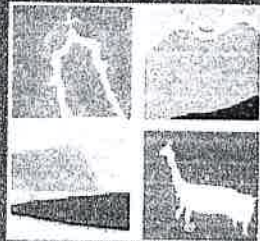


2011

**FORMATO INFORME TECNICO FINAL
PROYECTOS FIC REGIONAL
FONDO DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD
Convenios FIC 2011**



**Desarrollo de tecnología de Producción
masiva de microalgas para obtención de
biocombustibles y materias primas de alto
valor agregado para creación de un nuevo
polo de Desarrollo sustentable en la región
de Arica y Parinacota**





ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

INVESTIGACIÓN DE PRODUCCIÓN MASIVA DE MICROALGAS)

INFORME TÉCNICO FINAL

(29/11/2013)



ARICA Y PARINACOTA
BOLEAS REGIONALES

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

Nombre del Ejecutor:

UNIVERSIDAD DE TARAPACÁ

Nombre del Proyecto:

Desarrollo de tecnología de Producción masiva de microalgas para obtención de biocombustibles y materias primas de alto valor agregado para creación de un nuevo polo de Desarrollo sustentable en la región de Arica y Parinacota

Fecha del Convenio:

02_08_2011

Período Informado: (MESES)

Agosto 2011 a Agosto 2013

Coordinador o responsable del Proyecto:

Nombre:

Correo electrónico y Teléfono:

LIBERTAD CARRASCO RIOS

lcarrasc@uta.cl

1.- Resumen del Proyecto o programa:

Descripción resumida de la iniciativa:

La apuesta de este proyecto es generar las bases para el desarrollo de cultivos de microalgas al aire libre, con medios preparados en base a agua de mar, altamente salinos para evitar la contaminación con otras microalgas y microorganismos parásitos, y usar cepas seleccionadas para crecer óptimamente en estos medios y optimizadas para aumentar su tasa de crecimiento y su contenido de lípidos. Adicionalmente, se considera como estrategia clave concebir a la biomasa de la microalga como un todo del cual se obtendrán dos principales fracciones (harina de microalga y aceite de microalga) que deberán ser comercializadas para hacer rentable el negocio, considerando que siempre la fracción de aceite, por ser la utilizable como combustible deberá ser de muy bajo costo.

La propuesta se desarrollará en 2 subprogramas coordinados entre sí, se pretende 1° implementar el cultivo de las mejores cepas resistentes y productivas para construir un sistema productivo que permita obtener resultados extrapolables a un sistema de cultivo a escala industrial y 2° validar el uso



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

de la biomasa producida como fuente de harina de microalga utilizable como ingrediente proteico para alimentación, y la fracción de aceite que sea utilizable como materia prima para biodiesel.

Objetivo General:

Desarrollar a escala piloto la producción de biomasa microalgal de organismos cultivados bajo condiciones ambientales extremas en la región de Arica y Parinacota, a altas tasas de crecimiento y a un costo que permita su explotación económica y procesamiento para la obtención de diversos compuestos naturales de interés comercial (proteínas, lípidos, carbohidratos y compuestos secundarios), orientados a las industrias farmacéutica, de alimentos o productos cosméticos entre otros; dando principal importancia a la obtención de fracciones lipídicas que podrían ser orientadas a la producción de biocombustible.

Objetivos Específicos:

1. Selección, estudio y caracterización de diferentes cepas de microalgas marinas aisladas de ambientes de salinidad extrema.
2. Generación de un sistema productivo de microalgas como base para la Validación Técnica y Económica de la producción de Biomasa proyectada a escala industrial.
3. Estudio de la posibilidad de optimizar, Evaluar Técnica y Económicamente a escala piloto de la producción de Biocombustibles, alimento animal y posibles compuestos secundarios de interés a partir de la biomasa microalgal.
4. Generación de un sistema de transferencia de la tecnología y promoción del nuevo emprendimiento por medio de un consorcio entre Universidades y empresas para la explotación del negocio productivo y la transferencia a otros inversionistas por medio de licenciamiento del paquete tecnológico y cepas.

Resultados o productos esperados:

- Base nativa de Cepas de microalgas extremófilas con los medios de selección y caracterización.
- Modelo de cultivo y cosecha que maximice la producción de biomasa al aire libre bajo condiciones selectivas de cultivo por variables ambientales de nulo costo de control (condiciones extremas de salinidad).
- Base experimental del proceso de extracción de aceite y separación de fracciones de interés comercial.
- Evaluación base para la aplicación de la biomasa remanente en nutrición animal y/o humana.
- Evaluación de costos y extrapolación de unidad demostrativa (Viabilidad técnico económica del escalamiento, información clave requerida para los inversionistas potenciales).
- Planta demostrativa para continuar con la evaluación productiva de otras cepas extremófilas que permitan generar alternativas de producción.



