

Planta piloto de microalgas para mejoramiento del tratamiento efluentes urbanos en Catamarca, Argentina

*María Florencia Codina*¹, *Carolina Belén García*², *Jorge Horacio Barón*¹, *Stela Maris da Silva*² y *Juan Pablo Bosch*³

1-Proyecto a-oil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.

2-Proyecto a-oil, Laboratorio de Algas, Institutos Multidisciplinarios (IMD), Espacio de la Ciencia y la Tecnología (ECT), Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.

3-Municipalidad de San Fernando del Valle de Catamarca (Capital), Municipalidad de Valle Viejo, Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Producción, Gobierno de Catamarca.

E-mail: florenciacodina@gmail.com, carobeleng@gmail.com, jbaron@fing.uncu.edu.ar, smdasilva@fing.uncu.edu.ar, juanpablobosch@live.com.

RESUMEN: Las microalgas son organismos unicelulares fotosintéticos que captan luz solar, CO₂ y nutrientes del medio para producir biomasa; por tanto, pueden aprovecharse en emprendimientos industriales con fines tales como mejoramiento del tratamiento de efluentes convencional, fijación de CO₂ y producción de biomasa para biocombustibles. Se propone un emprendimiento piloto de microalgas de 0.5Ha anexa a la planta de tratamiento de efluentes urbanos “La Viñita”, ubicada en el Departamento Valle Viejo, Provincia de Catamarca, Argentina. El objetivo del proyecto es mejorar la calidad del agua tratada utilizándola como medio de cultivo de microalgas a la salida de las piletas de maduración. Las microalgas consumen los nutrientes inorgánicos (principalmente P, y N) y desplazan microorganismos patógenos mediante competencia entre especies por los recursos. De este modo, se reduce la capacidad del efluente de provocar eutrofización en cauces naturales y además, se obtiene como producto adicional la biomasa de algas, útil para fines energéticos. Para favorecer el proceso fotosintético, puede suministrarse CO₂ de gases de combustión para su disolución en el medio de cultivo reduciendo a su vez emisiones de efecto invernadero. Una fuente alternativa de CO₂ es mediante la purificación de biogás (metano + CO₂ + otros gases) que puede obtenerse de las lagunas anaeróbicas existentes del tratamiento convencional, con lo cual podría obtenerse biogás con valores de poder calorífico más elevados. Ambas alternativas están planteadas como opciones a evaluar durante la operación del piloto. El proyecto se basa en experiencias propias realizadas en la región de Cuyo que demuestran la alta productividad potencial de los cultivos de algas. Se ha realizado la ingeniería básica de la planta piloto, dimensionando las operaciones principales y el análisis de costos preliminar. El piloto se concibe como un módulo de escala operativa, por lo cual de su operación se espera optimizar parámetros técnicos y económicos, ya aplicables a la escala industrial, y que permitirán su extrapolación aumentando la cantidad de módulos.

INTRODUCCIÓN

En un contexto en el que las actividades humanas causan impactos a nivel global, tales como el detrimento de los recursos naturales y el efecto invernadero, el desarrollo de tecnologías orientadas al cuidado del medio ambiente y a la generación de energías limpias se ha tornado indispensable para lograr un desarrollo sustentable.

Particularmente, el uso eficiente del agua cobra vital importancia, más en zonas donde la misma es escasa como en la provincia de Catamarca, ya que se trata de un recurso estratégico considerando el hecho de que las reservas de agua dulce del mundo están disminuyendo debido a su contaminación progresiva.

