

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

**CONVENIO ESPECÍFICO ENTRE
LA UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA – FACULTAD DE QUÍMICA
Y LA ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE COMBUSTIBLES, ALCOHOL Y
PÓRTLAND**

En la ciudad de Montevideo, entre, POR UNA PARTE: La **Universidad de la República – Facultad de Química (en adelante UdelaR)**, representada por su Rector, Dr. Rodrigo Arocena, y el Decano de la Facultad de Química, Dr. Eduardo Manta, con domicilio en la calle Isidoro de María 1620, de esta ciudad, Y POR OTRA PARTE: La **Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Pórtland (en adelante ANCAP)**, representada por el Presidente del Directorio, Lic. Raúl Sendic y el Secretario General, Dr. Miguel A. Tato Corbo, con domicilio en la calle Paysandú s/n esq. Avenida del Libertador Brigadier General Lavalleja, de esta ciudad, quienes suscriben el siguiente convenio:

PRIMERO.- ANTECEDENTES.

La UdelaR y ANCAP han suscrito un convenio general con el objetivo

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

- I. de formalizar el apoyo a proyectos de investigación seleccionados como resultado de los llamados realizados en el marco de las Cuartas Jornadas ANCAP–UdelaR.
- II. En dicho marco fue seleccionado, en el llamado a proyectos de investigación posterior a las Cuartas Jornadas ANCAP – UdelaR, el proyecto denominado “Evaluación del aceite de microalgas viables en la región para la producción de biodiesel”

SEGUNDO.- OBJETIVOS.

Por intermedio del presente ANCAP se compromete a otorgar a la UdelaR – Facultad de Química y ésta acepta un financiamiento no reembolsable de hasta un millón sesenta y cuatro mil cuatrocientos cincuenta con 70/100 pesos uruguayos (\$ 1.064.450,70) a fin de ejecutar el proyecto aprobado que se adjunta y que se tendrá como parte integrante del presente. En caso de producirse incrementos salariales en la UdelaR, podrá incrementarse dicho financiamiento en la proporción correspondiente. El mencionado financiamiento no reembolsable será abonado por ANCAP a la UdelaR – Facultad de Química en tres partes: 40% a la firma del convenio, 40% al



*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

inicio de la cuarta etapa del proyecto y 20% al aprobarse por parte de ANCAP el informe técnico final presentado. (ver Anexo 1) Para el caso de que ANCAP no se pronuncie sobre la aprobación del informe de referencia dentro del plazo de 45 días corridos, a contar desde la presentación del informe técnico final, el importe retenido deberá ser automáticamente entregado a la beneficiaria, al vencimiento del plazo mencionado.

TERCERO.-FECHA DE INICIO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO Y VIGENCIA

La fecha de inicio de ejecución del proyecto será a los quince días de firmado el presente contrato y regirá hasta su completa ejecución, conforme al cronograma de actividades adjunto. La UdelaR se obliga a ejecutar el proyecto en el plazo máximo de veintidós meses, contados a partir de la fecha de inicio del proyecto. Ambas partes acuerdan que para el caso de que se produzcan demoras y/o suspensiones en las entregas del financiamiento acordado en el presente no imputables a la UdelaR se prorrogará automáticamente el plazo previsto para la ejecución del proyecto de investigación por el mismo período que haya insumido la demora o

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

suspensión.

CUARTO.- EJECUCIÓN FINANCIERA

La ANCAP, entregará a la UDELAR - Facultad de Química la totalidad del financiamiento en 3 pagos, de conformidad con el cronograma ya referido.

QUINTO.- MANEJO DE LOS FONDOS

Los desembolsos que realice ANCAP, quedarán condicionados a los siguientes requerimientos:

1. Que la UdelaR otorgue a ANCAP informes de avances.
2. Que del seguimiento que hace ANCAP del proyecto, surja que el avance de las actividades del mismo es concordante con el cronograma aprobado y los entregables sean conforme a lo esperado.
3. Según el avance y en conformidad de ambas partes se podrá redefinir el alcance y cronograma iniciales del proyecto. En ese caso deberá existir

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

una aprobación expresa de la Comisión de Seguimiento.

4. En caso de que, a juicio de ANCAP, se constate que no se cumple con lo establecido, la referida Comisión, solicitará el bloqueo de los desembolsos y la suspensión del proyecto, debiendo en este caso, la UdelaR, presentar una rendición de cuentas con comprobantes fehacientes conteniendo la referencia del proyecto.

SEXTO- DESEMBOLSOS

Los desembolsos se realizarán contra el cumplimiento de los avances previstos en cada período según el cronograma adjunto, que forma parte integrante del contrato.

SÉPTIMO.- OBLIGACIONES

La UdelaR se obliga a:

1. Cumplir con los objetivos específicos y generales del proyecto así como con la metodología y cronograma de actividades.



*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

2. Entregar a ANCAP, al culminar el proyecto un informe final que recoja toda la información generada a través del mismo, sin perjuicio de los datos e informes parciales que durante su ejecución se reúnan y que deberán presentarse de acuerdo a la periodicidad estipulada.
3. A manejar con reserva toda la información referida al proyecto.

La ANCAP se obliga a:

1. Cumplir con los desembolsos comprometidos en las fechas pactadas.
2. Comunicar a la UdelaR quiénes serán los referentes del Proyecto por ANCAP.
3. Proporcionar toda la información pertinente, solicitada por UdelaR para el cumplimiento del proyecto.
4. A manejar con reserva toda la información referida al proyecto.

OCTAVO.- MODIFICACIONES AL PROYECTO

La UdelaR deberá solicitar autorización a ANCAP para toda modificación que

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

proyete realizar en la metodología y cronograma de actividades y de ejecución, así como las que puedan incidir en los objetivos del proyecto.

ANCAP podrá solicitar modificaciones en función de los avances del proyecto. La Comisión de Seguimiento podrá solicitar modificaciones en función de los avances del proyecto. Toda solicitud de modificación será evaluada y resuelta por la Comisión de Seguimiento.

NOVENO.- MORA

Queda pactada la mora automática de pleno derecho sin necesidad de interpelación judicial o extrajudicial alguna por un hacer o no hacer algo contrario a lo estipulado.

DÉCIMO.- INCUMPLIMIENTO

En caso de constatarse algún incumplimiento por cualquiera de las partes, la Comisión de Seguimiento será la encargada de evaluar el mismo, sin que el mismo tenga efecto vinculante para las partes al momento de solicitar la rescisión unilateral.

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

DÉCIMO PRIMERO.- RESCISIÓN UNILATERAL

Se pacta expresamente la rescisión unilateral a favor de la UdelaR y de ANCAP. Cuando cualquiera de las partes solicite la rescisión, la UdelaR deberá presentar los informes y rendiciones de gastos a ANCAP, pertinentes hasta la fecha. Ambas partes acuerdan que en caso de que se solicite la rescisión unilateral, la UdelaR no queda obligada a devolver las cantidades ya recibidas en cumplimiento del presente contrato ni los materiales o equipos que se hubieran adquirido a tal fin, ni ninguna otra suma por concepto alguno, siempre que se hubiera cumplido con lo estipulado en el cronograma que forma parte del presente contrato, y que las cantidades entregadas se hubieran aplicado según lo estipulado en este contrato. ANCAP, se reserva la rescisión en etapas anteriores a la finalización, previo pago de la etapa culminada.

DÉCIMO SEGUNDO.- EQUIPAMIENTO E INVERSIONES.

Los equipos comprados e inversiones realizadas con cargo a este convenio



*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

podrán ser utilizados por ANCAP en el futuro previa coordinación con los responsables de los mismos. En la medida de lo posible se aspira a que personal de ANCAP se incorpore a los proyectos de investigación.

DÉCIMO TERCERO.- COMUNICACIONES

Todas las comunicaciones entre las partes referentes a este convenio se efectuarán por escrito y en forma personal, por telegrama colacionado, carta certificada con aviso de retorno o cualquier otro medio fehaciente, y se reputarán cumplidas cuando el destinatario las haya recibido en el domicilio denunciado en la comparecencia .-

DÉCIMO CUARTO.- DOMICILIOS

Las partes constituyen domicilios a todos los efectos legales a que dé lugar este contrato en los indicados como suyos en la comparecencia.

DÉCIMO QUINTO.- ARBITRAJE



*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*

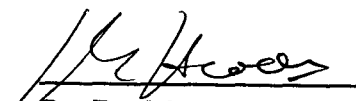
En caso de que surjan diferencias entre las partes, tanto en la relación a la interpretación o aplicación de este contrato, como en cuanto a la ejecución del proyecto de investigación de que se trate, las mismas serán sometidas a consideración de una Comisión Honoraria integrada por representantes de ambas partes, sin perjuicio de las acciones judiciales que pudieren corresponder si no se lograra un acuerdo.

DÉCIMO SEXTO.- REFERENCIA

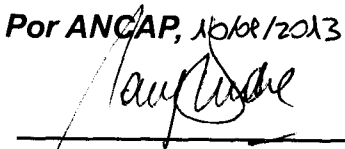
Las partes acuerdan que todo lo no establecido por el presente, se regirá por el convenio general suscrito por UdelaR –ANCAP relacionado en la cláusula primera de antecedentes.

Para constancia de lo actuado se suscriben tres ejemplares del mismo tenor en el lugar y fecha indicados en la comparecencia.

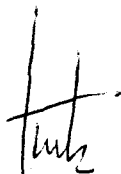
Por UdelaR, 29 AGO. 2013


Dr. Rodrigo Arocena
Rector
UdelaR

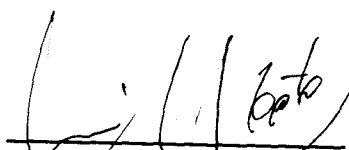
Por ANCAP, 16/08/2013


Lic. Raúl Sendic
Presidente
ANCAP

*Administración Nacional
de Combustibles Alcohol y Portland
Directorio*



**Dr. Eduardo Manta
Decano
Facultad de Química**



**Dr. Miguel A. Tato Corbo
Secretario General
ANCAP**

ANEXO 1 – CRONOGRAMA

Pago al inicio: Firma del Convenio 40%

Pago al inicio de la etapa 4: 40% (al inicio del mes 13)

Pago al final de la etapa 6: 20% (al final del mes 22).

