orden Gelidiales y Gracilariales (Rhodophyta), productoras de agar.

AGAROSA. La agarosa un polisacárido natural extraído de las paredes celulares de ciertas algas rojas (Rhodophyceae) también conocidas como agarofitas. Su estructura química confiere a la agarosa la capacidad de formar geles muy fuertes incluso a bajas concentraciones. Es un componente neutro del agar que le da el poder gelificante y el valor económico, debido a su bajo grado de sulfatación.

ASPEN PLUS. Software comercial, que es un simulador estacionario, secuencial modular, orientado a la industria de procesos química y petroquímica, el cual modela y simula cualquier tipo de proceso para el cual hay un flujo continuo de materiales y energía de una unidad de proceso a otra.

ASPEN PROCESS ECONOMIC ANALYZER. Puede hacer el dimensionamiento básico de los equipos, para luego, con los parámetros de inversión especificados por el usuario (impuestos, capital de trabajo, vida económica del proyecto, etc), estimar el capital de inversión, los costos de operación y las ganancias. Con los resultados obtenidos, se generan los flujos de caja correspondientes y se procede al análisis de rentabilidad. Además, el usuario puede generar reportes de los costos involucrados en proyecto y los detalles del diseño.

COSTO DE CAPITAL. Es el dinero necesario para comprar e instalar la planta y todos sus auxiliares, incluyendo los gastos necesarios que se requieren para iniciar la operación del proceso.

COSTO DE OPERACIÓN. Una vez la planta está operando se conoce como costo de operación a los gastos continuos necesarios para operar la planta.

DEPRECIACIÓN. Es el mecanismo mediante el cual se reconoce el desgaste que sufre un bien por el uso que se haga de él. Desde el punto de vista financiero y económico, consiste en que, al reconocer el desgaste del activo por su uso, se va creando una especie de provisión o de reserva que al final permite ser reemplazado sin afectar la liquidez y el capital de trabajo de la empresa.

GRACILARIA SP. Genero de alga roja que habita en la zona tropical y se encuentra fijada a rocas sumergidas en el mar, de esta alga se extrae el agar.

HEMICELULOSA. Es un heteropolisacarido formado principalmente por monómeros como xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y ácido glucurónico, que forman una cadena lineal ramificada.

HIDROCOLOIDES. Son moléculas que actúan aumentando la viscosidad de los medios acuoso y en función de la dosis pueden ocasionar un efecto gelificante.

INDICE DE RENTABILIDAD (IP). Es la relación de rentabilidad con respecto a la inversión de un proyecto.

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSION (PRI). Representa el número de años que han de transcurrir para que la acumulación de los flujos de caja proyectados iguale a la inversión inicial.

RODOFITAS. (*Rhodophyta*), división de las algas acuáticas, principalmente marinas, cuya característica es su color rojo. El color resulta de los pigmentos ficoeritrina y ficocianina, fuentes de agar.

TASA DE INTERNA DE RETORNO (TIR). Tasa de descuento con la que el valor presente neto es igual a cero.

TASA DE RENDIMIENTO NETO (TRN). Indica todos los beneficios de la propiedad, incluyendo el beneficio en la reventa en comparación con la inversión inicial.

TASA TRIBUTARIA TOTAL. La tasa tributaria total mide el monto de impuestos y contribuciones obligatorias que pagan las empresas después de justificar las exenciones y deducciones permitidas como porción de las utilidades comerciales.

Se excluyen los impuestos retenidos (como impuesto al ingreso personal) o cobrados y remitidos a autoridades fiscales (como impuestos al valor agregado, impuestos a las ventas o impuestos a los bienes y servicios).

VALOR DE SALVAMENTO. Valor del mercado de un activo al final de su vida útil.

VALOR PRESENTE NETO (VPN). El Valor presente de un proyecto es la ganancia que genera el proyecto en pesos. Este valor positivo, significa que el proyecto renta por encima de la tasa de descuento (costo de capital o tasa de interés de oportunidad), mientras que un VPN negativo, indica que el proyecto renta por debajo de la tasa de descuento y que los ingresos a valor presente son inferiores a la inversión. Y por tanto el proyecto no es conveniente.

