

PROYECTO FONDEF DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

INFORME FINAL

TITULO DEL PROYECTO: CONVERSIÓN TÉRMICA DE BIOMASA MICROALGAL AGOTADA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIO-OIL, SYNGAS Y BIOCHAR POS T EXTRACCIÓN DE BIOPRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO

CÓDIGO DEL PROYECTO: CA13I10145

FECHA DE EMISION: 26/01/2017

FIRMA DEL (DE LA) DIRECTOR(A) DEL PROYECTO
GUSTAVO ANDRES CIUDAD BAZAUL

I. Acta De Término Del Proyecto

1.1 Identificación del proyecto

TITULO DEL PROYECTO	CONVERSIÓN TÉRMICA DE BIOMASA MICROALGAL AGOTADA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIO-OIL, SYNGAS Y BIOCHAR POS T EXTRACCIÓN DE BIOPRODUCTOS DE ALTO VALOR AGREGADO
CÓDIGO FONDEF	CA13I10145
DIRECTOR(A) DEL PROYECTO	GUSTAVO ANDRES CIUDAD BAZAUL
INSTITUCIÓN(ES) BENEFICIARIA(S)	UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
EMPRESA Y OTRAS ENTIDADES ASOCIADAS	DESERTBIOENERGY S.A.

1.2 Ejecución del proyecto

FECHA DE TOMA DE RAZON POR LA CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA	29/11/2013
DURACIÓN CONTRACTUAL	24
FECHA EFECTIVA DE INICIO	03/03/2014
FECHA EFECTIVA DE TÉRMINO	03/07/2016
DURACIÓN EFECTIVA	28

1.3 Plan de Continuidad

Nombre Institución Beneficiaria	Nombre Representante Legal	Firma
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA	SERGIO ANTONIO BRAVO ESCOBAR	Firma Electrónica

1.4 Tabla de Conformidad

Nombre Institución Empresa u Otra Entidad Socia	Nombre Representante Legal	Documento conformidad
DESERTBIOENERGY S.A.		Si
DESERTBIOENERGY S.A.		Si

II. Informe Ejecutivo

2.1 Resumen Ejecutivo

Versión en Castellano

En Chile se ha incentivado la producción de microalgas para el desarrollo de biocombustibles. Sin embargo, no existe una alternativa que sea viable económicamente. Por otro lado, el alto contenido de proteína en la biomasa (50% aproximadamente) afecta a la calidad del bio-oil producido de microalgas, debido a la formación de NOx en su combustión. En este sentido se observa una oportunidad para desarrollar un proceso basado en la biorrefinería que considere la extracción previa de proteínas y el uso de la biomasa residual para la generación de diversos subproductos. El presente proyecto propone una alternativa al downstream de microalgas sin considerar la producción de biodiesel. Este proceso propuesto consiste en dos etapas consecutivas. La primera se refiere a una etapa de extracción e hidrólisis de proteínas para la generación de un biofertilizante de alto valor agregado. La segunda etapa consiste en la pirólisis de la biomasa remanente generada luego de la extracción de proteínas, para la producción de tres productos: bio-oil, bio-char y gas de síntesis. Una ventaja del proceso propuesto se relaciona con la disminución en el contenido de nitrógeno de la biomasa antes de entrar al proceso de pirólisis. Existe investigación a nivel internacional en donde se ha propuesto la pirólisis de microalgas como alternativa a la producción de biodiesel. Sin embargo, ha sido reportado que el principal problema de esta alternativa es el alto contenido de nitrógeno de las microalgas, el cual se acumula principalmente en el bio-oil, generando un biocombustible potencialmente contaminante por emisiones de NOx durante su combustión. En el caso del presente proyecto se genera una doble solución, primero valorizar un producto de interés como bioproducto, considerando que alrededor del 40 a 50% de la biomasa microalgal corresponde a proteínas. Segundo, la disminución del contenido de nitrógeno de la biomasa a ser pirolizada. La industria de microalgas en Chile se basa en los resultados de experiencias extranjeras y en el desarrollo tecnológico de los consorcios tecnológicos, los cuales están basados en la producción de biocombustibles. Sin embargo, no existe el desarrollo de un downstream, por lo tanto, el uso de microalgas en otras aplicaciones no ha sido explorado aún. En este sentido se hace necesario el explorar nuevos escenarios que puedan sustentar económicamente la producción de microalgas. Por otro lado, en el mercado actual se requieren células con alto contenido de lípidos, lo cual se favorece aplicando estrés a los cultivos, priorizando el contenido de lípidos por sobre la producción de biomasa. Adicionalmente, aún no se ha alcanzado la factibilidad económica para sustentar el proceso, esto significa que en la práctica en Chile y en el mundo no es factible la producción de biodiesel de microalgas. Por lo tanto, el presente proyecto propone una alternativa al downstream de microalgas sin considerar la producción de biodiesel. Esta consiste en dos etapas consecutivas: 1) extracción e hidrólisis de proteínas para la generación de un biofertilizante de alto valor agregado y 2) pirólisis de la biomasa generada luego de la extracción de proteínas, generando bio-oil con bajo contenido en NOx, bio-char y gas de síntesis. Los destinatarios de esta tecnología serán empresas productoras de microalgas y empresas que desarrollan fertilizantes tales como SOQUIMICH, COSAF, FARTUM, FUMEX y pequeños y medianos productores. Otros destinatarios son las empresas productoras y distribuidoras de combustibles. La tecnología será transferida por medio de una patente o licenciamiento del proceso. Se espera que el biofertilizante tenga una fácil entrada en el mercado dado a la necesidad de productos naturales y ecológicos. Por lo tanto, al haber una demanda de biofertilizante, se generará gran producción de biomasa residual agotada en proteínas, ideal para ser usada en proceso propuesto de pirolisis.