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

2.- Metodologías aplicadas:

Respecto al objetivo específico 1: Selección, estudio y caracterización de diferentes cepas de microalgas marinas aisladas de ambientes de salinidad extrema.

- Dentro de la infraestructura pre existente del Laboratorio de Cultivo de Tejidos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, que contaba con las condiciones básicas para ser aprovechadas y mejoradas para la implementación del LCP, la se realizó la adecuación de las instalaciones para generar el espacio y las condiciones ambientales requeridas para poder enfrentar esta labor, y se instaló el cepario definitivo con su mobiliario y equipamiento respectivo, conformándose así el "Laboratorio de Cultivo Primario" (LCP).
- El LCP localizado en la Facultad de Ciencias Agronómicas del campus Azapa, quedó dotado con los espacios bioseguros, las medidas de higienización y los controles de acceso necesarios, junto con todo el equipamiento requerido (sistema de filtración de agua de mar, sistema de aireación (sopladores) y aire acondicionado (control de temperatura) para desarrollar las actividades de cultivo de cepas y experimentos de control de condiciones ambientales y su impacto en la productividad, según la metodología y objetivos de investigación propios del proyecto.
- La empresa ASITEC Ltda. realizó el aporte de una colección de cepas de microalgas previamente seleccionadas a partir de ambientes marinos de alta concentración de sales, como base para contar con las cepas que fueron investigadas durante el proyecto. Estas cepas fueron recibidas en estado latente, tanto en tubos de ensayo con medio de cultivo líquido como en cápsulas de petri con medio de cultivo sólido. Todas las cepas se encontraban en estado de monocultivo, habiéndose previamente aislado y separado, para mantener cepas libres de contaminación con otros microorganismos.
- La profesional Ingeniero en Acuicultura Paz Galeno fue capacitada en la reactivación de las cepas desde su estado latente, y procedió a la implementación de un sistema de cultivo y mantenimiento del estado de monocultivo de las cepas aportadas por ASITEC Ltda. Este proceso generó el cultivo en forma permanente de un pool de cepas en cultivo simultáneo que requieren una constante replicación y resiembra de medios de cultivos para mantenerlas en estado vegetativo y de crecimiento, que es lo requerido para poder iniciar la investigación.
- Se diseñó un protocolo de preselección para explorar el potencial de crecimiento de las cepas. Este protocolo consistió en el cultivo de cada cepa en un medio líquido estándar basado en agua de mar esterilizada y nutrientes agregados, para promover el crecimiento de las



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

cepas en condiciones óptimas, y evaluar su productividad de biomasa. Con este protocolo se obtuvo la curva de crecimiento de las cepas, que permitió determinar las que tienen un potencial de crecimiento compatible con una alta producción de biomasa en condiciones controladas. La curva de crecimiento se obtiene por medio del conteo diario del número de células con el método de la cámara de Neubauer (miles de células por mL). El número de células luego se correlaciona con la producción de biomasa por centrifugado del medio para separar las células, luego se seca en estufa y se pesa para obtener la cifra en gramos de biomasa / ml de cultivo.

- Con el protocolo definido, la profesional a cargo del LCP se encargó del cultivo, mantención y selección de las cepas mediante este criterio de productividad de Biomasa. Una vez seleccionadas las 4 cepas de mayor interés por medio del criterio de la productividad basal de biomasa, se procedió a diseñar un protocolo para su adaptación y resistencia a las condiciones de salinidad extrema establecidas en el proyecto como criterio deseable para el cultivo a gran escala. El protocolo consiste en el aumento paulatino de la salinidad, simulando un proceso de evaporación del agua de mar, y ajustes a la concentración de nutrientes disponibles para el crecimiento de las microalgas seleccionadas.
- Con el fin de disponer de la capacidad adecuada para generar los datos y poder interpretar la información a obtener a través del funcionamiento del LCP y la generación de resultados de los protocolos en evaluación en dicha unidad, se realizaron las adaptaciones del Laboratorio de Bioquímica del Departamento de Química, para mejorar y aumentar la capacidad de proceso y análisis químico - bioquímico, con el propósito de caracterizar la producción de biomasa de microalgas, y luego analizar el contenido de compuestos nutraceuticos contenidos en la biomasa, junto con el análisis de su potencial aplicabilidad para la producción de biocombustible.
- El laboratorio de estudio bioquímica y caracterización (LEBC), localizado en el Departamento de Química del Campus Velásquez, funcionó eficientemente en la caracterización productiva y química (cuantificación de biomasa y composición química porcentual: proteínas, carbohidratos totales, lípidos y cenizas) de las cepas en estudio, con la capacidad de generar los resultados que permiten interpretar el comportamiento productivo de las algas sometidas a protocolo de investigación en el LCP.
- En el LEBC se establecieron las bases experimentales y metodológicas para el proceso de extracción a escala de laboratorio del aceite y la separación de fracciones de interés comercial a partir de la biomasa obtenida en el LCP, como también la caracterización de la fracción lipídica (lípidos de interés nutraceutico como ácidos grasos esenciales), y la identificación primaria de pigmentos y compuestos con capacidad antioxidante que otorgan el potencial de valor agregado a la biomasa.