BIBLIOGRAFÍA

ALIBABA GROUP. Precio venta algas [En línea]. Consultado el día 10 de octubre de 2014. Disponible en: <http://spanish.alibaba.com/trade/search?SearchText=algas+marinas+secas&selectedTab=products>

ARDILA, B., VELEZ, M. Utilización del agar extraído de la macroalga *Gracilaria Mammillaris* recolectada en Cartagena de Indias, como producto gelificante para la elaboración de mermelada de tomate de árbol. Cartagena (1998). Trabajo de grado (Ingeniero de alimentos). Universidad de San Buenaventura. Facultad de Ingeniería.

ARMISEN, R., GALATAS, F. Production and utilization of products from commercial seaweeds: chapter 1 - production, properties and uses of agar [En línea]. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/X5822E/x5822e03.htm#chapter 1 production](http://www.fao.org/docrep/X5822E/x5822e03.htm#chapter%201%20production).

BANCO MUNDIAL. Tasa tributaria total [En línea] consultado el día 10 de octubre de 2014. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/IC.TAX.TOTL.CP.ZS>

BOTANICAL. Agar-Agar: Características del agar [En línea] consultado el día 27 de mayo de 2013. Disponible en: http://botanical-online.com/agar_agar.htm

CHIGASAKI, S., KAWASAKI, T., *et al.* Process for the production of agar from a red alga (1973). United States. No. 330,688. Agosto 26 de 1975.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION. Plan Nacional De Desarrollo 2010-2014 [En línea] consultado el día 4 de marzo de 2014. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/PND/PND20102014.aspx>

Dirección De Investigaciones Universidad San Buenaventura–Cartagena. Formulación de las líneas de investigación.

GRAJALES, T. Tipos de investigación [En línea] consultado el día 29 de mayo de 2013. Disponible en: <http://tgrajales.net/investipos.pdf>

MERCADO, M., TRESPALACIOS, A., ALVAREZ, R. Experiencias colombianas en la utilización de medios de cultivos y extractos experimentales a partir de macroalgas marinas del caribe: estado actual de su conocimiento. En: Biosalud. Vol. 7 (2008).

HURTADO, A. Influence of extraction time on the rheological properties of agar from some *Gracilaria* species from the Philippines. En: *Botánica Marina* [En línea] Vol. 35, No. 5 (1992); p. 441-445. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com

IESPPCREA. El conocimiento y la investigación científica: paradigmas y enfoques de la investigación científica [En línea] consultado el día 29 de mayo de 2013. Disponible en: http://www2.minedu.gob.pe/digesutp/formacioninicial/wp-content/uploads/2010/09/Material_dia_1.pdf

JARAMILLO, J. Evaluación tecno-económica de la producción de biocombustibles a partir de micro-algas. Manizales 2011. Trabajo de grado de maestría (Magister en Ingeniería Química). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

KENITRA, R., AUZEVILLE, M., *et al.* Process for producing agar-agar from an algae extraction juice (1986). United States. No. 889,092. Octubre 25 de 1988.

KUMAR, S., GUPTA, R., *et al.* Bioethanol production from *Gracilaria verrucosa*, a red algae, in a biorefinery approach. En: *Bioresource Technology* [En línea] Vol. 135, (2013); p. 150-156. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com.