En los últimos años se ha prestado especial interés al uso de microalgas como medio de tratamiento de efluentes, con la obtención de biomasa útil y la posibilidad de mitigar emisiones de efecto invernadero (Rawat et al., 2010; Campbell et al., 2009; Li et al., 2008; Chisti, 2007; Pizarro et al., 2006; Sheehan et al., 1998). Mediante su metabolismo fotosintético, las microalgas toman luz solar, captan dióxido de carbono (CO₂) y nutrientes del medio para la biofijación de mismo y generar biomasa. Así, pueden ser utilizadas para la remoción de fósforo (P) y nitrógeno (N) de efluentes que, de otro modo, producirían la eutrofización en cuerpos de agua receptores. Es interesante señalar que son las microalgas en lagos y ríos las que causan este problema, cuando su proliferación excesiva por aumento de nutrientes impide la penetración de rayos solares en capas más profundas. De este modo, se produce una fotoinhibición, a la vez que aumenta el consumo de oxígeno por descomposición aeróbica de materia orgánica. La consecuencia es un ambiente anóxico en el fondo y muerte de la mayoría de las especies en el ecosistema. Pero si se cultiva a las algas permitiendo que consuman el fósforo y el nitrógeno de manera controlada, el resultado es un beneficio, y no un deterioro del medio ambiente (Li et al., 2008). De hecho, aplicando técnicas de cosecha, es posible separar la biomasa y utilizarla como combustible (ya sea sólido, o bien para extracción de aceite para biodiesel o para digestión anaeróbica y obtención de biogás). A su vez, las algas unicelulares tienen gran potencial para ser utilizadas como agente fijador de CO₂, ya que toleran altas concentraciones de este gas disuelto en el agua de cultivo (Kumar et al., 2010; Campbell et al., 2009; Stepan et al., 2002; Benemann 1997), lo cual permite mitigar emisiones en el lugar donde se generan, capturando el CO₂ presente en gases de chimenea industrial.

De esta manera, el cultivo de microalgas en aguas provenientes de una planta convencional de tratamiento de efluentes urbanos permitiría aprovechar los nutrientes remanentes como una materia prima para la generación de energías verdes.

Es importante destacar que el tratamiento con algas no reemplaza a los tratamientos convencionales con piletas anaeróbicas, facultativas y de maduración, sino que se propone como un tratamiento complementario posterior para mejorar la calidad del agua para su descarga final.

OBJETIVOS

En el presente trabajo se esbozan los lineamientos generales para una planta piloto de microalgas de 0.5Ha anexa a la planta de tratamiento de efluentes urbanos “*La Viñita*”, ubicada en el Departamento Valle Viejo, Provincia de Catamarca, Argentina. La propuesta se basa en experiencias propias de cultivos de microalgas a pequeña escala para producción de biomasa como materia prima para biocombustibles, llevadas a cabo durante tres años de investigación en la región de Cuyo, que demuestran su potencial productivo de biomasa. Tales experiencias sirven de puntapié inicial para el desarrollo de una nueva línea de investigación: la capacidad depuradora de las microalgas en efluentes urbanos pre-tratados.

En este trabajo también se analiza conceptualmente la combinación de las microalgas como post-tratamiento de efluentes y como agente fijador de CO₂ para dos casos distintos: CO₂ proveniente de gases de combustión (de calderas aledañas), y depuración de biogás (que podría obtenerse de las piletas anaeróbicas de la planta de tratamiento de efluentes existente).

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA TRATADA. CONCEPTO

Se propone mejorar la calidad del agua tratada utilizándola como medio de cultivo de microalgas a la salida de las piletas de maduración. De este modo, las microalgas captarían los nutrientes inorgánicos (fuente de P y N) presentes en el agua provenientes de la descomposición aeróbica de la materia orgánica por acción de bacterias en las etapas anteriores de tratamiento. Así, se aprovecharían los nutrientes para producir biomasa útil y, a la vez, se reduciría la capacidad del efluente de provocar eutrofización en cauces naturales (por volcado de efluente -tratado de forma incompleta- en cuerpos de agua receptores).