Versión en Ingles

Chile has encouraged the production of microalgae for biofuels development. However, there is not an economically feasible alternative yet. Moreover, the high protein content in the biomass (about 50%) affects the quality of bio-oil produced from microalgae, due to the formation of NO_x during its combustion. In this sense there is an opportunity to develop a process based on microalgae biorefinery considering a prior protein extraction and after the use of residual biomass for the generation of various byproducts. This project proposes an alternative to the microalgae downstream processing, without considering the biodiesel production. The proposed process consists of two consecutive stages. The first stage is both an extraction and hydrolysis of proteins for the generation of a high value added biofertilizer. The second stage consists in the pyrolysis of spent biomass generated during the proteins extraction, in order to the production of three products: bio-oil, bio-char and synthesis gas. An advantage of the proposed process is related to the decrease in nitrogen content of the biomass, decreasing the NO_x production during the bio-oil combustion. There are several research where had been proposed the pyrolysis as an alternative instead of the biodiesel production. However, it has been reported that the main problem of this approach is the high nitrogen content of the microalgae, which is accumulated mainly in the bio-oil, generating a biofuel with higher NO_x emissions during bio-oil combustion. In the case of this project is proposed a double solution. First: considering that about 40-50% of the microalgal biomass corresponds to proteins, is possible the generation of a high value product. Second: the decrease of the nitrogen content of the biomass to be pyrolysed. The microalgae industry in Chile is based on the results obtained from foreign experience and the technology developed by the technological consortium funded by INNOVA-CORFO. However, there is no a downstream development. Therefore, the use of microalgae in other applications has not been explored yet. In this sense it is necessary to explore new scenarios that can sustain economically the microalgae production. Furthermore, in today's market is requires cells with high lipid content, which is favored by applying stress to the microalgae cultures, prioritizing the lipid content over the production of biomass. Additionally, it has not yet reached the economic feasibility to support the process, this means that in Chile and in the world is not feasible the microalgae biodiesel production. Therefore, this project proposes an alternative to the microalgae downstream processing, without considering the biodiesel production. The proposed process consists of two consecutive stages. The first stage is both an extraction and hydrolysis of proteins for the generation of a high value added biofertilizer. The second stage consists in the pyrolysis of spent biomass generated during the proteins extraction, in order to the production of three products: bio-oil, bio-char and synthesis gas. The final user of this technology will be the microalgae production and fertilizers companies such as SOQUIMICH, COSAF, FARTUM, FUMEX and small and medium producers. Other user will be the producers and fuel distributors. The technology will be transferred by means of a patent or licensing process. Biofertilizer is expected to have an easy distribution into the market given the need for natural and organic products. Therefore, the increase of the demand for biofertilizer production will generate large residual biomass depleted in protein, ideal for the pyrolysis process proposed.

2.2 Cuadro De Sintesis de Resultados y Objetivos

Objetivos Generales	
Nombre Objetivo	OBJETIVO GENERAL
Descripción	Estudiar la conversión térmica de biomasa microalgal agotada para la producción de bio-oil, syngas y biochar post extracción de un bioproducto de alto valor agregado

Objetivos Específicos	
Nombre Objetivo	OBJETIVO ESPECIFICO 1
Descripción	El objetivo es estudiar y comparar una metodología de hidrólisis enzimática y una de solubilización química para la producción de un biofertilizante de microalgas.
Nombre Objetivo	OBJETIVO ESPECIFICO 2
Descripción	El objetivo plantea la implementación y puesta en marcha de un pirolizador apropiado para pirólisis de microalga. Además se estudiarán las condiciones de operación tiempo y flujo de gas carrier para favorecer la producción de bio-oil
Nombre Objetivo	OBJETIVO ESPECIFICO 3
Descripción	El objetivo plantea el análisis de los productos de la pirólisis como productos energéticos. Además, se analizará la factibilidad de la obtención de bio-oil de mejor calidad con biomasa microalgal post producción de un biofertilizante

RESULTADO	
Tipo	Resultado de Producción
Nombre	Metodo para la generacion de biofertilizante
Descripción	Se establecerá un método químico o enzimático para la producción de un biofertilizante a partir de microalgas, el cual podrá ser aplicado en forma líquida al suelo. Este método permitirá maximizar la extracción de proteína, dejando una biomasa residual concentrada en lípidos y carbohidratos. Los principales competidores son las empresas de biofertilizantes químicos y los productores de monoproductos a partir de microalgas. Los biofertilizantes, sobre todo el que se podría producir de microalga poseen inductores del crecimiento, hormonas y aminoácidos esenciales que pueden ser usados por la planta, mejorando así la resistencia a las condiciones ambientales y mejorando la productividad. Este método de producción podría ser comercializado a empresas productoras de fertilizantes y biofertilizantes