Etapa	Mes de inicio	Mes de fin	Entregable	Pago
Etapa 1	1	2	Resultados de la evaluación y selección de cepas de microalgas a estudiar en función de antecedentes relativos a productividad y características del aceite producido.	Mes 0 al inicio: 40%
Etapa 2	2	8	Resultado de producción de aceite de las cepas seleccionadas a escala de laboratorio, evaluación del efecto de factores de estrés sobre la productividad y composición del aceite y selección de las condiciones óptimas de cultivo.	No corresponde
Etapa 3	9	12	Resultados de las muestras de aceite de cada tipo de cepa seleccionada cultivada en las condiciones identificadas como óptimas y caracterización del mismo (composición en FFA, composición en TAG, componentes minoritarios).	No corresponde
Etapa 4	13	18	Resultados de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.	Inicio de la Etapa 4: 40%
Etapa 5	18	21	Resultados de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-TES), caracterización y evaluación de los	No corresponde

			diferentes biodiesel obtenidos.	
Etapa 6	22	22	Resultados del estudio comparativo de los tres procesos de transesterificación estudiados en el proyecto y evaluación de la viabilidad de su implementación a escala industrial.	Final de la Etapa 6: 20%

(t)

Datos generales del Proyecto

Título del Proyecto Evaluación del aceite de microalgas viables en la región para la producción de biodiesel

Tema en el que se enmarca su proyecto Selección de algas nativas: materia prima para energía biodiesel o bioetanol

Otro tema en el que se enmarca su proyecto

Primer palabra clave microalgas

Segunda palabra clave biodiesel

Tercer palabra clave biocombustibles

Duración (meses) 24

A handwritten signature or mark consisting of a stylized 'U' shape with a vertical line extending downwards from its center.

Evaluación del aceite de microalgas viables en la región para la producción de biodiesel

1.- Descripción del problema a ser abordado y relevancia del mismo para ANCAP:

Marco general del problema a resolver:

Los problemas vinculados a la creciente necesidad de energía y los efectos adversos del incremento indiscriminado del consumo de combustibles fósiles es hoy en día ya un tema de dominio público y es poco lo que se puede agregar a la descripción de dicha situación sin caer en la reiteración de conceptos muy discutidos.

Lo concreto es que dicha problemática ha sido el motor para el desarrollo de diferentes fuentes de energía renovables alternativas.

Además de los problemas que se han presentado a nivel global, la situación en países como Uruguay resulta de mayor gravedad dado que nuestro país no dispone de reservas de combustibles fósiles por lo que es un importador neto de petróleo. El petróleo importado representa en promedio un 55 a 60 % de la oferta primaria de energía lo que determina una alta dependencia de las condiciones de abastecimiento externo (www.miem.gub.uy).

Si bien la posibilidad de incorporación de los biocombustibles a la matriz energética permite disminuir dicha dependencia, es necesario explorar otras alternativas o cultivos no tradicionales para la producción a gran escala de estos biocombustibles, para ello se requiere de la generación de conocimiento acerca de estos cultivos alternativos, capaces de generar los insumos necesarios.

Sin embargo, los actuales biocombustibles generan cada vez más dudas acerca de su viabilidad y su impacto medioambiental. Por ello, diversas investigaciones y proyectos tecnológicos en todo el mundo están trabajando en el desarrollo de una segunda y tercera generación que contrarreste estos inconvenientes. La diferencia fundamental de los nuevos biocombustibles de segunda generación con respecto a los actuales es que se elaboraran a partir de mejores procesos tecnológicos y materias primas que no se destinan a la alimentación y se cultivan en terrenos no agrícolas o marginales. De esta manera, la polémica generada por los actuales de sustituir alimento por carburante quedaría zanjada. Por ello, esta nueva generación de biocombustibles aparece con el objetivo de superar las limitaciones de expansión y los graves conflictos que pueden generar los actuales agrocombustibles.

Los aceites vegetales como materia prima para biocombustibles:

Se ha estudiado la utilización de aceites vegetales sin modificar como combustibles para motores de explosión lo que, si bien es posible, implica una serie de dificultades. Entre los problemas más importantes se encuentra la necesidad de introducir modificaciones irreversibles en el motor, la no-compatibilidad de los aceites con el combustible diesel tradicional, la producción de emisiones gaseosas indeseables, la producción de depósitos por carbonización, la alta viscosidad y los elevados puntos de fusión de los aceites (Murayama, 1994; Bhattacharyya and Reddy, 1994; Ali and Hanna, 1994; Krawczyk, 1996; Dunn, 2002). A diferencia de los aceites como tales, los ésteres etílicos o metílicos producidos a partir de diferentes materiales grasos han demostrado ser sustitutos convenientes del diesel tradicional y es a este tipo de derivado que se lo conoce como biodiesel. Debido a las características similares del biodiesel y del diesel tradicional, los motores diesel convencionales requieren de muy poca, o ninguna, modificación para funcionar con este tipo de combustible. El biodiesel se puede usar puro o mezclado con el diesel de petróleo y no produce depósitos indeseables en los motores (Bucheli *et al.*, 1983; Mittelbach and Tritthart, 1988; Gomez, *et al.*, 1989; Ali *et al.*, 1995; Knothe *et al.*, 1996; Krawczyk, 1996; Purcell *et al.*, 1996; Varese and Varese; 1996; Wu *et al.*, 1998; Dunn, 1999; Krahl *et al.*, 2002; Saucedo, 2002; Goodrum *et al.*, 2002). Actualmente se acepta la idea de que la utilización del biodiesel obtenido de aceites vegetales en motores constituye el método más simple, conveniente y viable de que hoy se dispone para, en última instancia, transformar energía solar en energía mecánica.

Transesterificación de grasas y aceites: Biodiesel:

Actualmente el término "biodiesel" está mayormente asociado a los monoalquil- ésteres de ácidos grasos de cadena larga, los cuales se obtienen mediante la transesterificación de grasas animales

y aceites vegetales con un alcohol de cadena corta, produciéndose el éster correspondiente y, como subproducto, glicerol. Esta reacción se produce por etapas, con mono y diglicéridos como productos intermediarios (Ullmanns, 1992). El combustible así obtenido se presenta propiedades muy similares al diesel derivado de petróleo y es miscible en cualquier proporción con este último (Mittelbach y Tritthart, 1988; Leung, 2001; Al-Widyan *et al.* 2002; Dorado *et al.*, 2003; Tashtoush *et al.*, 2003; Ulusoy *et al.*, 2004).

El uso del biodiesel como combustible alternativo se ha instalado a nivel mundial, proceso que se inició hace aproximadamente dos décadas en Europa, donde Austria fue pionero en dicho proceso, para luego diseminarse también en Norteamérica y gradualmente en el resto de los países. La utilización de este biocombustible ha sido una herramienta fundamental para la reducción de las emisiones de CO₂ y el cumplimiento de compromisos en este sentido como el protocolo de Kyoto.

A diferencia de otras fuentes de energía renovable, cuya utilización requiere de estudios de largo plazo, la tecnología del biodiesel es conocida y únicamente se requiere de su adecuación a las particulares características de las materias primas locales y a los volúmenes de producción de la región a la que se lo destine. Por este motivo su uso se ha ido incrementando gradualmente y se lo considera como una alternativa imprescindible a la hora de planificar la reducción del uso de combustibles fósiles y cumplir con los diferentes acuerdos tendientes a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Uruguay no ha sido ajeno a esta realidad y ha venido impulsando el desarrollo de las energías renovables y en particular del biodiesel en los últimos años. El proceso se inició con varias iniciativas legislativas como la ley n° 14567 de octubre de 2002 que declaró "de interés nacional la producción en todo el territorio del país, de combustibles alternativos, renovables y sustitutivos de los derivados de petróleo con materia nacional de origen animal o vegetal" y la Ley sobre Agrocombustibles de octubre de 2007 destinada al "fomento y regulación de la producción, la comercialización y la utilización de agrocombustibles". En esta se autoriza a ANCAP incorporar biodiesel producido en el país al gasoil en una proporción de hasta un 2% en volumen hasta el 31/07/2008, estableciendo ese nivel de mezcla como obligatorio a partir del 01/01/2009, el cual pasaría a ser del 5% a partir del 01/01/2012, metas que se irían alcanzando con algún retraso en relación a las fechas establecidas inicialmente. Si bien en este escenario se fomentó la aparición de varios productores artesanales de pequeña escala cuya producción en general se destinaba al autoconsumo y de alguna empresa de mayor porte produciendo biodiesel para ser comercializado, se puede considerar que la definitiva instalación del biodiesel en la matriz energética Uruguay se materializó a principios del 2010 con la puesta en marcha de la planta de biodiesel de ALUR instalada en un predio vecino a la empresa COUSA. Este emprendimiento es resultado de la asociación estratégica de ALUR con COUSA. Se trata de una planta suministrada por la empresa sueca Ageratec, del tipo multi-link (admite diferentes tipos de materia prima) con una capacidad de 16.000 Ton/año, una escala relativamente pequeña en comparación con plantas similares en otros países pero adecuada a las necesidades del medio, ya que es capaz de suministrar el biodiesel necesario para la mezcla al 2% con el gasoil consumido en nuestro país.

En julio del 2011 se firmó el contrato con la empresa Sueca Alfa Laval para la adquisición de una nueva Planta de Biodiesel (Fase 2), que permitirá alcanzar la producción para satisfacer la meta del mezclado al 5%, para lo que será necesario el incremento de la capacidad actual en 24.000 Ton/año, pasándose a producir en total 40.000 Ton/año.