También mejorarían el parámetro DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), ya que al realizar la fotosíntesis liberan el O₂ que las bacterias necesitan para la degradación de materia orgánica, y capturan el CO₂ que éstas producen, favoreciendo el proceso (Figura 1) (Rawat et al., 2010). Es importante destacar que el parámetro DBO es indicativo de la cantidad de materia orgánica que puede degradarse biológicamente en forma aeróbica y se determina mediante la medición del oxígeno consumido en dicho proceso. Las microalgas, además de su metabolismo fotosintético, respiran al igual que todos los seres vivos y consumen oxígeno, por lo tanto podría decirse que aumentan el parámetro DBO. Sin embargo, como toda la biomasa se cosecharía para su utilización antes de la descarga final del efluente, el resultado sería un agua tratada con poco o nulo contenido de P, N, DBO y sin biomasa de algas.

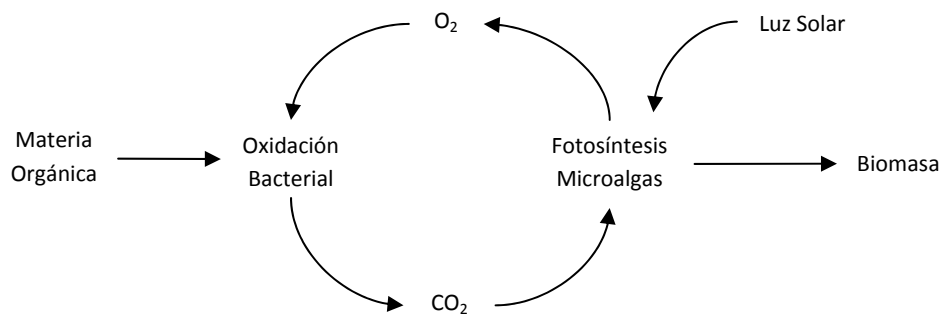


Figura 1: Mejoramiento de DBO mediante oxigenación fotosintética.

Adicionalmente al mejoramiento de la calidad del agua, se obtendría como producto secundario la biomasa de algas, útil para quema directa y producción de energía térmica, extracción de aceite para biodiesel, fermentación anaeróbica para biogás, etc.

SUMINISTRO DE CO₂. CONCEPTO

Para favorecer el proceso fotosintético, la depuración de P y N y, consecuentemente, la productividad de biomasa, es necesario el suministro de CO₂ (como insumo productivo) para su disolución en el medio de cultivo. La relación de referencia de suministro de CO₂ para el cultivo de microalgas se estima en 1,83 tonCO₂ por ton biomasa seca de algas (Chisti, 2007). Se plantean dos posibles fuentes de CO₂ que se analizarán para la planta piloto de microalgas. Una de ellas son gases de combustión de calderas utilizadas en la misma planta de microalgas, o bien provenientes del área industrial *El Pantanillo*, ubicada a unos 3km de la planta. Otra alternativa es mediante la purificación de biogás.

Purificación de biogás

En las lagunas anaeróbicas de la planta de tratamiento de líquidos cloacales existente se produce la descomposición de la materia orgánica en ausencia de O₂, liberando grandes cantidades de gas metano. Es posible aprovechar tales lagunas para la producción de biogás, que no estaría compuesto únicamente por metano, sino que tendría alguna fracción de CO₂ y otros gases. El CO₂ presente en la corriente de biogás, podría utilizarse como alimento para las microalgas para producir biomasa. Por tanto, se plantea como alternativa la purificación de biogás mediante captura del CO₂ presente en el mismo a través de la disolución en agua, la cual serviría como medio de cultivo de microalgas. La purificación se llevaría a cabo aprovechando la buena solubilidad del CO₂ en agua, por lo cual al circular el biogás en contracorriente con agua en un dispositivo diseñado para tal fin, se lograría la captura del mismo en la fase líquida, enriqueciendo en metano la fase gaseosa y, por lo tanto, con un poder calorífico más elevado.

PLANTA PILOTO. LINEAMIENTOS GENERALES

Planta existente de tratamiento La Viñita

La planta de tratamiento de líquidos cloacales *La Viñita* cuenta con seis módulos de lagunas de estabilización. Cada módulo consiste en una laguna anaeróbica, seguida de una laguna facultativa y posteriormente, lagunas de maduración en tres etapas. La superficie total de las lagunas es de 70Ha (Figura 2), y el caudal aproximado de entrada a la planta es de 2200m³/h.