Descripción del Logro	<p>Se obtuvo un biofertilizante líquido obtenido a partir microalgas. El producto se obtiene en dos etapas: Solubilización química + hidrólisis enzimática. La primera etapa química se realiza utilizando una concentración inicial de biomasa en el rango de 150 a 200g/L. En el caso de una microalga salina, es necesario eliminar la sal lavando la biomasa con una proporción de 1/4 kg biomasa/L de agua previo al procedimiento establecido. El producto se caracteriza por un contenido de 88,8% de aminoácidos totales, lo cual le otorga características superiores a la de los biofertilizante del mercado, que contienen del orden de 10 a 12% de aminoácidos totales (Seido degerminia (12,7%), Aminofert de Fartum (10,5%)). En relación a su perfil de aminoácidos el biofertilizante producido posee 7 aminoácidos esenciales (His (15,83%), Thr (3,29%), Val (5,76%), Met (0,98%), Lys (3,22), Leu (8,19) y Phe (4,41)) y 11 aminoácidos no esenciales En una segunda etapa el solubilizado químico debe ser sometido a una hidrólisis con la enzima comercial Flavourzyme 1000L. El producto final obtenido se caracteriza por un grado de hidrólisis de $2,7 \pm 0,8$ %. Para el caso de los biofertilizantes comerciales, el grado de hidrólisis reportado se encuentra entre 2,01-3,50%. Esto significa que el producto obtenido es competitivo en relación a su grado de hidrólisis y supera altamente el porcentaje de aminoácidos totales.</p>
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	
--------------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción
Nombre	Condiciones de operación de un pirolizador de biomasa microalgal
Descripción	<p>Se establecerán las condiciones de operación para la producción de bio-oil, gas de síntesis y biochar a través de pirólisis, utilizando biomasa microalgal remanente generada luego de la producción de un biofertilizante. Las condiciones deberán favorecer la producción de bio-oil en primera instancia y bio-char en segunda instancia para aplicaciones agroindustriales, minimizando la producción de syngas. A diferencia de otros procesos, la materia prima será biomasa desproteínizada, lo que permitirá incrementar el poder calorífico del bio-oil. Este resultado podrá ser utilizado para mejorar la operación de otros pirolizadores. Finalmente, Se validará la tecnología operando el pirolizador con distintas especies de microalgas post producción de un biofertilizante, favoreciendo la producción de bio-oil</p>

Descripción del Logro	<p>Se ha implementado, puesto en marcha y optimizado un pirolizador semi-continuo de microalgas, el que opera a una temperatura máxima de 700 C. Cuenta con un sistema de inyección de biomasa continua al reactor, regulación de flujo de nitrógeno gaseoso como carrier para biomasa, en una sección del inyector y por otro lado como regulador de tiempo de residencia de vapores dentro del reactor. El bio-char producido durante la operación es almacenado en un cubículo en la sección inferior del reactor y de igual forma el bio-char particulado y arrastrado a la salida de vapores y gases pirolíticos del reactor son colectados en una trampa de bio-char. Este último permite evitar la presencia de bio-char activado en el bio-oil. Al final de la trampa de bio-char se cuenta con sistema de condensación, compuesto de un condensador primario y secundario, el primero es de acero inoxidable, permitiendo condensar vapores con alta temperatura. Posteriormente, los vapores no condensados en el condensador primario pasa a un condensador secundario de vidrio, este permitiendo condensar y visualizar parte de la reacción de obtención de bio-oil condensable. Los no condensables como aerosoles son precipitados en un precipitador electrostático, completando la fase de obtención de bio-oil. El sistema cuenta con un tablero electrónico que controla el proceso de forma automática. Las condiciones de operación para la producción de bio-oil, singas y bio-char con biomasa microalgal desproteinizada en el pirolizador antes mencionado son las siguientes: El secado de la biomasa microalgal: Fue realizado a 105 C durante 3 horas para obtener biomasa con 0 de humedad con un consumo energético de 1 kWh. Temperatura: La temperatura de operación fue determinada a través de un estudio en un analizador termogravimétrico (TGA), obteniéndose un rango de operación de 470 a 490 C. Distribución de tamaño de partícula: Se trabajó con un rango de tamaño de partícula de 0,5 a 1 mm, que fue el rango óptimo. A tamaños mayores la biomasa no se procesó homogéneamente (1 a 1,4 mm); por otro lado, a tamaños menores la biomasa se lavó del reactor (0,5 mm), disminuyendo la eficiencia del proceso de pirólisis. Flujo de inyección de biomasa: El flujo de biomasa fue de 3,3 g/min, el cual fue calculado en función de la capacidad del equipo y la capacidad del tornillo sin fin de la tolva de alimentación. El flujo de nitrógeno del inyector de biomasa fue de 10 L/min y el del horno fue de 17 L/min, con lo que se alcanzó un tiempo de residencia de los gases de 1,1 s. Este flujo fue escogido en función de la capacidad del equipo para alcanzar a pirolizar la biomasa, donde a tiempos menores, la biomasa se lavaba (no alcanzaba a ser pirolizada) y a tiempos mayores, no se cumplía con los requisitos para ser un proceso de pirólisis rápida.</p>
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	
--------------------------	--