Si bien es indiscutible la conveniencia del biodiesel como sustitutos del gasoil derivado del petróleo, algunos inconvenientes se han mencionado frecuentemente en relación al uso de estos derivados, fundamentalmente en lo referente a sus propiedades de flujo en frío (contándose entre las primeras su relativa elevada viscosidad, alto punto de enturbiamiento y punto de taponamiento de filtro en frío) y su estabilidad oxidativa. Si bien obviamente todas estas propiedades dependen en gran medida de las características de las materias primas destinadas a la elaboración de los monolaquil-ésteres, en particular de su grado de insaturación, resulta del mayor interés el diseño de procesos que permitan una elevada flexibilidad en cuanto a la calidad y características del material graso de origen, permitiendo la homogenización de las características y calidad del producto independientemente de las del material de partida. Por este motivo ha surgido gran interés en procesos de hidrogenación de aceites y grasas como un método alternativo a la transesterificación para la obtención de biocombustibles líquidos de segunda generación.

Proceso convencional de transesterificación mediante catálisis química (TES)

El proceso con el empleo de catalizadores químicos, constituye el método industrial más ampliamente utilizado para la elaboración de biodiesel. Mediante la catálisis básica, método sencillo y económico, se obtiene altas conversiones en tiempos relativamente cortos. Sin embargo, existen algunos factores que se deben tener en cuenta para que la reacción transcurra en forma eficiente: los reactivos (tanto el material graso como el alcohol) deben poseer un contenido de agua muy bajo y el material graso debe presentar un contenido muy bajo de ácidos grasos libres. En caso contrario, el proceso debe incluir etapas previas de secado y/o de neutralización (la alta acidez de los materiales grasos provoca la formación de jabones que son emulsionantes, además de consumir parte del catalizador agregado).

Otra desventaja de este método es la baja calidad de la glicerina obtenida como subproducto, ya que presenta una elevada concentración de iones, provenientes en su mayoría del catalizador químico utilizado (que queda disuelto en ella). Por lo tanto, esto genera una dificultad para la obtención de una glicerina de calidad a partir de la que se obtiene de este proceso. Su purificación involucra un costo muy elevado y genera altos volúmenes de efluentes muy ricos en compuestos orgánicos, altamente contaminantes, que requieren de un tratamiento previo a su descarte.

Como los procesos catalizados por álcali (NaOH, KOH) o por ácido (H₂SO₄) demandan etapas de lavado del biodiesel para eliminar el catalizador, se producen también grandes cantidades de efluentes (además de los correspondientes a la purificación de la glicerina), que deben ser tratados previo a su descarte.

Proceso alternativo de transesterificación: reacción en medio supercrítico (SC-TES)

Otra alternativa de reciente desarrollo para la síntesis de biodiesel es realizar la reacción de transesterificación utilizando un solvente (alcohol) en condiciones supercríticas, donde la reactividad es más elevada que en estado líquido o gaseoso, lo que facilita el proceso de conversión. Ello se debe al efecto de la presión y de la temperatura sobre las propiedades termofísicas del solvente, como la constante dieléctrica, la viscosidad, la densidad y la polaridad. La metodología supercrítica para la elaboración de biodiesel presenta varias ventajas, entre las que se destacan:

- No se utiliza ningún tipo de catalizador, por lo que los procesos de purificación del biodiesel y de la glicerina son mucho más simples.
- El tiempo de reacción es más corto que en la reacción catalítica convencional y se obtiene valores de conversión muy elevados.
- La homogeneidad de fase alcohol/aceite elimina los problemas de transferencia de masa entre ellos.
- Se puede utilizar materias primas de baja calidad, incluso con elevados contenidos de ácidos grasos libres y de agua ya que no presentan efectos negativos en la reacción. En particular, con esta metodología se obtuvo conversiones prácticamente completas en presencia de un elevado contenido de agua (de hasta el 50% en base al alcohol) cuando el proceso se condujo en metanol supercrítico (SC-MeOH) y en ausencia de catalizador. Esta es una diferencia importante respecto a cuando se emplean catalizadores básicos que son muy sensibles a la presencia de agua (la que debe ser inferior al 0.06% m/m) y al contenido de ácidos grasos libres (el que debe ser inferior al 0.5% m/m). En los procesos catalíticos se requiere la eliminación del agua en la alimentación y en las etapas intermedias para prevenir la inhibición de la reacción y/o inactivación del catalizador.
- Si se emplea altas relaciones metanol/aceite, se puede alcanzar la conversión total en pocos minutos.

En este sentido se destaca la tesis de doctorado finalizada en el 2010 por el Dr. Ignacio Vieitez (responsable de la presente propuesta), en la que se estudió la eficiencia de la elaboración de biodiesel en un reactor de flujo continuo a partir de diferentes materiales grasos de origen nacional y mediante la utilización de etanol en condiciones supercríticas, determinándose el efecto sobre la eficiencia del proceso de los diferentes parámetros operativos y, en particular, del nivel de agua adicionado al alcohol.

Los resultados obtenidos indicaron que la elaboración de biodiesel en alcoholes supercríticos, tanto metanol como etanol, puede ser realizada en forma eficiente si se elige convenientemente los parámetros operativos del proceso.

La presencia de agua en el medio de reacción afectó favorablemente al rendimiento de la transesterificación en alcoholes supercríticos, lo que constituyó una diferencia muy significativa en relación al proceso conducido mediante la catálisis química convencional (el cual requiere del suministro de reactivos anhidros). Este efecto favorable se atribuyó a la combinación de dos fenómenos vinculados con la presencia de agua en el medio de reacción: el aumento de la velocidad de reacción y la disminución de la degradación de los ácidos grasos insaturados.

Los trabajos realizados permitieron demostrar que el método supercrítico de transesterificación sin catalizador constituye una alternativa válida a la catálisis química convencional para la síntesis de biodiesel, debiendo considerarse las características de la materia prima a utilizar para la selección de los parámetros operativos óptimos. Por este motivo en la presente propuesta se plantea evaluar la eficiencia de este tipo de proceso aplicado a las materias primas alternativas identificadas como de interés para nuestra región.

Proceso alternativo de transesterificación: reacción en Ultrasonido (US-TES)

Una alternativa atractiva y novedosa que se ha comenzado a aplicar con éxito a la síntesis de biodiesel es la reacción asistida con ultrasonido (Batistella *et al.*, 2012). Se ha reportado que mediante esta alternativa es posible reducir el tiempo de reacción requerido para la conversión completa del aceite, sin afectar la rentabilidad del proceso. El aumento de la eficiencia mediante el método ultrasónico se explica por la generación de burbujas en el seno de la mezcla de reacción en forma constante, las que colapsan y vuelven a formarse, produciendo una suerte de "cavitación" que mejora la eficiencia del mezclado y proporciona la energía necesaria para desencadenar la reacción.

La irradiación con ultrasonido se ha aplicado también con éxito en las reacciones catalizadas con enzimas, ya que permite reducir las limitaciones de transferencia de masa que se presentan en esta modalidad de catálisis heterogénea (Yachmenev *et al.*, 2004).

Por estos motivos resulta interesante ensayar este procedimiento en una materia prima novedosa como el aceite obtenido de microalgas. Dada la vinculación de nuestro grupo con el grupo de investigación del Dr. Vladimir de Oliveira de la Universidad Federal de Santa Catarina, de vasta experiencia en esta tecnología, se incluirán en este proyecto ensayos de transesterificación enzimática asistida por ultrasonido.

Diferentes materias primas como fuente de aceites para la elaboración de biocombustibles líquidos:

El costo de las materia prima representa alrededor del 75% del costo total de la producción de biodiesel (Ahmad *et al.*, 2011), por lo tanto, la elección de una materia prima adecuada es importante para asegurar un bajo costo en la producción de biocombustibles líquidos. Las materias primas principales utilizadas hasta el momento para elaborar biodiesel en diversas regiones del mundo se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: Materias primas disponibles por regiones para la elaboración de biodiesel

País/Región	Materia prima
USA	Soja
Europa	Canola, Girasol
Canadá	Canola
África	Jatropha
India	Jatropha
Malasia/Indonesia	Palma

El biodiesel se obtiene a partir de las grasas y los aceites vegetales. Dadas las características de las materias primas utilizadas, se suele considerar el término "generación" de un biocombustible, diferenciándolos entre aquellos que se los considera de "primera generación" o aquellos de "nueva generación" (segunda, tercera, etc.). Entre los de primera generación se consideran los biocombustibles más tradicionales como el bioetanol obtenido a partir de azúcares y el biodiesel producido a partir de aceites comestibles. Si bien estos biocombustibles han demostrado una gran

utilidad y su uso se encuentra ampliamente diseminado, también han sido cuestionados por su alta dependencia de insumos de importancia para la industria alimentaria así como su dependencia de subsidios y, en algunos casos, su baja competitividad con los combustibles fósiles en términos de cuánto ahorro real de gases de efecto invernadero implica su uso cuando se los evalúa en un análisis de ciclo de vida riguroso (LCA) (Huber y Corma, 2007).

Por estos motivos los biocombustibles de segunda generación (o de nuevas generaciones) se han convertido en el foco de atención de la investigación, la inversión industrial y el mercado en los últimos años. El "tipo" de generación a la cual un biocombustible pertenece se puede identificar de acuerdo a la materia prima del cual el mismo se obtiene, pudiendo por lo tanto clasificarse la propia materia prima en términos de "generaciones" (Ahmad *et al.*, 2011), como se indica a continuación.