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

- Apartir de la información obtenida en la interacción entre la producción de biomasa en el LCP y su análisis en el LEBC, se procedió a generar un nuevo protocolo para introducir el control y monitoreo del efecto de variables en los aportes nutricionales en el medio de cultivo, con el propósito de aumentar la producción de biomasa y/o aumentar el contenido lipídico y la producción de fracciones de interés comercial.
- Además, se incorporó como alumna tesista esta iniciativa la alumna Johana Fernandez, estudiante postulante al título de Microbiología Industrial, Universidad de Antioquía, Medellín Colombia), quien cumplió labores tanto en el laboratorio de cultivos primarios (LCP) como en el de estudio bioquímico y caracterización (LEBC) como postulante al título de microbióloga industrial.
- El trabajo de tesis de la alumna Johana Fernández, dio origen a una publicación científica que fue enviada a la revista Electronic Journal of Biotechnology.
- El trabajo coordinado del LCP y el LEBC continuó durante todo el periodo de ejecución de la propuesta en la cual se caracterizó las microalgas seleccionadas para producción de biomasa que serían luego evaluadas en la unidad demostrativa. La caracterización se hizo bajo una serie de variaciones de condiciones ambientales de cultivo cuyo propósito era definir las condiciones óptimas para el crecimiento a escala demostrativa.
- Este trabajo fue plasmado en 3 actividades de titulación más, realizadas en el Departamento de Química de las Facultad de Ciencias, llevadas a cabo por alumnos de las Carreras de Químico y Químico Laboratorista.

Respecto al Objetivo 2: Generación de un sistema productivo de microalgas como base para la Validación Técnica y Económica de la producción de Biomasa proyectada a escala industrial.

- Durante el periodo de evaluaciones de la biomasa originada en el LCP, se incorporó al equipo técnico el profesional Ingeniero Agrónomo Camilo Urbina cuya función a partir de su experiencia previa en cultivos industriales de microalgas fue estar a cargo de la fase de escalamiento piloto. Para lo cual como primer paso se estableció el diseño que tendría la unidad demostrativa. Este diseño incluyendo su costeo y la generación de las bases técnicas para su licitación, que se hizo todo lo humanamente posible para que su implementación ocurriese en paralelo durante el desarrollo de la fase de laboratorio, de modo que estuviese en condiciones operativas al momento de contar con la información de laboratorio para iniciar la etapa demostrativa. Sin embargo, el proceso de licitación de la implementación de la



ARICA Y PARINACOTA
REGIONAL GOBIERNO

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

unidad demostrativa fue mucho más largo de lo que se pensó originalmente que debería haber sido, habiendo 2 instancias de licitación en la cual no se presentaron oferentes, sin considerar además la notable complejidad que se experimentó en el trámite mismo de llamar a licitación, particularmente debido a la naturaleza altamente especializada de las instalaciones requeridas y la difícil traducción de estos requerimientos en términos aceptables para ser licitadas por medio del sistema de compras públicas, en la cual el equipo técnico del proyecto siguió todas las instrucciones y proveyó toda la información que le fue solicitada para realizar los llamados a licitación, en forma oportuna, e incluso anticipada. Pero aún así se pudo comprobar que, en la práctica, el sistema de compras públicas se transforma en el cuello de botella para los proyectos de investigación y desarrollo debido al poco estímulo que genera el sistema diferido de pagos a proveedores, y las exigencias documentales que se efectúan, por las cuales los oferentes prefieren no presentarse a licitación para no tener problemas.