Figura 2: Imagen satelital planta de tratamiento de líquidos cloacales *La Viñita*.

Cultivo de microalgas

El proyecto propone utilizar el agua saliente de la planta de tratamiento de efluentes (piletas de maduración) para el cultivo de microalgas. Se optaría por el sistema tipo hipódromo o carrusel (*raceway ponds*), que consiste en un canal de recirculación de lazo cerrado, poco profundo (del orden de los 0.3m de profundidad), por el que circula el medio de cultivo. El factor limitante en la profundidad del sistema es la penetración de rayos solares. El flujo se establecería mediante la acción de paletas rotatorias, guiado por tabiques. Las paletas rotatorias, además de impulsar el flujo, proporcionan el mezclado necesario para evitar la

sedimentación de la biomasa, la correcta distribución de nutrientes y la exposición homogénea de las células a la luz solar. El fondo y paredes serían de color blanco favoreciendo la reflexión de rayos solares para mejorar las condiciones de iluminación. Tales sistemas han sido utilizados para realizar ensayos a escala laboratorio en la región de Cuyo (Figura 3) respecto a crecimiento de consorcios de microalgas autóctonas, sin esterilización, utilizando aguas fertilizadas con Nitrógeno y Fósforo comercial, y destinados a la producción de biomasa como materia prima para biocombustibles. En una escala industrial, los hipódromos se construirían mediante taludes de tierra para los bordes y tabiques, tierra compactada en el fondo e impermeabilización con membrana geotextil.



Figura 3: Sistema de cultivo tipo hipódromo (*raceway ponds*) a pequeña escala. Proyecto a-oil. Laboratorio de Algas, IMD, ECT, UNCuyo. Mendoza.

A escala industrial la disolución de CO_2 se efectuaría en un dispositivo desarrollado para tal fin, en el que se circula el agua en contracorriente con el gas, maximizando el contacto de fases y el tiempo de residencia de las burbujas. La inyección de CO_2 es continua durante las horas de sol, correspondiendo al período de fotosíntesis y consumo del mismo. Para los ensayos de cultivo a escala laboratorio se utilizó CO_2 envasado comercial, y la disolución se realizó directamente por burbujeo en el medio de cultivo.

Cosecha de biomasa

La recuperación de la biomasa se lleva a cabo mediante un proceso de filtrado tangencial del cultivo, donde se obtiene un concentrado de microalgas, y el agua separada se lleva a descarga final. Se utiliza una membrana cerámica con tamaño de poro del orden de los $0.2\mu\text{m}$. Tal método de filtración se ha ensayado exitosamente a pequeña escala permitiendo extrapolar para la escala piloto industrial (0.5Ha) un régimen de filtrado de $150\text{m}^3/\text{día}$.

A una escala industrial, la biomasa concentrada se sometería, posteriormente, a un proceso de secado en un secador tipo Spray.

Tasa de remoción de P y N

El requerimiento estimado de P y N para generar las condiciones óptimas de crecimiento y maximización de la biomasa, es de 0,07tonN por ton biomasa seca y 0,005tonP por ton biomasa seca (Oilgae Report 2009). Las tasas de remoción efectiva dependerán de la cantidad y tipo de nutrientes presentes en el agua a la salida de la planta de tratamientos convencional, como así de las demás condiciones ambientales a las que estarán sometidas las microalgas, como irradiancia solar y radiación PAR (*Photosynthetic Active Radiation*), temperatura, entre otros. Éste es un aspecto fundamental a evaluar y el principal objetivo de la operación de la planta piloto propuesta.

Planta piloto de microalgas

Se plantea la construcción y operación de un piloto de cultivo de microalgas sometido a condiciones ambientales, anexo a la planta “*La Viñita*”, con una superficie operable del orden de la media hectárea. En el mismo, se esperan realizar experiencias desde la escala piloto hasta la escala operativa de aplicación industrial utilizando las aguas pre-tratadas urbanas. De la operación de la planta por varios meses, se conocerán los parámetros de cultivo para tales aguas, el comportamiento de la flora autóctona de microalgas, las variables ajustables para maximizar la remoción de P y N y la producción de biomasa.