Materias primas de primera generación

Materias primas como el aceite de canola (Lang *et al.*, 2001), soya (Celikten *et al.*, 2010), palma (Kalam *et al.*, 2002; Sumathi *et al.*, 2008) y el girasol (Lang *et al.*, 2001; Rattanaphra *et al.*, 2010) se consideran como de primera generación porque son los principales cultivos que se han utilizado hasta el momento para producir biodiesel. Debido a que más del 95% del biodiesel está realizado a partir de aceites comestibles, el uso de estas fuentes de primera generación puede presentar algunos inconvenientes, principalmente debido a su impacto en los mercados mundiales de los alimentos (Brennan *et al.*, 2010). Por ejemplo, la palma y la soja son cultivos cuyos aceites son en parte vitales en la alimentación humana. Por ende, el desvío de estos cultivos alimentarios para producir un sustituto del petróleo, en producción a gran escala, podría ocasionar un "desequilibrio" en el mercado mundial de alimentos (Gui *et al.*, 2008). Además estos aceites son limitados en su capacidad para alcanzar las metas de producción de biocombustibles líquidos, por lo que su destino indiscriminado para este uso puede distorsionar el mercado de aceites comestibles, aumentando tanto el costo de los aceites como de los biocombustibles (Kansedo *et al.*, 2009). También la producción de biocombustibles líquidos a partir de aceites comestibles puede tener un efecto negativo desde el punto de vista ambiental, ya que requiere que gran parte de la tierra cultivable se utilice exclusivamente para este fin. Son conocidos varios ejemplos de impacto negativo sobre diferentes ecosistemas de acciones la tala de bosques y la quema de extensiones de selva para abrir paso a las plantaciones destinadas al cultivo de oleaginosas para la producción de biodiesel.

Materias primas de Segunda generación

Para reducir la dependencia de los aceites comestibles, como materias primas para la elaboración de biocombustibles, se ha estudiado diferentes materias primas no alimentarias. Cultivos como la *Jatropha curcas* (Pramanik *et al.*, 2003), el ricino, la macauba, la mahua (Ghadge *et al.*, 2006) y la *jojoba* (Canoira *et al.* 2006) representan algunas de estas materias primas alternativas consideradas de segunda generación. También, los aceites de fritura de descarte generados en grandes cantidades en restaurantes y comercios de comidas así como las grasas animales (Canakci *et al.*, 2007), como el sebo vacuno y la manteca de cerdo se consideran dentro de esta clasificación. La producción de biocombustibles líquidos a partir de plantas oleaginosas no comestibles ha sido investigada con particular interés en los últimos años. Estas materias primas, además de que no implican competencia alguna con la industria alimentaria, pueden ser tanto o más eficientemente convertidas en biocombustibles líquidos. Además, su incorporación a la matriz agroindustrial habilita nuevos sistemas de rotación de cultivos, alternándose con especies de interés alimentario, e incluso varias se pueden cultivar en terrenos que no son adecuadas para cultivos de alimentos (Leung *et al.*, 2010).

Materias primas de Tercera generación: aceite de microalgas

Otra preocupación importante es la ineficacia y la insostenibilidad de estas materias primas del biodiesel de primera y segunda generación (Patil *et al.*, 2008). A pesar de que el biodiesel a partir de cultivos de aceite ha sido producido en cantidades crecientes como un combustible alternativo, su producción en grandes cantidades no es sostenible (Balat *et al.*, 2010).

Entre las materias primas que se suelen identificar como de "tercera generación", se han identificado a las microalgas como una de las fuentes más prometedoras de los lípidos para su uso en la producción de biocombustibles, debido a su alta eficiencia de la fotosíntesis para

producir biomasa y sus mayores tasas de crecimiento y productividad en comparación con los cultivos convencionales de primera y segunda generación (Minowa *et al.*, 1995).

Su corto ciclo reproductivo y su relativa facilidad de cultivo pueden producir un muy superior rendimiento en aceite que los cultivos de oleaginosas convencionales. Como se muestra en la Tabla 2 (Mata *et al.*, 2010), se han reportado productividades para las microalgas de al menos 10 veces la correspondiente a la palma, el cultivo oleaginoso reconocido como el de mayor rendimiento, alcanzándose en el caso de las microalgas con alto contenido de aceite un rendimiento potencial de hasta 25 veces superior al de la palma.

Tabla 2: Comparación de la productividad de aceite de las microalgas con la de otras materias primas

Fuente	Contenido de aceite (%)	Rendimiento de aceite (L aceite /ha/año)
Maíz	44	172
Soya	18	636
Jatropha	28	741
Canola	41	974
Girasol	40	1070
Ricino	48	1307
Palma	36	5366
Algas 1	30	58700
Algas 2	50	97800
Algas 3	70	136900

Algas 1: contenido de aceite bajo,

Algas 2: contenido de aceite medio,

Algas 3: contenido de aceite alto

Se han reportado estudios sobre microalgas capaces de generar un 70% de aceite en peso de biomasa seca que requieren de tan sólo 0,1 m² anuales de tierra por kg de aceite, valor que supera con creces los que pueden obtenerse para otro tipo de cultivo.

Elaboración de biodiesel a partir de aceite de microalgas

El cultivo de algas ha cobrado un interés particular en los últimos años, por lo que la investigación sobre la eficiente conversión a biocombustibles de este aceite es considerada una nueva frontera del campo de las energías renovables. Dichas expectativas se fundamentan en que las algas absorben muy eficientemente CO₂ dado su crecimiento rápida y exponencial, son ricas en aceites, pueden ser cultivadas en estanques, lagos abiertos o en fotobioreactores, tienen una elevada productividad por hectárea, y no compiten con los cultivos tradicionales del área alimentaria.

Numerosos estudios resumen los beneficios de las microalgas como fuente de materia prima para biocombustibles en los siguientes puntos:

a) El mejoramiento de los procesos tecnológicos y diseños de sistemas integrados para el uso de subproductos generados en el cultivo de microalgas, permite optimizar la relación costo-beneficio de esta alternativa.

b) Las microalgas pueden ser eficientemente cultivadas bajo condiciones agro-climáticas desfavorables, como por ejemplo en desiertos. Los costos de cosecha y transporte de algas es menor comparado con el de los cultivos agrícolas convencionales.

c) La composición de los lípidos producidos por microalgas puede ser regulada mediante la adición o restricción de algunos componentes en su dieta. Restringir las fuentes de nitrógeno o sílice, así como de otros factores de estrés, puede incrementar la producción total de lípidos.

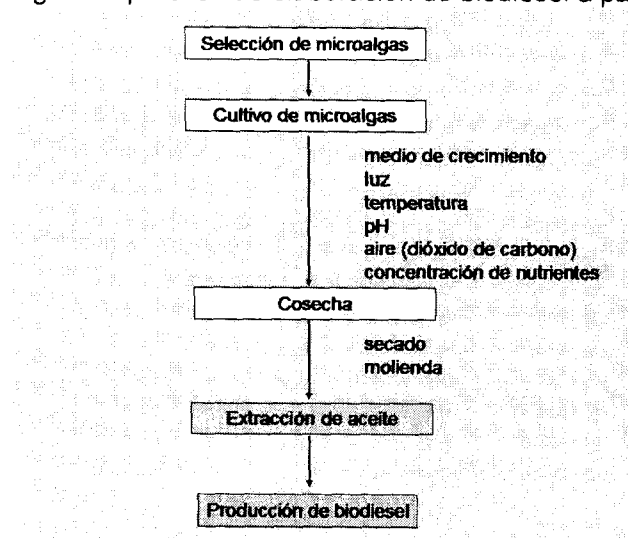
d) El tipo y cantidad de lípidos y carbohidratos producidos por microalgas se encuentran relacionados frecuentemente a factores del medio ambiente como luz, temperatura, concentración de iones y pH. No es raro encontrar niveles de lípidos de entre 20 y 40% en base seca. En ocasiones los niveles de lípidos en microalgas son extremadamente altos.

La elaboración de biodiesel a partir de algas puede presentar las siguientes ventajas:

1. Aumento de la eficiencia o reducción de los costos. Los costos asociados con la recolección y el transporte de las microalgas son relativamente bajos comparados con los de otros materiales. Además, no afectan directamente a la cadena de suministro de alimentos.
2. Las microalgas no compiten por la tierra con cultivos utilizados para la producción de alimentos, forraje y otros productos (Huang *et al.*, 2010). El cultivo de microalgas no requiere de grandes extensiones de campos en comparación con otros aceites vegetales. Además, no requiere herbicidas o plaguicidas (Rodolfi *et al.*, 2009).
3. Las microalgas se pueden cultivar en una serie de entornos y condiciones que no son aptas para el crecimiento de otros cultivos (Patil *et al.*, 2008). Además, se puede cultivar en granjas o en biorreactores (Janaun *et al.*, 2010). Por ende, las microalgas producen un rendimiento superior por hectárea con un mayor rendimiento ecológico.
4. Las microalgas más comunes tienen un contenido de aceite en el rango de 20 a 50% en peso de biomasa seca, pero incluso se pueden obtener con mayor productividad (Chisti 2007).
5. Las microalgas producen valiosos co-productos o subproductos, tales como los biopolímeros, proteínas, hidratos de carbono y biomasa residual.
6. Las microalgas son consideradas como un "eficiente sistema biológico" para la recolección de energía solar para su uso en la producción de compuestos orgánicos (Vonshak, 1990).
7. Las microalgas son capaces de fijar el dióxido de carbono, lo que permite la reducción de los niveles atmosféricos. (Rodolfi *et al.*, 2009).
8. Los lípidos de microalgas son en su mayoría lípidos neutros, y su acumulación en las células de microalgas hace que los lípidos de microalgas sean un potencial sustituto del combustible diesel (Danquah *et al.*, 2009).

La Figura 1 muestra un esquema general del proceso de elaboración de biodiesel a partir de microalgas. El primer paso es la selección de una especie adecuada, seguido del estudio del efecto de las condiciones de cultivo (Pulz *et al.*, 2004). La luz, temperatura, pH, aire (dióxido de carbono) y la concentración de nutrientes, son los principales parámetros a considerar. Posteriormente la biomasa cosechada puede ser secada a vacío para posteriormente extraer el aceite. Existen tres métodos bien conocidos para ésta última etapa: (1) prensado tipo "expeller", (2) extracción con solventes y (3) extracción con fluidos supercríticos (Demirbas, 2009). Después de la recuperación del aceite la conversión a Biodiesel se realiza mediante procesos de transesterificación (Mata *et al.*, 2010).