KUMAR, V., FOTEDAR, R. Agar extraction process for *Gracilaria cliftonii* (Withell, Millar, & Kraft, 1994). En: *Carbohydrate Polymers* [En línea] Vol. 78, (2009); p. 813-819. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.sciencedirect.com

LI, H., ZHANG J., *et al.* Optimization and scale-up of a new photobleaching agar extraction process from *Gracilaria lemaneiformis*. En: *Journal of Applied Phycology* [En línea] Vol. 21, No. 2 (2009); p. 247-254. Consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com

MERIÑO, D. Proyecto Educativo Bonaventuriano. Universidad de San Buenaventura. p.48

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política de Gestión Ambiental Urbana [En línea] consultado el día 27 de mayo de 2013. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/politica_de_gestion_ambiental_urbana.pdf

MURANO, E., TOFFANIN, R. Evaluation of steam explosion as pretreatment in agar extraction from *Gracilaria dura* (C. Agardh) J. Agardh (*Gracilariaceae*, *Rhodophyta*). En: *Journal of Applied Phycology* [En línea] Vol. 5, No. 4 (1993); p. 417-424 consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: www.scopus.com

NIU, J., XU, M., WANG, G., *et al.* Comprehensive extraction of agar and R-phycoerythrin from gracilaria lemaneiformis (Bangiales, Rhodophyta). En: Indian Journal of Marine Sciences [En línea] Vol. 42, No.1 (2013); p. 21-28 consultado el día 28 de marzo de 2014. Disponible en: [ww.scopus.com](http://www.scopus.com)

PIRIZ, M. Macroalgas Marinas: Clave ilustrada para identificación de los géneros más frecuentes en Golfo Nuevo y alrededores [En línea]. Consultado el día 27 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.cenpat.edu.ar/geac/PDFs/Macroalgas.pdf>

RINCONES, R., MORENO, D. Establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Aspectos técnicos y económicos para el establecimiento comercial del maricultivo de algas en Colombia: Experiencias en la Península de La Guajira. En: Ambiente y desarrollo. Vol. 15, No. 28 (2011).

TARQUIN, A., BLACK, L. Ingeniería económica. Mc Gran Hill 4 edición (2000).

TAPIAS, H. Ingeniería Química: Escenario futuro y dos nuevos paradigmas. En: Ingeniería Química. Revista española [En línea]. No. 359 (1999). Consultado el día 4 de abril de 2013. Disponible en: http://jaibana.udea.edu.co/producciones/Heberto_t/ingenieria_quimica.html

VASQUEZ, J., FONCK, E. Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América latina y el Caribe: Estado actual y perspectivas de la explotación de algas alginofitas en Sudamérica. En: Deposito de documentos de la FAO [En línea]. Consultado el día 4 de abril de 2013 Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB483S/AB483S02.htm>

VERGARA, M. Evaluación de biomasa y extracción de agar del alga roja Gracilaria vermiculophylla (gracilariales, rhodophyta) de laguna San Ignacio, B.C.S., México. La Paz B.C.S, 2009. Tesis de maestría (Magister en Ciencias en Manejo de Recursos Marinos. Instituto Politecnico Nacional- Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

VILLALOBOS A., CALDERON L., *et al.* Evaluación por método ecométrico de agar obtenido de algas rojas colombianas. En: Pontificia Universidad Javeriana. Universitas Scientiarum Revista de la Facultad de Ciencias. No. 12 (2007). Edición especial III.

WOOLEY, R., PUTSCHE, V. Development of an ASPEN PLUS physical property database for biofuels components. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/MP-425-20685 (1996).

XU, B., ZHANG, W., LI, C., *et al.* Production of agar with low-temperature solubility and high gel strength from *Gracilaria* by screw extrusion. En: Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering [En línea] Vol. 29, No.2 (2013); p. 280-286. Consultado el día 28 de marzo de 2014.Disponible en: ww.scopus.com

ANEXOS

ANEXOS A

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Caso Base)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	<i>Year</i>	<i>0,00</i>
<i>ROUTE</i>	1		
<i>CASE</i>	<i>BASE</i>		
<i>ITEM</i>		<i>UNITS</i>	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	15,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	12.451.114,06
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	42.521.050,66
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	76.051.970,85
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.044.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	497.787,06
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	75,40
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	124.000,00

ANEXOS B

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Precio -50%)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	Year	0,00
<i>ROUTE</i>	1		
<i>CASE</i>	Precio -50%		
<i>ITEM</i>		UNITS	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	15,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	12.451.114,06
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	22.525.018,90
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	76.051.970,85
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.044.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	497.787,06
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	75,40
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	124.000,00