Para facilitar el escalado, se utilizará un proceso de cultivo de microalgas por módulos, en el que la unidad modular será la de la escala piloto. Por lo tanto, una vez caracterizados los parámetros operativos y económicos de la unidad modular, el escalado se realizará fácilmente repitiendo el modelo.

Una vez caracterizado el proceso y optimizadas las variables operativas, se contará con el desarrollo tecnológico aplicable para otros emprendimientos.

En la Figura 4 se muestra el diagrama de flujo del cultivo de microalgas anexo a una planta genérica de tratamiento de efluentes; y la Figura 5, muestra la incorporación del proceso de producción y purificación de biogás.

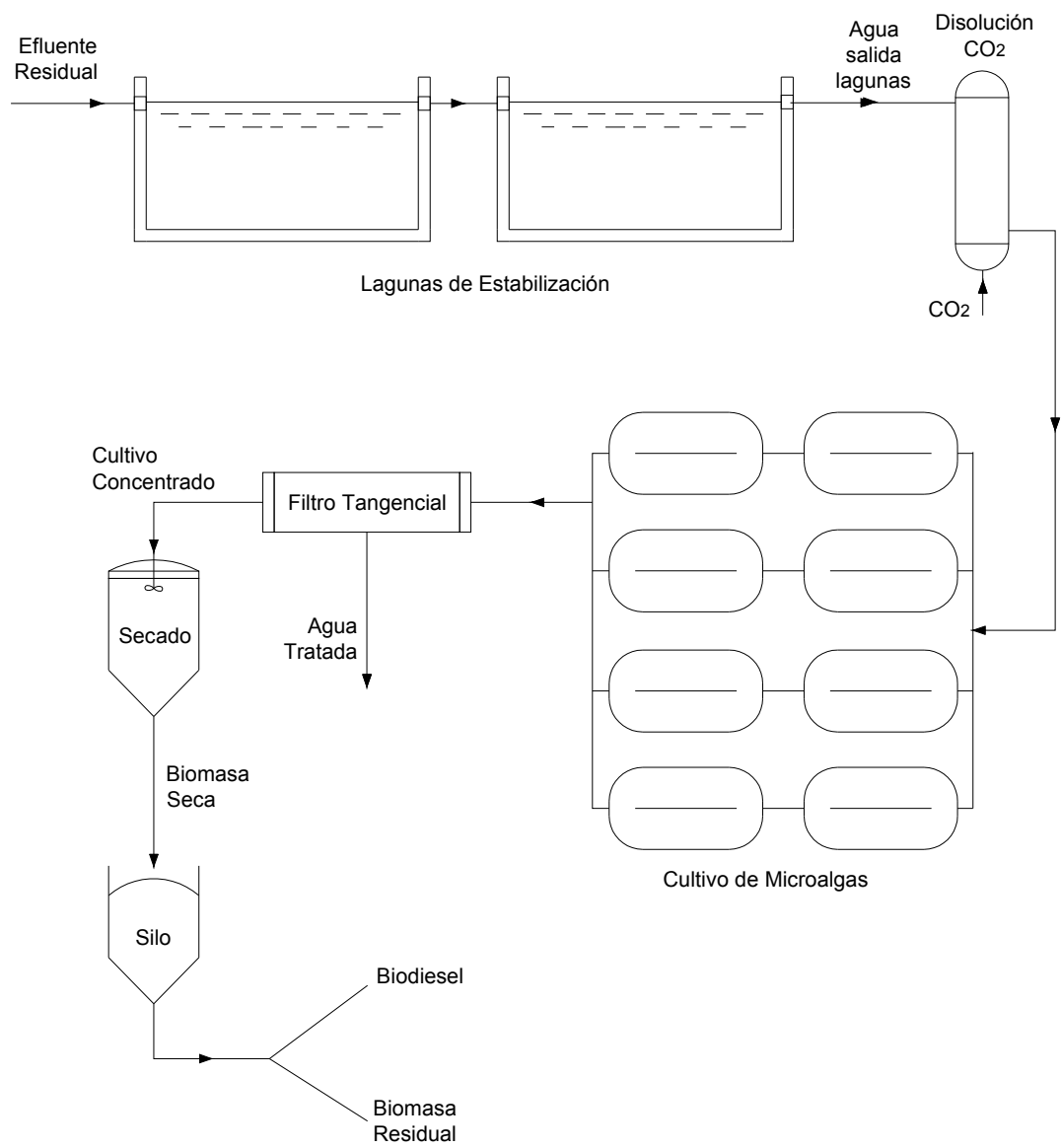


Figura 4: Cultivo de microalgas incorporado a una planta genérica de tratamiento de efluentes.