Figura 1: proceso de elaboración de biodiesel a partir de algas



Diferentes métodos para la transesterificación de aceites:

La conversión de aceites en ésteres metílicos o etílicos de ácidos grasos se realiza tradicionalmente mediante la catálisis química, pudiendo emplearse una catálisis básica con hidróxido de sodio o potasio, metóxido de sodio, o una catálisis ácida en presencia de ácido sulfúrico. El proceso catalizado químicamente requiere que el material graso de partida se encuentre eficientemente seco (debido a que el rendimiento es sensible a la presencia de

Handwritten signature or mark.

humedad) y carente de ácidos grasos libres y de peróxidos (Ma *et al.*, 1998; Liu y Lampert, 1999). Algunos inconvenientes del método catalizado químicamente lo representan la dificultad para la recuperación del glicerol y la dificultad para alcanzar grados suficientemente altos de conversión si el aceite de partida contiene ácidos grasos libres o agua (Shimada *et al.*, 1999).

Otra alternativa para conducir este proceso lo representa la catálisis enzimática, sobre la cual se han publicado varios trabajos que demuestran que es posible mediante este método realizar una eficiente alcoholisis de diferentes aceites vegetales y grasas animales (Mittelbach, 1990; Malacata *et al.*, 1990; Nelson *et al.*, 1996; Jachmanián y Mukherjee, 1996).

Actualmente también se han reportado trabajos sobre una nueva metodología para la elaboración de biodiesel: la conducción del proceso a elevadas presiones y temperaturas, tales que el alcohol se encuentra en estado supercrítico, y en ausencia de catalizador (Cao *et al.*, 2005; Demirbas, 2005; Vieitez *et al.*, 2008; Vieitez *et al.*, 2009). Las reacciones químicas con solventes en condiciones supercríticas proporcionan una mayor solubilidad entre las diferentes fases involucradas, disminuyendo las limitaciones de transporte entre las mismas, pudiendo proporcionar mayores velocidades de reacción y por tanto menores tiempos de reacción, además de simplificar la purificación y separación de los productos de reacción y posibilitando la no utilización de catalizadores (Kusdiana y Saka, 2001). En particular, se han obtenido incluso altas conversiones en presencia de un elevado contenido de agua (de hasta el 50% en base al alcohol) cuando el proceso se conduce en metanol supercrítico (SC-MeOH) (Kusdiana y Saka, 2004, Vieitez *et al.*, 2010). Ya que, existen dos tipos de mecanismos paralelos para la reacción de formación de alquil-ésteres a partir de una grasa o de un aceite: la transesterificación de triacilgliceroles (TAG) y la esterificación de los ácidos grasos libres (FFA). A diferencia de lo que ocurre a presión atmosférica, donde el rol del catalizador es fundamental para que el proceso ocurra a velocidad apreciable, cuando se trabaja con el alcohol al estado supercrítico la cinética se acelera en varios órdenes de magnitud, pudiendo prescindirse del catalizador (Warabi *et al.*, 2004; Madras *et al.*, 2004; Vieitez *et al.*, 2011a; Vieitez *et al.*, 2011b).

Descripción del problema a ser abordado y relevancia del mismo para ANCAP:

El costo de la materia prima representa alrededor del 75% del costo total de la producción del biodiesel producido a partir de los aceites de oleaginosas convencionales, por lo tanto la alternativa de una materia prima económica y ajena a la cadena de producción de aceites comestibles es fundamental para la sustentabilidad de este biocombustible.

En el presente proyecto se propone estudiar la eficiencia de diferentes cepas de microalgas en la producción de aceite y la caracterización de los aceites obtenidos de cada una. Así mismo se evaluará la eficiencia de diferentes métodos (mediante tecnologías convencionales y alternativas) de conversión de dichos aceites a biodiesel, a los efectos de evaluar la conveniencia de cada uno de ellos y definir el eventual requerimiento de etapas adicionales a los efectos de cumplir con los requerimientos de calidad del producto.

El resultado del proyecto será sin duda de gran interés para ANCAP dado que la empresa es socia del proyecto de ALUR para la implementación del biodiesel en nuestro país. Si bien la empresa produce este biocombustible en cantidad suficiente para mezclarlo con el gasoil en un 2%, los planes a corto plazo involucran aumentar el nivel de la mezcla al 5%. Este plan de expansión de la producción involucra necesariamente la búsqueda de materias primas alternativas cuyo costo no esté atado al de los aceites comestibles, muy elevados y de una gran variación estacional.

Finalizado el proyecto se contará con la información y un método adecuado para la elaboración de biodiesel a partir de aceite de microalgas lo que contribuye a la diversificación de la matriz energética nacional.

2.- Objetivos generales y específicos:

OBJETIVO GENERAL:

Estudiar la viabilidad de la utilización de aceite de microalgas viables en la región para la elaboración de biodiesel mediante metodologías diferentes: transesterificación convencional (TES), transesterificación supercrítica (SC-TES) y transesterificación por ultrasonido (US-TES).

OBJETIVO ESPECIFICOS:

- 1.- Evaluación y selección de cepas de microalgas a estudiar en función de antecedentes relativos a productividad y características del aceite producido.
- 2.- Producción de aceite de las cepas seleccionadas a escala de laboratorio, evaluación del efecto de factores de estrés sobre la productividad y composición del aceite y selección de las condiciones óptimas de cultivo.
- 3.- Obtención de muestras de aceite de cada tipo de cepa seleccionada cultivada en las condiciones identificadas como óptimas y caracterización del mismo (composición en FFA, composición en TAG, componentes minoritarios)
- 4.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.
- 5.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas (SC-TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.
- 6.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.
- 7.- Estudio comparativo de los tres procesos de transesterificación estudiados en el proyecto y evaluación de la viabilidad de su implementación a escala industrial.

3.- Estrategia de investigación y actividades específicas:

Para cumplir con el objetivo 1: Evaluación y selección de cepas de microalgas a estudiar en función de antecedentes relativos a productividad y características del aceite producido.

Se trabajará con diferentes cepas de microalgas para poder seleccionar aquellas que aseguren una alta productividad. Se realizarán cultivos de microalgas en pequeña escala y en una escala mayor.

Para cumplir con el objetivo 2: Producción de aceite de las cepas seleccionadas a escala de laboratorio, evaluación del efecto de factores de estrés sobre la productividad y composición del aceite y selección de las condiciones óptimas de cultivo.

Se realizarán diferentes ensayos variando las condiciones de cultivo, como la composición y concentración del medio de cultivo (tipo y concentración de nutrientes, pH, potencial redox), régimen de luz, temperatura y agitación. De esta forma se evaluará el efecto de factores de estrés sobre la productividad y calidad del aceite.

Para cumplir con el objetivo 3: Obtención de muestras de aceite de cada tipo de cepa seleccionada cultivada en las condiciones identificadas como óptimas y caracterización del mismo (composición en FFA, composición en TAG, componentes minoritarios)

Se realizarán los análisis de caracterización (composición en ácidos grasos, porcentaje de acidez, viscosidad y estabilidad oxidativa) correspondientes a los aceites obtenidos de microalgas. Esto permitirá contar con la información necesaria para evaluar variaciones en la calidad de las materias primas obtenidas a los efectos de definir los parámetros de los diferentes procesos más convenientes para la conversión de las mismas.

Para cumplir con el objetivo 4: Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.

Se someterá al proceso convencional de transesterificación (catálisis química) a aceites de diferente calidad, de acuerdo con los resultados de las actividades del punto anterior. Se evaluará

lt

la eficiencia obtenida y se identificarán qué parámetros de calidad repercuten en mayor medida sobre dicha eficiencia.

Se determinará la necesidad de la incorporación de etapas previas de acondicionamiento de las diferentes materias primas previo a su ingreso al proceso de conversión de las mismas a biodiesel. De ser necesario, se realizarán ajustes en los parámetros operativos de las diferentes etapas del proceso a los efectos de maximizar la conversión completa de los diferentes aceites.

Para cumplir con el objetivo 5: Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas (SC-TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.

Se estudiará la eficiencia del método de transesterificación supercrítica (SC-TES) para la conversión a biodiesel del aceite obtenido de microalgas. Se identificarán los parámetros operativos necesarios para maximizar la eficiencia de este proceso (temperatura, tiempo de reacción y proporción alcohol/aceite, etc.) Se pondrá énfasis en aquellas materias primas que hayan presentado alguna dificultad para ser procesadas por el método convencional estudiado en el punto anterior.

Para cumplir con el objetivo 6: Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.

Se estudiará la eficiencia del método de transesterificación por ultrasonido para la conversión a biodiesel del aceite obtenido de microalgas. Se identificarán los parámetros operativos necesarios para maximizar la eficiencia de este proceso

Para cumplir con el objetivo 7: Estudio comparativo de los tres procesos de transesterificación estudiados en el proyecto y evaluación de la viabilidad de su implementación a escala industrial.

Identificadas las condiciones más convenientes para la conversión por cada tipo de proceso, se estudiarán todos los aspectos vinculados al costo final de cada tipo de biocombustible.

4.- Personal docente asignado al proyecto:

Nombre	Grado/Horas	Dedicación proyectada semanal al proyecto
Ignacio Vieitez	2/40 (DT)	15
María A Grompone	5/40 (DT)	5
Iván Jachmanián	3/40 (DT)	5
Bruno Irigaray	3/40 (DT)	10
Nicolás Callejas	1/20	10
Marcela Saibene	1/30	10
Natalia Martinez	1/40	20
Jose Vladimir de Oliveira (UFSC)	-	5
Debora de Oliveira (UFSC)	-	5
Sandra Salvador Ferreira (UFSC)	-	5
Jorge Alberto Vieira Costa (FURG)	-	5

- **Ignacio Vieitez:** Responsable del proyecto, diseño y ejecución del proceso y participación en la parte experimental. Planificación de actividades, coordinación con otras instituciones, supervisión de actividades y de la ejecución financiera y tareas de difusión.

- **María A Grompone:** Orientación de actividades.

- **Iván Jachmanián:** Orientación de actividades, participación en la discusión de resultados, evaluación de avance y difusión de los resultados.