RESULTADO	
Tipo	Resultado de Producción
Nombre	Bio-oil y otros productos de biomasa microalgal remanente generada

Descripción	<p>Se producirá bio-oil gas de síntesis y bio-char de pirólisis de biomasa microalgal remanente generada luego de la producción del biofertilizante. El bio-oil será caracterizado como potencial combustible a través de la cuantificación de parámetros tales como: densidad, viscosidad, acidez, poder calorífico, contenido de humedad, entre otros. Adicionalmente, se analizará la composición del bio-oil con la finalidad de proponer la necesidad o no del upgrading del producto para su utilización. Lo anterior permitirá conocer las ventajas o desventajas en relación al combustible fósil, diésel, el cual sería el principal competidor. Además, permitirá sentar las bases para una segunda etapa de proyecto. Para el caso del biochar, se realizará un análisis elemental para la estimación de su poder calorífico. Adicionalmente, se estudiara su tamaño de poro. Para el caso del gas de síntesis se analizará su composición y su poder calorífico con la finalidad de obtener un balance del proceso.</p>
-------------	---

Descripción del Logro

Se produjo bio-oil, gas de síntesis y bio-char de pirólisis rápida de biomasa microalgal remanente generada luego de la producción del biofertilizante. Las características de estos productos se detallan a continuación: Bio-oil: El estudio fue realizado utilizando biomasa microalgal desproteïnizada (BMD) liofilizada proveniente de la microalga de agua dulce *Scenedesmus almeriensis*. El bio-oil fue analizado en función de su número de componentes y contenido de compuestos nitrogenados comparando estos parámetros con bio-oil producido de la misma biomasa microalgal sin desproteïnizar (BMP). Los resultados mostraron que al utilizar BMD fue posible obtener bio-oil con una composición más simple en comparación al de BMP. Así, se observó que para el bio-oil de BMD el número de componentes fue menor a 60 para las 3 temperaturas estudiadas. Por el contrario, el número de componentes para el bio-oil de BMP fue de aproximadamente 120, 175 y 240 a 450 C, 500 C y 550 C, respectivamente. Estos resultados permiten inferir un proceso de refinamiento simplificado al producir bio-oil de BMD en comparación al bio-oil producido con microalga de manera convencional. En relación al contenido de compuestos nitrogenados, para el bio-oil de BMD estos fueron menores al 4, valor mucho menor al bio-oil de BMP, el cual se caracterizó por un contenido de compuestos nitrogenados de entre 30 a un 25. Finalmente, los principales componentes identificados en el bio-oil de BMD fueron alcanos (60), alcoholes (20), aldehídos (8), además de cetonas, esterés, algunos componentes aromáticos y nitrilos. Los resultados obtenidos comprueban la efectividad de la desproteïnización en mejorar la calidad del bio-oil de microalgas. Bio-char: Al comparar el tamaño de poro y área superficial del biochar de BMP (38,1 angstrom, 15,3 m²/g) y el de BMD (38 Angstrom, 14,1 m²/g), no se observaron diferencias significativas. Sin embargo, en el tamaño de partícula final si se observaron diferencias, donde BMP presentó un mayor tamaño de partícula (1310,9±0,1 micrometros) en relación a BMD (118,3±0,1 micrometros). Este resultado permite inferir que la presencia de compuestos derivado de las proteínas podría actuar como aglomerantes en el biochar, a través de la carbonización de estos durante la reacción. En relación a la composición elemental (C, H y N) del biochar, no se presentaron diferencias entre BMP y BMD, debido a que la temperatura de reacción en ambas biomasa fue similar, lo cual define la fracción orgánica a desvolatilizar y por tanto la composición del biochar. En relación al poder calorífico, el biochar de BMP (17 MJ/k) fue ligeramente superior al del biochar de BMD (15,6 MJ/k). En conclusión, el efecto más relevante en la composición del biochar y estructura de este, es la temperatura de reacción. Aunque por otro lado, el tamaño de partícula presentó diferencias entre microalga completa y agotada en proteína, por tanto al disminuir el contenido de proteína de la biomasa a pirolizar, podría ayudar a disminuir la aglomeración en el biochar. Gas de Síntesis: En este hito se evaluó las características del syngas producido con BMD. En cuanto a la composición de gases energéticos como el H₂, el syngas BMP tuvo un 40% menos de proporción de H₂ que el syngas de BMD con 4,7 y 7,8 respectivamente. La composición con respecto al CH₄ fue similar (7 y 6,5, respectivamente), alcanzando ambos syngas valores similares al syngas de pino radiata. La proporción de CO fue similar en las dos biomasa microalgales con un 5,4 en relaciones a los otros gases. Sin embargo, al ser comparado con el syngas de pino radiata, la proporción de syngas es de un 20%. Del mismo modo la proporción del CO₂ fue

similar en ambas biomásas microalgales (52BMP y 45 BMD) (Tabla 2). Los resultados sugieren que la extracción de proteína tiene un efecto menor en la composición del syngas. Como conclusión en el resultado de producción Bio-oil y otros productos de biomasa microalgal remanente generada , se puede establecer que los principales efectos de extraer la proteína se producen en el bio-oil, donde se mejora su calidad al disminuir su acidez y su complejidad. Sin embargo, en los productos secundarios como el syngas y biochar no existen diferencias significativas.