- Dado que originalmente se planificó que la unidad demostrativa se ubicaría en terrenos solicitados a bienes nacionales para quedar lo más cerca del mar posible en el sector aledaño a playa "Las Machas", se realizaron desde un inicio del proyecto, y en paralelo a las demás actividades, las gestiones para solicitar el permiso del uso del terreno a bienes nacionales. Estas gestiones terminaron con una respuesta negativa por parte de Bienes nacionales, que ofreció como alternativa un terreno en la zona aledaña a la costa sobre los cerros al sur de Arica, que, debido a no cumplir con varios requisitos pero principalmente por estar a mucha altura sobre el nivel del mar, fue descartada como opción. Para resolver el problema de la ubicación de la planta piloto, la empresa Naturoil S.A. ofreció sus terrenos para albergar las instalaciones en el sector industrial "parque industrial puerta norte", ubicación relativamente mejor con respecto a los requerimientos del proyecto. Sin embargo, el Gobierno Regional no autorizó finalmente esta ubicación por estar localizada en terrenos privados, razón por la cual se cambió finalmente la ubicación del lugar definitivo para instalar la unidad demostrativa a las dependencias del campus Azapa de la Universidad de Tarapacá.
- Las 2 licitaciones declaradas desiertas pese a todos los esfuerzos realizados por parte del personal técnico y la unidad de apoyo administrativa del proyecto para proveer a las instancias correspondientes de todos los requerimientos formales, (hecho documentado a través de todas las rendiciones técnicas previamente entregadas) junto con la imposibilidad de tener control alguno sobre la falta de presentación de oferentes, así como el corto periodo remanente para su completación y las escasas posibilidades de lograrlo dada la experiencia obtenida en ese periodo, unida a motivos de índole personal, motivaron la renuncia del profesional a cargo de la implementación de la Unidad demostrativa, Camilo Urbina, a partir de Marzo de 2013. Se contrató en su reemplazo al Ingeniero de Ejecución en Pesca Patricio Oxa Gallegos que se encargaría de implementar una estrategia alternativa para el logro de los objetivos demostrativos en el plazo remanente.



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

PROGRAMAS Y PROYECTOS FINANCIADOS POR EL GOBIERNO REGIONAL DE
ARICA Y PARINACOTA

FORMATO DE RENDICIÓN TÉCNICA FINAL

- Anticipándose al hecho que las dificultades de licitar las instalaciones requeridas por el proyecto pudiesen finalmente retrasar o imposibilitar totalmente el requisito de contar con una unidad de escala demostrativa, en el mes de marzo de 2012, junto con el ingreso de Patricio Oxa al equipo técnico, se diseñó una estrategia alternativa para contar, al menos, con una unidad que permitiese realizar evaluaciones con mayor cantidad de biomasa y condiciones más cercanas a la escala piloto, pero que además se pudiera ejecutar en el marco de las restricciones de presupuesto y capacidad de compra administrativamente impuestas a la ejecución del proyecto por el sistema de compras públicas y todos sus requisitos, todo esto con el propósito de aumentar la eficiencia del proyecto y tener antecedentes suficientes para poder resolver los objetivos planteados. En esta propuesta, se comprometió la implementación de 2 reactores verticales de 1 m³ de capacidad de medio de cultivo cada uno, para poder generar resultados anticipados del proyecto que dieran luces respecto a la escalabilidad del proyecto, siempre pensando en la proyección comercial de los resultados de la investigación.
- En la tercera (3^a) licitación de la Habilitación de la Planta demostrativa se logró adjudicar su construcción a una empresa contratista. Las obras fueron iniciadas en el mes de agosto 2012 y terminadas en el mes de Octubre 2012. No obstante, no se pudo implementar el suministro de agua y luz, ni tampoco proceder a la instalación del equipamiento, debido a que el 13 de septiembre se comunicó telefónicamente a la directora del proyecto, que no se podía hacer más gastos y que sólo se cursarían las Ordenes de compra realizadas hasta el 12 de septiembre. Esto en razón de que el Convenio entre la Universidad de Tarapacá había vencido y no fue prorrogado.

Respecto al Objetivo 3: Estudio de la posibilidad de optimizar, Evaluar Técnica y Económicamente a escala piloto de la producción de Biocombustibles, alimento animal y posibles compuestos secundarios de interés a partir de la biomasa microalgal.

- Con los bioreactores verticales que se construyeron, se intentó producir biomasa de las cepas seleccionadas por su mayor productividad y adaptabilidad al crecimiento en condiciones hipersalinas. Sin embargo, se presentó el problema de que la capacidad de cosecha (centrifugado del medio de cultivo) disponible, sin haberse implementado la unidad demostrativa, era insuficiente para cosechar 1 m³ de biomasa, lo cual limitaba el volumen máximo de cultivo posible de realizar a 300 litros. Se intentó ejecutar los cultivos en los reactores verticales con esta cantidad de medio de cultivo, pero resultó infructuoso ya que los reactores verticales dependen del volumen total de medio de cultivo para mantener su forma, con lo cual no se pudo obtener biomasa a esta escala en una manera adecuada, aunque si se pudo obtener una cosecha de los biorreactores, aunque no cultivada en condiciones óptimas.