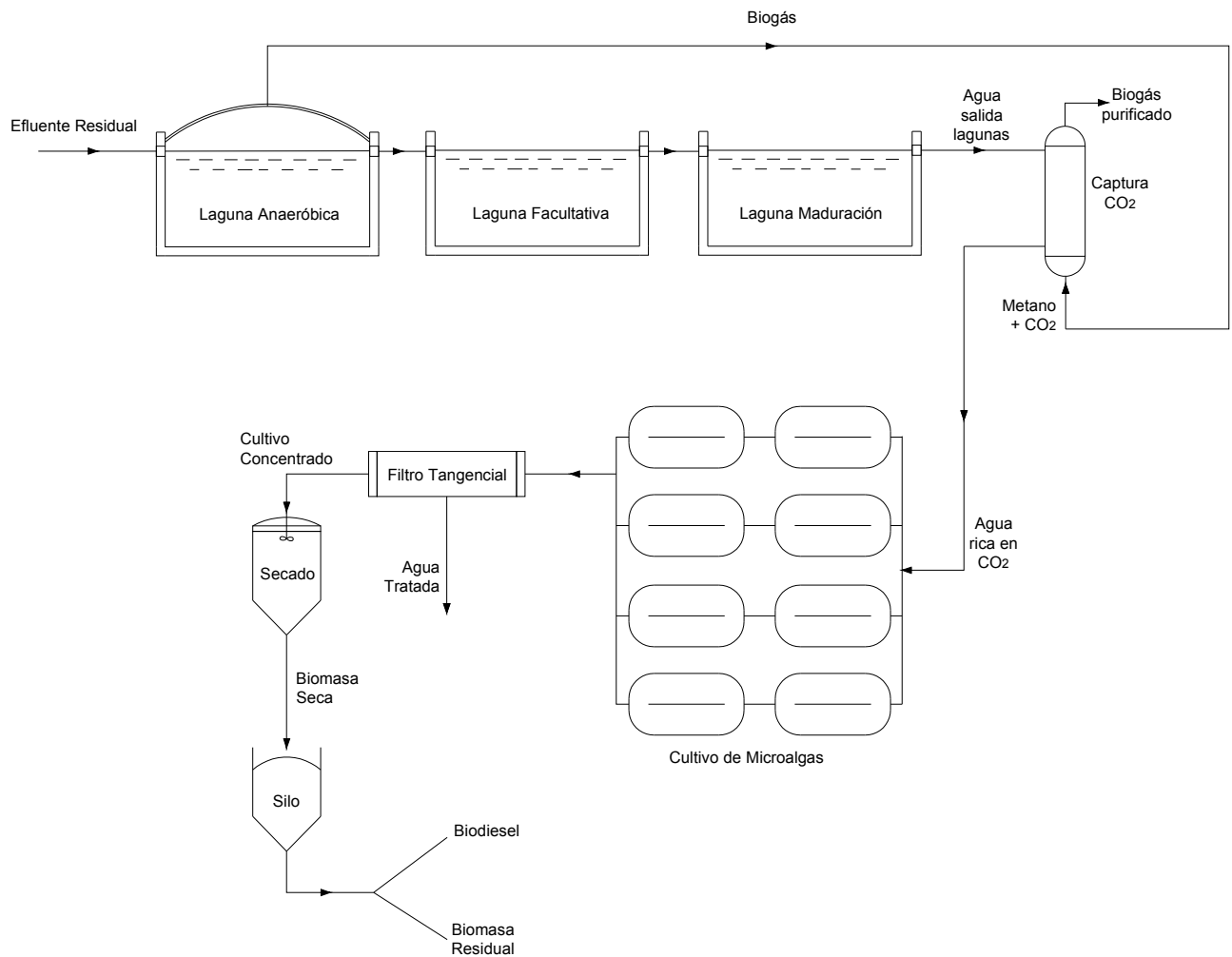


Figura 5: Purificación de biogás mediante captura en agua para cultivo de microalgas.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para una planta piloto del 0,5Ha operables, se estima una inversión del orden de los 1,5 millones de pesos (\$), y costos operativos del orden de \$150.000 anuales. Los principales rubros que componen la inversión son en primer lugar el sistema de cosecha (el secador spray representa aproximadamente un 35% del total de la inversión y el filtro tangencial un 16%), y en segundo lugar la construcción y montaje de un laboratorio especializado para el análisis de microalgas (23%). Para emprendimientos a escalas superiores, el peso de la inversión en laboratorio sería menor ya que es fija, independientemente de las hectáreas de cultivo. La impermeabilización de los estanques es el siguiente rubro en importancia (la membrana geotextil abarca un 13% de la inversión) seguido por instalaciones auxiliares como sistema de pipping de agua y CO₂, sistemas de agitación, entre otros. Estos cálculos no incluyen el sistema captador y purificador de biogás.

Los principales componentes de los costos operativos son en primer lugar la mano de obra (poco más del 40%), seguido del mantenimiento de la planta (casi un 30%), costos de laboratorio (15%) y energía eléctrica

para el funcionamiento de los sistemas de agitación, cosecha e inyección de CO₂ (12%). Es importante destacar que para producir biomasa de algas sin el aprovechamiento de aguas residuales, sería necesario el agregado de fertilizantes como fuente de N y P, aumentando los costos en un 40%.