Referencia Bibliográfica	
--------------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Protección
Nombre	Metodología de generacion de biofertilizante
Descripción	En este proyecto se patentará una metodología de obtención de bio-oil en conjunto con la obtención de un biofertilizante a partir de microalgas. La patente estará dirigida a empresas de biofertilizante y de bioenergía. Esta patente será protegida en Chile
Resultados de Producción Asociados	Metodo para la generacion de biofertilizanteBio-oil y otros productos de biomasa microalgal remanente generada
Descripción del Logro	Se realizó un estudio de patentabilidad con una consultora externa para evaluar la prefactibilidad de presentar una patente, el cual arrojó que la mejor alternativa era no patentar. Al correo de ejecutivo se enviará el reporte de invención y el estudio de patentabilidad de la consultora.

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
Nombre	Trabajo de titulo de pregrado 2
Descripción	Trabajo de titulo de pregrado denominado \"Producción de Bio-Oil a partir de pirólisis rápida de biomasa microalgal desproteïnizada, bajo un concepto de biorrefinería\" que realiza Luis Romero-Hermoso alumno de Ingeniería Civil Ambiental de la Universidad de La Frontera

Descripción del Logro	<p>La pirólisis rápida es un proceso térmico o termoquímico en ausencia de oxígeno y de corta duración (d 2 s), que transforma la materia orgánica principalmente en bio-oil, generando como subproductos bio-char y gas de síntesis. El bio-oil de origen microalgal se caracteriza por un mayor contenido de hidrógeno y menor contenido de oxígeno que el de origen lignocelulósico, favoreciendo un alto poder calorífico (29 a 45 MJ/kg). Sin embargo, el alto contenido de proteínas de la biomasa microalgal genera bio-oil con un elevado contenido de nitrógeno (aprox. 10%), el cual puede favorecer las emisiones de NOx cuando éste es combustionado. Bajo el concepto de biorrefinería, en donde el residuo de un proceso puede transformarse en insumo del siguiente, como una sucesión de procesos integrados; la extracción de proteínas puede ser utilizada como un tratamiento previo para eliminar el nitrógeno en la biomasa microalgal a ser pirolizada obteniendo un concentrado proteico de interés comercial. En este contexto, los procesos químicos de extracción de proteínas de microalgas de agua dulce han dado buenos resultados. Sin embargo, se reporta que el proceso de extracción en microalgas salinas tiene bajos rendimientos por interferencias de la sal. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la producción de bio-oil a partir de pirólisis rápida utilizando la microalga salina <i>Nannochloropsis gaditana</i>, luego de una etapa previa de extracción alcalina de proteínas. En una primera etapa la biomasa microalgal fue lavada para evitar interferencias de la sal en la extracción de proteínas. Posteriormente, la extracción de proteínas se realizó bajo condiciones previamente optimizadas para microalga de agua dulce, las cuales permiten maximizar la solubilización de proteínas, minimizando la pérdida de lípidos y carbohidratos. Las condiciones utilizadas fueron pH 11,7, 100 rpm y 60°C durante 12 minutos, obteniéndose como productos un solubilizado proteico y biomasa desproteinizada (NGD). Los experimentos de pirólisis rápida utilizando NGD se realizaron a través de metodología superficie respuesta (MSR) en los rangos 450°C-550°C y 0,5-2 segundos, permitiendo las condiciones para obtener la mayor producción de bio-oil. El tamaño de partícula se mantuvo constante en el rango de 0,4-0,8 mm, de acuerdo a estudios previos. Los resultados mostraron que el lavado de la materia prima redujo en un 35% aproximadamente el contenido de cenizas. La extracción de proteínas se realizó obteniendo un 35% de eficiencia generando bajas pérdidas de lípidos (aprox. 4%) y alta acumulación de carbohidratos en la biomasa agotada (~ 40%). Sin embargo, es necesario minimizar las pérdidas de lípidos para la posterior pirólisis de la biomasa "desproteinizada". El modelo obtenido a partir de la MSR aplicada al estudio de la pirólisis rápida predijo un máximo de 37% de bio-oil a 481°C y 1,1 seg. Sin embargo, estos rendimientos podrían ser mejorados realizando ajustes al pirolizador utilizado. Esto debido a que al operar el equipo a bajos tiempos de operación este tuvo un pobre desempeño no generando los resultados esperados (mayor rendimiento de bio-oil). Finalmente, un análisis del poder calorífico del bio-oil obtenido a 500°C fue realizado encontrándose un alto poder calorífico de 35 MJ/kg, lo cual lo hace un producto de interés como combustible para seguir desarrollando la tecnología de su producción.</p>
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	Almacenada en biblioteca UFRO.
--------------------------	--------------------------------

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
Nombre	Presentacion en congreso
Descripción	Poster sobre la producción de bio-oil por pirólisis rápida de microalga nannochloropsis gaditana desproteinizada