- **Bruno Irigaray:** ejecución del proceso, participación en la parte experimental y realización de las diferentes técnicas analíticas.

- **Nicolás Callejas, Natalia Martínez y Marecla Saibene:** Se trata de investigadores en formación por lo que recibirán entrenamiento para las tareas específicas de este proyecto. Participarán del mismo mediante la ejecución de parte del trabajo experimental: realización de diferentes técnicas analíticas como la determinación del contenido de éster y el análisis de glicéridos parciales por GC. Participarán también en instancias de discusión de resultados y en la elaboración de trabajos de difusión (publicaciones, trabajos para presentar en congresos), actividades que representarán un aporte importante a la formación de los mismos en el área de interés del proyecto.

Las diferentes actividades contribuirán a la formación en el área de trabajo de los integrantes del grupo de investigación ejecutante del proyecto, en particular en lo relativo a la participación de investigadores jóvenes en el mismo. En este sentido se creará un cargo de ayudante que contribuirá en las tareas de análisis de las materias primas y los productos obtenidos, para lo cual recibirá el entrenamiento necesario.

- **Grado 1 a contratar:** ejecución de parte experimental, análisis de la calidad de los aceites de fritura de descarte, realización de las diferentes técnicas analíticas y análisis de glicéridos parciales en el biodiesel por GC.

PERFIL: Ayudante (Gr1), Estudiantes avanzados de la Carrera Ingeniería. de Alimentos o Ingeniería Química preferentemente que hayan cursado el Curso de Ciencia y Tecnología de Grasas y Aceites y/o el Curso de Biodiesel.

- **Jose Vladimir de Oliveira, Debora de Oliveira y Sandra Salvador Ferreira (UFSC):**

Pertenecientes a la Universidade Federal de Santa Catarina con los cuales se trabajará en cooperación para la realización de los Objetivos Específicos 5 y 6.

- **Jorge Alberto Vieira Costa (FURG):** perteneciente a la Universidade Federal do Rio Grande con quien se trabajará en cooperación para la realización de los Objetivos Específicos 1, 2 y 3.

5.- Cronograma de actividades/tareas a ser realizadas durante el proyecto:

Etapa	Mes de inicio	Mes de fin	Entregable	Pago
Etapa 1	03/2013	02/2014	Resultados de la evaluación y selección de microalgas para la producción de aceite. Producción de aceite de las cepas seleccionadas a escala de laboratorio, evaluación del efecto de factores de estrés sobre la productividad y composición del aceite y selección de las condiciones óptimas de cultivo. Caracterización del aceite obtenido de diferentes microalgas y estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES).	Mes 0 al inicio: 40%
Etapa 2	03/2014	02/2015	Resultados de los estudios de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES), estudios de la eficiencia del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas (SC-TES), estudios de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-TES) y estudio comparativo de los diferentes procesos de interés	Final de Etapa 2: 40%

			abarcados en el proyecto en cuanto a la viabilidad de su implementación a escala industrial.	
Etapa 3	03/2015	03/2015	Entrega de informe final con las conclusiones obtenidas y difusión de resultados considerados "publicables" en acuerdo con ANCAP	Final del Etapa 3: 20%

6.- Descripción del espacio físico así como de los equipos y materiales disponibles para la realización del proyecto:

Para la eficiente ejecución de las numerosas actividades que implica esta propuesta el Laboratorio de Grasas y Aceites de la Facultad de Química de Montevideo se ha asociado a investigadores de primera línea en las diferentes áreas involucradas: el grupo del Dr. José Vladimir de Oliveira (Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC), de vasta experiencia en procesos supercríticos y en procesos de ultrasonido para la elaboración de biodiesel y el grupo del Dr. Jorge Vieira Costa (Universidade Federal do Rio Grande - FURG), con sólida experiencia en el cultivo y manejo de microalgas para la obtención de aceite.

La investigación se desarrollará en los laboratorios de las tres instituciones participantes: que cuentan con el equipamiento necesario y el personal calificado para la realización de las técnicas de interés. En particular los laboratorios del extranjero participantes cuentan con equipamiento de punta aplicable a varias de las técnicas de interés para este proyecto.

El laboratorio de Grasas y Aceites, institución proponente, cuenta equipamiento especializado en el área del análisis de lípidos:

Descripción del equipamiento existente
1.- Cromatógrafo de gases Shimadzu GC-14B
2.- Cromatógrafo de gases Shimadzu GC-GC-2014A
3.- Cromatógrafo de gases Shimadzu GC-GC-2010 (On Column)
5.- Generador de Hidrógeno Packard 9200
5.- Evaporador rotatorio Büchi 461
6.- Evaporador rotatorio Büchi R-114
7.- Calorímetro diferencial de barrido DSC 50, Shimadzu
8.- Balanza Libror EB-3200 D, Shimadzu
9.- Liofilizador Chirst alpha 1-4 / Loc-1m
10.- Tensiómetro Krüss, modelo K6
11.- Viscosímetro rotacional Brookfield, modelo LVF con LV
12.- Espectrofotómetro Shimadzu UV-1203
13.- Ultra Turrax Janke & Kunkel, modelo T25
14.- Oxidative Stability Instrument (OSI - 8)
15.- HPLC Shimadzu (CTO-20A, Detector PDA)
16.- Rancimat modelo 873 BIODIESEL.
17. Reactor de alta presión y alta temperatura de 250 mL modelo: 4576A de Parr Instrument Company.

7.- Estrategia de comunicación con ANCAP durante la realización del proyecto:

Se enviará a ANCAP un informe semestral con el grado de avance y los resultados correspondientes.

8.- Mecanismos de difusión de los resultados:

Se acordará con ANCAP los mecanismos de difusión más adecuados.

Los principales resultados obtenidos podrán ser difundidos en Congresos Internacionales: Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites, Euro Fed Lipid y AOCS Annual Meeting & Expo.

9.- Resultados esperados e impacto de los mismos en ANCAP; beneficios esperados para el avance de las disciplinas del proyecto u otras:

La ejecución de esta propuesta permitirá realizar una evaluación de la viabilidad de la utilización de materias primas alternativas y procesos novedosos para la obtención de un biodiesel que se identifica como de "tercera generación", por lo tanto de una sustentabilidad muy superior al biodiesel convencional obtenido a partir de aceites comestibles.

Aporte de vías alternativas para la generación de biocombustibles nativos en nuestro país:

La ejecución del proyecto propuesto permitirá evaluar materias primas alternativas y adecuar los procedimientos necesarios para su conversión a biocombustibles diesel de diferente naturaleza. Esto impactará favorablemente en los planes de diversificación de la matriz energética nacional y la disminución del grado de dependencia energética actual.

El avance del conocimiento:

La ejecución del proyecto propuesto permitirá identificar las materias primas y los procedimientos más adecuados para la obtención de biodiesel por los métodos propuestos mediante catálisis convencional y alternativa a partir de las mismas.

Ejecutado el mismo ANCAP dispondrá de la información necesaria para evaluar la viabilidad de destinar las materias primas propuestas a la fabricación de biodiesel, tanto destinándolas a su planta o si se requiere de instalaciones específicas para dicho fin.

Formación de recursos humanos:

Las diferentes actividades contribuirán a la formación en el área de trabajo de los integrantes del grupo de investigación. Finalmente, se creará un cargo de ayudante que contribuirá en las tareas de análisis de las materias primas y los productos obtenidos, los cuales recibirán entrenamiento para la realización de dicha actividad.

Como factor fortalecedor de la Institución en que se desarrolla el Proyecto:

La Institución ejecutora del proyecto se verá directamente beneficiada ya que el proyecto implica la continuación de los trabajos en un tema que ha ido cobrando interés tanto a nivel internacional como en nuestro país, a la vez que la habilitará para contribuir con el desarrollo del tema en el medio.

Vinculación con centros de investigación extranjeros de primer nivel:

En la presente propuesta participarán activamente investigadores extranjeros de primer nivel (el grupo del Dr. José Vladimir de Oliveira de la UFSC, de vasta experiencia en procesos alternativos para la elaboración de biodiesel y el grupo del Dr. Jorge Alberto Vieira Costa de la FURG, especialista en el cultivo y manejo de microalgas para la generación de aceite. Evidentemente este tipo de interacción repercutirá positivamente en el área académica nacional vinculado al campo de los biocombustibles.

10.- Referencias bibliográficas:

1. Ahmad, A.L.; Mat Yasin, N.H.; Derek, C.J.C.; Lim, J.K. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 584–593 (2011).
2. Ali, Y. and Hanna, M. A., Alternative Diesel Fuels from Vegetable Oils, *Bioresource Technol.* 50: 153-163 (1994).
3. Ali, Y. and Hanna, M. A., Physical Properties of Tallow Ester and Diesel Fuel Blends, *Bioresource Technol.* 47: 131-134 (1994).
4. Al-Widyan, M., Al-Shyoukh, A., 2002. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresour. Technol.* 85, 253–256 (2002).