ANEXOS C

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Precio +50%)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	Year	0,00
<i>ROUTE</i>	1		
<i>CASE</i>	Precio +50		
<i>ITEM</i>		<i>UNITS</i>	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	15,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	12.451.114,06
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	62.517.082,40
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	76.051.970,85
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.044.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	497.787,06
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	75,40
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	124.000,00

ANEXOS D

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Caso Base)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	Year	0,00
ROUTE	2		
CASE	BASE		
ITEM		UNITS	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	5,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	11.790.643,71
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	40.403.110,62
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	77.789.572,38
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.043.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	486.894,34
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	75,40
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	123.000,00

ANEXOS E

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Precio -50%)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	Year	0,00
<i>ROUTE</i>	2		
<i>CASE</i>	Precio -50%		
<i>ITEM</i>		UNITS	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	5,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	11.790.643,71
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	20.407.078,87
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	77.789.572,38
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.043.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	486.894,34
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	75,40
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	123.000,00

ANEXOS F

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Precio +50%)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	<i>Year</i>	<i>0,00</i>
<i>ROUTE</i>	2		
<i>CASE</i>	Precio +50		
<i>ITEM</i>		<i>UNITS</i>	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	5,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	11.790.643,71
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	60.399.142,36
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	77.789.572,38
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.043.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	486.894,34
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	75,40
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	123.000,00

ANEXOS G

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Escenario 2)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	<i>Year</i>	<i>0,00</i>
<i>ROUTE</i>	1		
<i>SCENARIO</i>	2		
<i>ITEM</i>		<i>UNITS</i>	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	15,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	12.451.114,06
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	42.521.050,66
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	76.051.970,85
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.044.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	497.787,06
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	58,20
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)		Straight	Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	124.000,00

ANEXOS H

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 1 (Escenario 3)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	<i>Year</i>	<i>0,00</i>
<i>ROUTE</i>	1		
<i>SCENARIO</i>	3		
<i>ITEM</i>		<i>UNITS</i>	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	15,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	12.451.114,06
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	42.521.050,66
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	76.051.970,85
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.044.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	497.787,06
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	43,80
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)		Straight	Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	124.000,00

ANEXOS I

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Escenario 2)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	<i>Year</i>	0,00
<i>ROUTE</i>	2		
<i>SCENARIO</i>	2		
<i>ITEM</i>		<i>UNITS</i>	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	5,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	11.790.643,71
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	40.403.110,62
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	77.789.572,38
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.043.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	486.894,34
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	58,20
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	123.000,00