Descripción del Logro	<p>La pirólisis rápida es un proceso térmico o termoquímico en ausencia de oxígeno y de corta duración (menor o igual a 2 s), que transforma la materia orgánica principalmente en bio-oil (combustible líquido), generando como subproductos biochar y gas de síntesis. El bio-oil de origen microalgal se caracteriza por un mayor contenido de hidrógeno y menor contenido de oxígeno que el de origen lignocelulósico, favoreciendo un alto poder calorífico (29 a 45 MJ/kg). Sin embargo, el alto contenido de proteínas de la biomasa microalgal genera bio-oil con un elevado contenido de nitrógeno (aprox. 10%), el cual disminuye su poder calorífico. La extracción de proteínas de microalgas por metodología alcalina ha dado buenos resultados. Bajo el concepto de biorrefinería, en donde el residuo de un proceso puede transformarse en insumo del siguiente, la extracción de proteínas puede ser utilizada como un tratamiento previo para eliminar el nitrógeno en la biomasa microalgal a ser pirolizada, obteniendo a la vez un concentrado proteico de interés comercial. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las características del bio-oil producido por pirólisis rápida utilizando la microalga Nannochloropsis gaditana, luego de una etapa de previa de lavado y extracción alcalina de proteínas. Los experimentos de pirólisis rápida se realizaron en los rangos 450 °C-550 °C y 1-2 segundos, optimizando las condiciones para obtener la mayor producción de bio-oil. La biomasa fue previamente lavada para evitar interferencias de la sal en el tratamiento. La extracción de proteínas se realizó a pH 11.3, utilizando NaOH 2M, luego se agitó por 40 minutos a 200 rpm y 50 °C, finalmente la mezcla se centrifugó. Los resultados preliminares de pirólisis mostraron que a 550 °C se produjo una mayor conversión de la biomasa a bio-oil; sin embargo su contenido de agua fue aprox. 23%; mientras que a 450 °C el contenido bajó a 8%. El lavado de la materia prima redujo en un 30% el contenido de cenizas. La extracción de proteínas se realizó obteniendo un 70% de eficiencia, sin embargo es necesario minimizar las pérdidas de lípidos para la posterior pirólisis de la biomasa "desproteinizada"</p>
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	"Producción de bio-oil por pirólisis rápida de microalga nannochloropsis gaditana desproteinizada"
--------------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
Nombre	Presentacion en congreso
Descripción	Presentación en forma de poster del hidrolizado proteico, a través de hidrólisis enzimática de microlagas

Descripción del Logro	<p>El uso de microalgas se ha masificado debido a su interés industrial. Los estudios se centran en los biocombustibles, debido a la capacidad de las microalgas de acumular lípidos, los cuales se pueden usar para producir biodiesel. Sin embargo, la baja rentabilidad de la generación de monoproductos ha re-focalizado la investigación hacia biorrefinería, la cual se basa en obtener diferentes productos, minimizando así la generación de residuos. Estudios demuestran que las microalgas además poseen altas cantidades de proteína (entre un 30 a 60% de su masa), la cual se puede transformar en un subproducto de interés comercial. Dado a lo anterior, el objetivo de este trabajo fue producir un hidrolizado proteico, a través de hidrólisis enzimática (HE) de la microalga <i>Nannochloropsis gaditana</i>, aplicando condiciones que no afecten el contenido de otros subproductos de la biomasa post extracción de proteína, tales como lípidos (L) y carbohidratos (C). La biomasa inicial fue caracterizada a través de un análisis proximal. Se estudiaron 2 pretratamientos: molienda en frío (T1) y molienda húmeda (T2). Posterior a eso se midió el rendimiento de hidrólisis por análisis OPA (o-phthaldialdehyde), utilizando la enzima comercial Alcalasa. De esta etapa se seleccionó el pretratamiento con máximo rendimiento. Finalmente, con el pretratamiento seleccionado, se evaluó el uso consecutivo de las enzimas Alcalasa-Flavourzyme en el rendimiento de HE. Los productos generados fueron analizados a través de un análisis proximal. Los rendimientos de hidrólisis fueron control 13,8%, T1 15% y T2 12%. El tratamiento menos intensivo (T2) fue el que causó las menores pérdidas de C y L en la biomasa residual. Los resultados indican la importancia de un pretratamiento efectivo que pueda romper la pared celular de las microalgas, de modo de aumentar la extracción y posterior hidrólisis de las proteínas. Sin embargo, a mayor intensidad del pretratamiento mayores pérdidas de otros subproductos, por lo que se requiere un compromiso entre la eficiencia de extracción de proteínas y la generación de otros productos de interés, lo cual es clave a la hora de diseñar procesos de biorrefinería.</p>
-----------------------	---

Referencia Bibliográfica	Presentación en congreso "Hidrolizado proteico, a través de hidrólisis enzimática de microalgas"
--------------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
Nombre	Trabajo de título de pregrado 1
Descripción	Trabajo de título de pregrado denominado "Producción de un hidrolizado proteico, a través de hidrólisis enzimática de microalgas, en el marco de la biorrefinería", que realizara Paulina Jara estudiante de Ing. en biotecnología marina y acuicultura de la Universidad de Concepción

Descripción del Logro	Trabajo de título de pregrado de Paulina Jara estudiante de Ing. en biotecnología marina y acuicultura de la Universidad de Concepción
-----------------------	--

Referencia Bibliográfica	Trabajo de título de pregrado de Paulina Jara estudiante de Ing. en biotecnología marina y acuicultura de la Universidad de Concepción, almacenada en Universidad de Concepción.
--------------------------	--