5. Al-Widyan, M., Tashtoush, G., Abu-Qudais, M., 2002. Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engines. *Fuel Process. Technol.* 76, 91–103 (2002).
6. Balat M, Balat H. Progress in biodiesel processing. *Appl Energy*; 87: 1815–35 (2010).
7. Batistella, L., Lerin, L., Brugnerotto, P., Danielli, A., Trentin, C., Popiolski, A., Treichel, H., Vladimir Oliveira, J., de Oliveira, D. Ultrasound-assisted lipase-catalyzed transesterification of soybean oil in organic solvent system. *Ultrasonics Sonochemistry* 19, 452–458 (2012).
8. Brennan L, Owende P. Biofuels from microalgae – a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renew Sust Energy Rev*; 14:557–77 (2010).
10. Canakci M. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. *Bioresour Technol*; 98:183–90 (2007).
11. Canoira L, Alcantara R, Garcia-Martinez J, Carrasco J. Biodiesel from Jojoba oilwax: transesterification with methanol and properties as a fuel. *Biomass Bioenergy*; 30:76–81 (2006).
12. Cao, W., Han, H., Zhang, J.: Preparation of biodiesel from soybean oil using supercritical methanol and co-solvent. *Fuel*, 84, 347-351 (2005).
13. Celikten I, Koca A, Arslan MA. Comparison of performance and emissions of diesel fuel, rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures. *Renew Energy*;35:814–20 (2010).
14. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv*; 25:294–306 (2007).
15. Conceicao, M.M., R.A. Candeia, F.C. Silva, A.F. Bezerra, V.J. Fernandes Jr. and A.G. Souza. Thermoanalytical characterization of castor oil biodiesel. *Ren. Sustain. En. Rev.*, 11: 964-975 (2007).
16. Danquah MK, Gladman B, Moheimani N, Forde GM. Microalgal growth characteristics and subsequent influence on dewatering efficiency. *Chem Eng J*; 151:73–8 (2009).
17. Demirbas A. Production of biodiesel from algae oils. *Energy Sources Part A*; 31:163–8 (2009).
18. Dorado, M.P., Ballesteros, E., Arnal, J.M., Gomez, J., Lopez, F.J., 2003. Exhaust emissions from a diesel engine fuelled with transesterified waste olive oil. *Fuel* 82, 1311–1315 (2003).
19. Dunn, R. O., Low-Temperature Flow Properties of Vegetable Oil/Cosolvent Blend Diesel Fuels, *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 79(7): 709-715 (2002).
20. Dunn, R. O., Thermal Analysis of Alternative Diesel Fuels from Vegetable Oils, *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 76(1): 109-115 (1999).
21. Ghadge SV, Raheman H. Process optimization for biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil using response surface methodology. *Bioresour Technol*; 97:379–84 (2006).
22. Goodrum, J. W., Geller, D. P. and Adams, T. T., Rheological Characterization of Yellow Grease and Poultry Fat, *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 79(10): 961-964 (2002).
23. Gui MM, Lee KT, Bhatia S. Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*; 33:1646–53 (2008).
24. Huang G, Chen F, Wei D, Zhang X, Chen G. Biodiesel production by microalga biotechnology. *Appl Energy*; 87:38–46 (2010).
25. Jachmanián, I. and Mukherjee, K.D., Esterification and Interesterification Reactions Catalyzed by Acetone Powder from Germinating Rapeseed, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73, 1527-1532 (1996).
26. Janaun J, Ellis N. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. *Renew Sust Energy Rev*; 14:1312–20 (2010).
27. Kalam MA, Masjuki HH. Biodiesel from palm oil – an analysis of its properties and potential. *Biomass Bioenergy*; 23:471–9 (2002).
28. Kansedo J, Lee KT, Bhatia S. *Cerbera odollam* (sea mango) oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Fuel*; 88:1148–50 (2009).
29. Knothe, G.; Dunn, R. O. and Bagby, M. O., Technical aspects of biodiesel standards, *INFORM* 7(8): 827-829 (1996).
30. Krahl, J.; Bünger, J.; Schröder, O.; Munack, A. and Knothe, G., Exhaust Emissions and Health Effects of Particulate Matter from Agricultural Tractors Operating on Rapeseed Oil Methyl Ester, *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 79(7): 717-724 (2002).
31. Kusdiana, D., Saka, S.: Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment. *Bioresource Technology*, 91, 289-295 (2004).
32. Kusdiana, D., Saka, S.: Kinetics of transesterification in rapeseed oil to Biodiesel fuel as treated in supercritical methanol. *Fuel*, v.80, pp. 693-698, (2001).
33. Lang X, Dalai AK, Bakhshi NN, Reaney MJ, Hertz PB. Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. *Bioresour Technol*; 80:53–62 (2001).
34. Lestari S., Arvela P.M., Eranen K., Beltrami J., Max Lu G.C., Yu M.D. Diesel-like Hydrocarbons from Catalytic Deoxygenation of Stearic Acid over Supported Pd Nanoparticles on SBA-15. *Catalysts Catal Lett* 134, 250–257 (2010).
35. Ma, F.; Clements, L. D. and Hanna, M. A., The Effects of Catalyst, Free Fatty Acids, and Water on Transesterification of Beef Tallow, *Trans. ASAE*, 41(5): 1261-1264 (1998).
36. Madras, G., Kolluru, C., Kumar, R.: Synthesis of biodiesel in supercritical fluids. *Fuel*, 83, 2029-2033 (2004).

37. Malcata, F.X.; Reyes, H.R.; Garcia, H.S.; Hill, Ch.G. and Amundson, C.H., Immobilized lipase reactors for modification of fats and oils: a review, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 67, 892-909 (1990).
38. Mata TM, Martins AA, Caetano NS. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renew Sust Energy Rev*; 14:217-32 (2010).
39. Minowa T, Yokoyama A-Y, Kishimoto M, Okakurat T. Oil production from algal cells of *Dunaliella tertiolecta* by direct thermochemical liquefaction. *Fuel*; 74(12):1735-8 (1995).
40. Mittelbach, M., Lipase catalyzed alcoholysis of sunflower oil, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 67, 168-170 (1990).
41. Mittelbach, M., Tritthart, P., 1988. Diesel fuel derived from vegetable oils, III. Emission tests using methyl esters of used frying oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65 (7), 1185-1187 (1988).
42. Murayama, T., Evaluating Vegetable Oils as a Diesel Fuel, *INFORM* 5(10): 1138-1145 (1994).
43. Nelson, L.A.; Foglia, T.A. and Marmer, W.N., Lipase-Catalyzed Production of Biodiesel, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 73 (8), 1191-1195 (1996).
44. Patil V, Tran K-Q, Giselrod HR. Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *J Mol Sci*; 9:1188-95 (2008).
45. Pramanik K. Properties and use of *Jatropha curcas* oil and diesel fuel blends in compression ignition engine. *Renew Energy*; 28(2):239-48 (2003).
46. Pulz O, Gross W. Valuable products from biotechnology of microalgae. *Appl Microbiol Biotechnol*; 65:635-48 (2004).
47. Rattanaphra D, Srinophakun P. Biodiesel production from crude sunflower oil and crude *jatropha* oil using immobilized lipase. *J Chem Eng Jpn*; 43(1):104-8 (2010).
48. Rodolfi L, Zittelli GC, Bassi N, Padovani G, Biondi N, Bonini G, et al. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low cost photobioreactor. *Biotechnol Bioeng*; 102(1):100-12 (2009).
49. Shimada, Y.; Watanabe, Y.; Samukawa, T.; Sugihara, A.; Noda, H.; Fukuda, H., and Tominaga, Y., Conversión of Vegetable Oil to Biodiesel using Immobilized *Candida antarctica* Lipase, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 76(7), 789-793 (1999).
50. Tashtoush, G., Al-Widyan, M., Al-Shyoukh, A., 2003. Combustion performance and emissions of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace. *Appl. Therm. Eng.* 23, 285-293 (2003).
51. Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, 1992Fats and Fatty Oils, vol. A10. VCH, New York, pp. 173-244 (1992).
52. Ulusoy Y, Tekin Y, Cetinkaya M, Karaosmanoglu F. 2004. The engine tests of biodiesel from used frying oil, *Energy Sources* 26: 927-932 (2004).
53. Vieitez, I.; Pardo, M.J.; Da Silva, C.; Bertoldi, C.; Corazza, F.C.; Oliveira, J.V.; Grompone, M.A.; Jachmanián, I.: Continuous synthesis of castor oil ethyl esters under supercritical ethanol. *Journal of Supercritical Fluids*, 56, 271-276, (2011b).
54. Vieitez, I.; Silva, C.; Alckmin, I.; Borges, G.R.; Corazza, F.C.; Oliveira, J.V.; Grompone, M.A.; Jachmanián, I.: Effect of Temperature on the Continuous Synthesis of Soybean Esters under Supercritical Ethanol. *Energy & Fuels*, 23, 558-563 (2009).
55. Vieitez, I.; Silva, C.; Alckmin, I.; Borges, G.R.; Corazza, F.C.; Oliveira, J.V.; Grompone, M.A.; Jachmanián, I.: Continuous catalyst-free methanolysis and ethanolysis of soybean oil under supercritical alcohol/water mixtures. *Renewable Energy*, 35, 1976-1981, (2010).
56. Vieitez, I.; Silva, C.; Alckmin, I.; Corazza, F.C.; Oliveira, J.V.; Grompone, M.A.; Jachmanián, I.: Stability of ethyl esters from soybean oil exposed to high temperatures in supercritical ethanol. *Journal of Supercritical Fluids*, 56, 265-270, (2011a).
57. Vieitez, I.; Silva, C.; Borges, G.R.; Corazza, F.C.; Oliveira, J.V.; Grompone, M.A.; Jachmanián, I.: Continuous production of soybean biodiesel in supercritical ethanol-water mixtures. *Energy & Fuels*, 22, 2805-2809 (2008).
58. Vonshak A. Recent advances in microalgal biotechnology. *Biotechnol Adv*; 8:709-27 (1990).
59. Warabi, Y., Kusdiana, D., Saka, S.: Reactivity of triglycerides and fatty acids of rapeseed oil in supercritical alcohols. *Bioresource Technology*, 91, 283-287 (2004).
60. Wu, W. H.; Foglia, T. A.; Marmer, W. N.; Dunn, R. O.; Goering, C. E. and Briggs, T., Low-Temperature Property and Engine Performance Evaluation of Ethyl and Isopropyl Esters of Tallow and Grease, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 75(9): 1173-1178 (1998).
61. Yachmenev, V.G., Blanchard, E.J., Lambert, A.H. Use of ultrasonic energy for intensification of the bio-preparation of greige cotton. *Ultrason.* 42, 87-91 (2004).

AJUSTES ACORDADOS en los OBJETIVO ESPECIFICOS:

1.- Evaluación y selección de cepas de microalgas a estudiar en función de antecedentes relativos a productividad y características del aceite producido.

Describir brevemente como se realiza la evaluación y selección de las cepas a estudiar y que se busca. Explicitar los métodos utilizados.