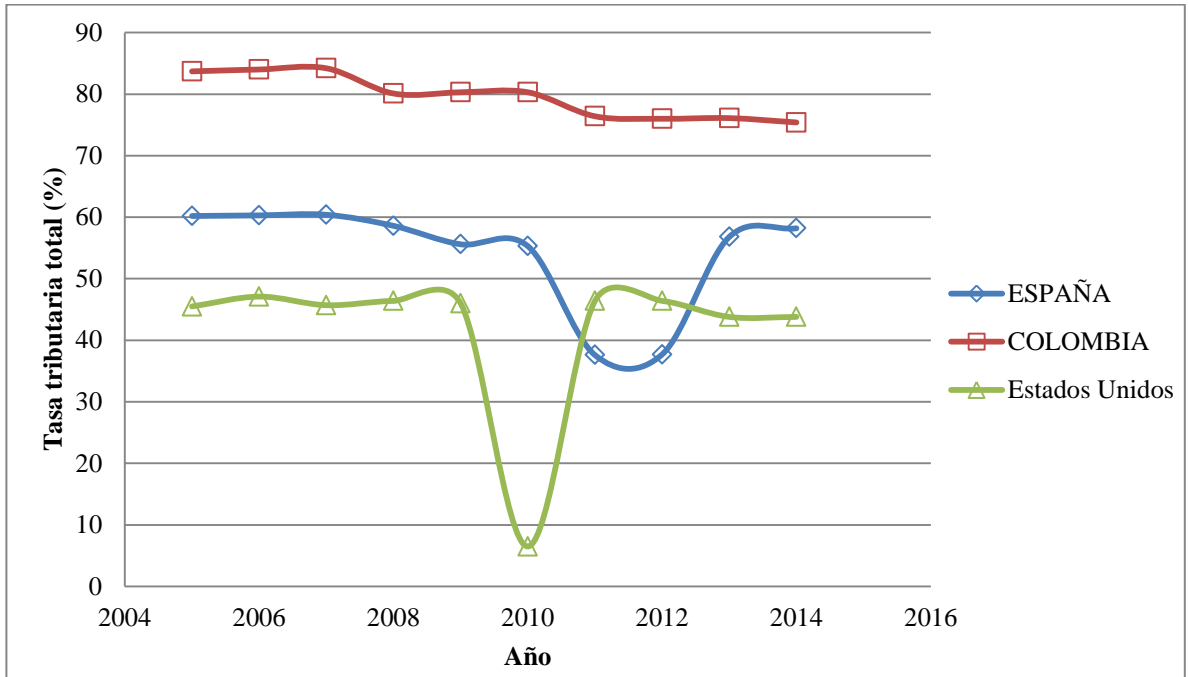
ANEXOS J

Resumen económico del simulador ASPEN PLUS V8.4 ruta 2 (Escenario 3)

CASHFLOW.ICS	(Cashflow)Cashflow	Year	0,00
ROUTE	2		
SCENARIO	3		
ITEM		UNITS	
TW (Number of Weeks per Period)		Weeks/period	52,00
T (Number of Periods for Analysis)		Period	15,00
DTEPC (Duration of EPC Phase)		Period	0,62
DT (Duration of EPC Phase and Startup)		Period	1,00
WORKP (Working Capital Percentage)		Percent/period	5,00
OPCHG (Operating Charges)		Percent/period	25,00
PLANTOVH (Plant Overhead)		Percent/period	50,00
CAPT (Total Project Cost)		Cost	11.790.643,71
RAWT (Total Raw Material Cost)		Cost/period	40.403.110,62
PRODT (Total Product Sales)		Cost/period	77.789.572,38
OPMT (Total Operating Labor and Maintenance Cost)		Cost/period	1.043.000,00
UTILT (Total Utilities Cost)		Cost/period	486.894,34
ROR (Desired Rate of Return/Interest Rate)		Percent/period	0,00
AF (ROR Annuity Factor)			ERR
TAXR (Tax Rate)		Percent/period	43,80
IF (ROR Interest Factor)			1,00
ECONLIFE (Economic Life of Project)		Period	15,00
SALVAL (Salvage Value (Percent of Initial Capital Cost))		Percent	20,00
DEPMETH (Depreciation Method)			Straight Line
DEPMETHN (Depreciation Method Id)			1,00
ESCAP (Project Capital Escalation)		Percent/period	5,00
ESPROD (Products Escalation)		Percent/period	5,00
ESRAW (Raw Material Escalation)		Percent/period	3,50
ESLAB (Operating and Maintenance Labor Escalation)		Percent/period	3,00
ESUT (Utilities Escalation)		Percent/period	3,00
START (Start Period for Plant Startup)		Period	1,00
PODE (Desired Payout Period (excluding EPC and Startup Phases))		Period	
POD (Desired Payout Period)		Period	
DESRET (Desired Return on Project for Sales Forecasting)		Percent/Period	10,50
END (End Period for Economic Life of Project)		Period	15,00
GA (G and A Expenses)		Percent/Period	8,00
DTEP (Duration of EP Phase before Start of Construction)		Period	0,42
OP (Total Operating Labor Cost)		Cost/period	920.000,00
MT (Total Maintenance Cost)		Cost/period	123.000,00

ANEXOS K

Variación de la tasa tributaria total (% de utilidades) por año



Fuente: Banco Mundial