RESULTADO

Tipo	Resultado de Producción Científica (Ex "Otros")
------	---

Nombre	Publicacion cientifica
Descripción	Publicación científica sobre propuesta de proceso de biorrefinería preliminar para la recuperación de proteínas y los biocombustibles a partir de microalgas
Descripción del Logro	A preliminary study of a new route for the valorization of microalgal biomass including protein and biofuels recovery is presented. The study involved consecutive steps of soluble protein extraction using alkaline conditions, followed by lipid extraction for biodiesel production. After both extraction processes, the spent biomass was used as feedstock for bio-oil production through pyrolysis at 500 C. The results were compared with pyrolysis using whole microalgal biomass and lignocellulosic feedstock. The new route allowed getting 10% of solubilized protein and only 2% of biodiesel (relative to the total biomass). Biooil yield obtained using spent <i>Botryococcus braunii</i> was 33.2%. Higher bio-oil yields were obtained from whole <i>Nannochloropsis gaditana</i> (38.3%), whole <i>B. braunii</i> (39.7%) and pine wood (39.9%). Related to bio-oil characteristics, several protein-derived compounds were identified in bio-oil from spent <i>B. braunii</i> biomass. Therefore, the reduction of these compounds in bio-oil should be a critical target for further research. In addition, considering the low biodiesel production yield, lipid extraction from biomass could be avoided. This would increase lipid derived compounds in bio-oil, improving its heating value. Finally, unlike lignocellulosic biomass derived bio-oil, microalgae bio-oil showed a neutral pH, preventing possible corrosion problems in combustion engines.
Referencia Bibliográfica	Muñoz, R., Navia, R., Ciudad, G., Tessini, C., Jeison, D., Mella, R., ... & Azócar, L. (2015). Preliminary biorefinery process proposal for protein and biofuels recovery from microalgae. <i>Fuel</i> , 150, 425-433.

RESULTADO

Tipo	Resultado de Formación de Capacidades (Ex "Otros")
Nombre	Dirección de trabajos de título
Descripción	El proyecto incluye la formación de profesionales a través de la dirección de tesis de pregrado (al menos 2) y postgrado (al menos 1)
Descripción del Logro	En el marco del proyecto se generaron 3 tesis de pregrado con la siguiente información: Luis Romero Hermoso : "Producción de Bio-Oil a partir de pirólisis rápida de biomasa microalgal desproteïnizada, bajo un concepto de biorrefinería" (Ingeniería Civil Ambiental-Universidad de La Frontera) Paulina Jara: "Producción de un hidrolizado proteico, a través de hidrólisis enzimática de microalgas, en el marco de la biorrefinería" (Ingeniería en biotecnología marina y acuicultura-Universidad de Concepción) Ricardo Vielma : Puesta en marcha y operación de un pirolizador a escala piloto para la producción de bio-oil a partir de biomasa microalgal (Ingeniería Civil Ambiental-Universidad de La Frontera) La tesis de postgrado no fue lograda, ya que el investigador Robinson Muñoz del programa de Doctorado en ciencias de recursos naturales de la Universidad de La Frontera pidió extensión en la entrega de su trabajo para optar al grado de doctor.

RESULTADO DE PRODUCCIÓN

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Producto	1	1
Proceso	2	2

RESULTADO DE PROTECCIÓN

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Patente	1	No Hay

RESULTADO DE PRODUCCIÓN CIENTÍFICA (EX "OTROS")

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Evento	2	2
Publicación	1	1
Tesis o Proyecto de título	2	2

RESULTADO DE FORMACIÓN DE CAPACIDADES (EX "OTROS")

Categoría	Cantidad Comprometida	Cantidad Lograda
Capacidades profesionales desarrolladas o fortalecidas	1	No Hay

2.3 Informe financiero a la fecha de término

	Montos Comprometidos según Convenio por fuente de financiamiento	Monto Girado por Fondef	Gastos financiados por fuente de financiamiento	%
FONDEF	119.203.000	119.203.000	111.529.790	81,31 %
FONDEF	119.203.000	119.203.000	111.529.790	40,66 %
Institución(es) Beneficiaria(s)				
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA	30.771.000	No Aplica	25.629.487	18,69 %
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA	30.771.000	No Aplica	25.629.487	9,34 %
Empresas y otras Entidades Asociadas	0	No Aplica		0 %
Totales	149.974.000	119.203.000	137.159.277	50 %

Monto por Reintegrar		7.673.210		
Monto Reintegrado a FONDEF		(0)		
Costo Final del Proyecto		274.318.554		