Se estudiarán cepas de microalgas de diferentes orígenes, entre ellas algunas conocidas como *Scenedesmus obliquus*, *Chlorella sp.*, *Chlorella vulgaris*, *Synechococcus sp.* y *S. platensis*, además de otras cepas aisladas en el Laboratorio de Ingeniería Bioquímica de la Universidad Federal de Rio Grande. Inicialmente se utilizarán medios de cultivo conteniendo, en g/litro: NaHCO₃, 16.8; NaNO₃, 2.5; K₂HPO₄, 0.5; K₂SO₄, 1.0; NaCl, 1.0; MgSO₄-7H₂O, 0.2; CaCl₂, 0.04; FeSO₄-7H₂O, 0.01; EDTA, 0.08 y micronutrientes de diferente naturaleza según la cepa a estudiar. El mismo medio se utilizará en la inoculación inicial de cada corrida en batch.

Se determinará el rendimiento y la productividad de aceite y de biomasa (kg de aceite/kg de biomasa seca, kg aceite/L.día, kg biomasa/L.día). La ecuación general utilizada para la productividad será: $P = (X_1 - X_0)/(t - t_0)$, onde X_1 es la concentración (aceite o celular) (g.L⁻¹) en el tiempo t (d) e X_0 (g.L⁻¹) es la concentración (aceite o celular) en el tiempo t_0 (d). Después de tratados todos los datos se elegirán aquellas que presenten los mejores conjuntos de estos valores.

2.- Producción de aceite de las cepas seleccionadas a escala de laboratorio, evaluación del efecto de factores de estrés sobre la productividad y composición del aceite y selección de las condiciones óptimas de cultivo.

Describir brevemente como se realizará la evaluación de los factores de estrés sobre la productividad, cuales son y la composición del aceite así como las condiciones óptimas para el cultivo.

Se estudiará el efecto sobre el rendimiento de los cultivos la variación de las condiciones del medio, tales como la temperatura (de 30.0 a 35.0 °C), el pH (entre 6.8 y 7.5), la relación C/N de 20 a 30, el flujo específico de aire (de 0,1 a 0,3 volumen de aire por volumen de medio por minuto) y el tiempo de cultivo entre 20 y 40 días.

Se realizarán cultivos en corridas fed-batch en reactores de 2 L, conteniendo 1.6 L del medio de cultivo y una concentración de biomasa de 0.2 g/l, en reactores provistos de un tubo para recolección de muestra y otro para aireación constante. La aireación se realizará mediante el bombeo de aire humidificado. Los reactores se mantendrán en un invernadero iluminado con lámparas fluorescentes de 20 y 40W.

Se determinarán las condiciones óptimas de cada parámetro para maximizar la productividad de aceite.

Las condiciones óptimas obviamente se desconocen previo a realizar los ensayos.

3.- Obtención de muestras de aceite de cada tipo de cepa seleccionada cultivada en las condiciones identificadas como óptimas y caracterización del mismo (composición en FFA, composición en TAG, componentes minoritarios).

Métodos usados para caracterizar las muestras de aceites.

Se trata de métodos de rutina del Laboratorio de Grasas y Aceites:

- Composición en ácidos grasos según técnica IUPAC 2.301 y posterior análisis de ellos por cromatografía de gases.
- Composición en TAG: Se disuelven aproximadamente 15 mg de la muestra en 3 mL de acetona. Se toma 1 mL de la solución y se coloca en un vial de 2 mL para HPLC. Se calienta la mezcla a 40 °C para su disolución. Posteriormente se inyecta en el HPLC utilizando dos columnas C18. Detector: Light Scattering, Tdetector = 80 °C.
- Índice de Yodo según técnica AOCS Cd 1c-85.
- Índice de acidez según técnica IUPAC 2.201.
- Índice de peróxidos según técnica IUPAC 2.501.
- Antioxidantes AOCS Ce 6-86.

4.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.

Indicar como se realiza el estudio de eficiencia del proceso de TES y cuales son las características que se determinarán en el biodiesel obtenido y como se realiza la evaluación según parámetros de calidad. Métodos.

Se evaluará el efecto de los diferentes parámetros operativos (proporción de alcohol, porcentaje de catalizador, temperatura de reacción) en las características del producto obtenido, de acuerdo a los métodos analíticos recomendados por la norma uruguaya para la calidad de biodiesel (UNIT 100):

- Contenido de Ester según norma UNIT 1132:2007.
- Contenido de mono-, di-, y triglicéridos según norma UNIT 1133:2007.

5.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas (SCTES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad. **No va**

6.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes

biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.

7.- Estudio comparativo de los tres procesos de transesterificación estudiados en el proyecto y evaluación de la viabilidad de su implementación a escala industrial.

3.- Estrategia de investigación y actividades específicas:

Para cumplir con el objetivo 1: Evaluación y selección de cepas de microalgas a estudiar en función de antecedentes relativos a productividad y características del aceite producido. Se trabajará con diferentes cepas de microalgas para poder seleccionar aquellas que aseguren una alta productividad. Se realizarán cultivos de microalgas en pequeña escala y en una escala mayor.

Qué es pequeña escala y cual es la escala mayor? Definir.

Los ensayos de optimización y producción de aceite se realizarán en reactores de laboratorio de 2 litros de capacidad, con escalado en laboratorio para 20L. Con los mejores resultados obtenidos se estudiará la posibilidad de escalar la producción a reactores de 1000 L.

Para cumplir con el objetivo 2: Producción de aceite de las cepas seleccionadas a escala de laboratorio, evaluación del efecto de factores de estrés sobre la productividad y composición del aceite y selección de las condiciones óptimas de cultivo.

Se realizarán diferentes ensayos variando las condiciones de cultivo, como la composición y concentración del medio de cultivo (tipo y concentración de nutrientes, pH, potencial redox), régimen de luz, temperatura y agitación. De esta forma se evaluará el efecto de factores de estrés sobre la productividad y calidad del aceite.

Idem (cuales ensayos?)

Ver respuesta N°1.

7.- Estrategia de comunicación con ANCAP durante la realización del proyecto:

Se enviará a ANCAP un informe semestral con el grado de avance y los resultados correspondientes.

Eso en cuanto al informe formal que recibiremos, pero estoy solicitando a todos los proyectos un informe bimensual o mensual que detalle los avances realizados en el periodo y los próximos pasos. Podemos discutir el formato.



Ok con la presentación de un informe bimensual o mensual que detalle los avances realizados en el período y los próximos pasos.

8.- Mecanismos de difusión de los resultados:

Se acordará con ANCAP los mecanismos de difusión más adecuados.

Los principales resultados obtenidos podrán ser difundidos en Congresos Internacionales: Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites, Euro Fed Lipid y AOCS Annual Meeting & Expo.

En este tema hay que hablar con Alcarraz, queremos confidencialidad de datos obtenidos, si bien entendemos que es bueno que uds. presenten resultados en congresos, antes debemos ponernos de acuerdo de que datos publican y cuales los reservamos por un tiempo. Esto lo haríamos previo a cada viaje o presentación que uds. realicen.

La siguiente frase del proyecto presentado originalmente "Se acordará con ANCAP los mecanismos de difusión más adecuados", apunta justamente a conversar sobre la forma más adecuada y conveniente para todos de encarar tareas de difusión de resultados.


La difusión de los resultados es un punto que no podemos dejar de realizar y para eso se conversará para llegar a un acuerdo beneficioso para ambas partes de acuerdo con lo establecido en las bases de los Proyectos ANCAP-UdelAR.



LA

Cronograma de Ejecución del Proyecto (Ajustado)

Actividades vinculadas al objetivo específico:	Mes de ejecución																								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22			
1.- Evaluación y selección de cepas de microalgas																									
2.- Producción de aceite de microalgas seleccionadas y selección de condiciones de cultivo																									
3.- Obtención de muestras de aceite de cada tipo de cepa seleccionada cultivada en las condiciones identificadas como óptimas y caracterización del mismo																									
4.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación convencional (TES)																									
5.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas (SCTES)	Se elimina este objetivo y las actividades correspondientes de acuerdo a lo solicitado por el Ing. Nikolai Guchin																								
5.- Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-																									



Se someterá al proceso convencional de transesterificación (catálisis química) a aceites de diferente calidad, de acuerdo con los resultados de las actividades del punto anterior. Se evaluará la eficiencia obtenida y se identificarán qué parámetros de calidad repercuten en mayor medida sobre dicha eficiencia.

Se determinará la necesidad de la incorporación de etapas previas de acondicionamiento de las diferentes materias primas previo a su ingreso al proceso de conversión de las mismas a biodiesel. De ser necesario, se realizarán ajustes en los parámetros operativos de las diferentes etapas del proceso a los efectos de maximizar la conversión completa de los diferentes aceites.

Para cumplir con el objetivo 5: Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en ultrasonido (US-TES) del aceite obtenido de microalgas, caracterización de los diferentes biodiesel obtenidos y evaluación de los mismos en relación a parámetros de calidad.

Se estudiará la eficiencia del método de transesterificación por ultrasonido para la conversión a biodiesel del aceite obtenido de microalgas. Se identificarán los parámetros operativos necesarios para maximizar la eficiencia de este proceso

Para cumplir con el objetivo 6: Estudio comparativo de los tres procesos de transesterificación estudiados en el proyecto y evaluación de la viabilidad de su implementación a escala industrial.

Identificadas las condiciones más convenientes para la conversión por cada tipo de proceso, se estudiarán todos los aspectos vinculados al costo final de cada tipo de biocombustible.

De esta forma con la eliminación del Objetivo 5 (Estudio de la eficiencia del proceso de transesterificación en condiciones supercríticas (SCTES)) se reduce en 2 meses de ejecución el proyecto pasando de 24 a 22 meses y por ende los costos de sueldo asociados a la contratación del Grado 1 de 35 hs.

El trabajo se realizará a escala de laboratorio y eventualmente con posterioridad se podría estudiar a escala piloto, pero el financiamiento que ofrece este llamado no lo permite realizar ahora.