2.4 Autoevaluación de la Ejecución del Proyecto

El(la) Representante Institucional de cada Institución Beneficiara
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
<p>Hoy en día las universidades modernas ya no solo buscan la obtención de mejores profesionales o publicaciones en revistas científicas, si no que están en una constante búsqueda de innovaciones efectivas que incorporen acciones como investigación, invención, publicaciones que sean de utilidad para el desarrollo de nuevas propuestas conjuntas, acuerdos y convenios con empresas e instituciones dispuestas a invertir en I+D, respondiendo de esta forma a las necesidades reales con soluciones sencillas, pero con atributos que cambiarán el enfoque de la sociedad que nos rodea. Es en este ámbito que este tipo de proyectos nos fortalecen como universidad al generar vincular a la empresa con la universidad y además formar capacidades nuevas en la casa de estudios. Desde la perspectiva de la Universidad de La Frontera, el proyecto cumplió con los resultados definidos al inicio, pues permitió desarrollar un proceso basado en la biorrefinería, que considere la extracción previa de proteínas de biomasa microalgal y el uso de la biomasa residual para la generación de diversos subproductos con potencial energético. La necesidad de realizar este proceso surgió ya que en Chile actualmente no existe una alternativa que sea viable económicamente para la utilización biomasa microalgal como biocombustible, incluso a pesar de tener las condiciones geográficas para un producción masiva de estas. Desde el punto de vista técnico, el proyecto logró generar una metodología para hidrolizar y solubilizar las proteínas presentes en la biomasa microalgal y lograr la producción de un biofertilizante. Además, en las dependencias de la Universidad de La Frontera se implementó y puso en marcha un pirolizador diseñado por los investigadores del proyecto capaz de llevar a cabo una pirólisis rápida de microalgas, enfocada a la producción de bio-oil a partir de estas, esto sirvió como base para que dos estudiantes de la casa de estudios realizaran sus respectivos trabajos de título vinculando la investigación aplicada con la formación de profesionales. El hecho de que la viabilidad técnica y económica fuese realizada en las dependencias de la Universidad de La Frontera genera externalidades positivas para la casa de estudios, generando adquisición de equipamiento y experiencia necesaria para seguir desarrollando esta línea de investigación de forma exitosa.</p>

El(la) Director(a) del proyecto
<p>En este proyecto se desarrolló un método para la generación de un biofertilizante, donde se probó tanto una hidrólisis enzimática como solubilización química de la biomasa microalgal para la obtención de un hidrolizado proteico. En esta etapa se obtuvieron 2 productos: un solubilizado químico y uno enzimático, siendo el solubilizado químico el que obtuvo mayor extracción de proteína (66%), y por lo tanto escogido como el mejor producto de esta etapa. Finalmente, se validó un método para la producción de un biofertilizante en dos etapas: Solubilización química + hidrólisis enzimática. Posteriormente se determinaron las condiciones de operación de un pirolizador de biomasa microalgal, lo cual incluyó una etapa previa de secado, implementación y puesta en marcha de pirolizador (etapa más compleja de todo el proyecto), finalizando con una optimización del equipo. Finalmente se caracterizaron los diferentes productos de la pirólisis donde se determinó que el bio-oil producido presentaba una menor acidez y menor cantidad de compuestos derivados de proteínas. En general el proyecto se realizó sin contratiempos hasta llegar a la etapa del diseño y construcción del pirolizador, lo cual tuvo el inconveniente de que se debieron realizar varias mejoras durante la marcha, esto sumado a un paro estudiantil, repercutió en que se debió aplazar el termino del proyecto 5 meses aprox. Sin embargo, los resultados son promisorios por lo que debiera postularse a una segunda etapa.</p>

2.5 Propuesta de Continuidad de la(s) Institucion(es) Beneficiaria(s)

La Universidad de La Frontera tiene como eje prioritario dentro de su misión contribuir al desarrollo de la región y el país mediante la generación y transmisión de conocimiento. Además se compromete con la calidad y la innovación, con el respeto por las personas, el entorno y la diversidad cultural, con la construcción de una sociedad más justa y democrática. Es en este sentido que el desarrollo exitoso de proyectos de I+D como FONDEF, especialmente en el área de nuevas fuentes de energía y procesos amigables al medio ambiente se ajusta directamente con las políticas universitarias. El proyecto FONDEF CA13110145 “Conversión térmica de biomasa microalgal agotada para la producción de bio-oil, syngas y biochar post extracción de bioproductos de alto valor agregado” dirigido por Gustavo Ciudad se planteó dentro de sus objetivos solucionar dos problemas latentes que se tienen como región y país. Por un lado generar productos energéticos de base no fósil que pueden ser usados como combustible y por otro la generación de un producto de alto valor agregado que con aplicación como fertilizante. Para poder materializar los resultados del proyecto la Universidad de La Frontera dará soporte a los equipos adquiridos en el proyecto y además estos quedarán a disposición de otros investigadores que pudiesen seguir desarrollando las líneas de investigación del proyecto. Líneas similares de investigación se han seguido desarrollando por investigadores del proyecto en la Universidad de La Frontera, por ejemplo Laura Azócar (Director alterno del proyecto) se adjudicó el proyecto FONDECYT Iniciación 11140823 “Improving energy density of alternative raw materials through torrefaction technology for pellet production” el cual se desarrollará entre los años 2015- 2018, para el cual se ha utilizado el Know-how y equipamiento generado en el proyecto. Con respecto a la protección de los resultados, el estudio de patentabilidad arrojó que no resultaba conveniente proteger los resultados del proyecto en la modalidad de patente, sin embargo se generaron publicaciones y presentaciones en congresos asociadas al proyecto, las cuales permitieron transferir los resultados del proyecto al formar capacidades en la universidad y generar nuevo conocimiento. Basado en los resultados obtenidos por el proyecto y en lo promisorio de esta tecnología el Director de este ha manifestado su intención de postular a una segunda etapa para consolidar los resultados y poder profundizar en estos.