CONCLUSIONES Y EXPECTATIVAS

Se ha plasmado en el presente proyecto la idea conceptual de la utilización de microalgas para el mejoramiento de la calidad del agua pre-tratada en una planta de tratamiento de efluentes urbanos convencional. Hasta el momento, se ha desarrollado la ingeniería conceptual de la planta piloto y se ha realizado un análisis preliminar de costos. De la construcción y operación de un piloto de microalgas, se espera caracterizar los parámetros del proceso y maximizar su rendimiento respecto a: remoción de P y N, producción de biomasa como combustible y fijación de CO₂. De esta manera, se busca desarrollar un proceso que permita combinar, de manera sinérgica, distintos elementos perjudiciales, como son el N y P remanente en los efluentes urbanos pre-tratados (aprovechados como nutrientes en el cultivo de microalgas) y las emisiones de CO₂ (utilizado como insumo productivo), para generar una fuente renovable de energía, optimizando al máximo la utilización de recursos y contribuyendo al desarrollo sustentable de la región.

REFERENCIAS

- Benemann, John R. 1997. "CO₂ Mitigation with Microalgae Systems." *Energy Conversion and Management* 38: S457–S479.
- Campbell, P. K, T. Beer, D. Batten, and CSIRO (Australia). 2009. *Greenhouse Gas Sequestration by Algae: Energy and Greenhouse Gas Life Cycle Studies*. CSIRO Energy Transformed Flagship.
- Chisti, Y. 2007. "Biodiesel from Microalgae." *Biotechnology Advances* 25 (3): 294–306. doi:10.1016/j.biotechadv.2007.02.001.
- Kumar, Amit, Sarina Ergas, Xin Yuan, Ashish Sahu, Qiong Zhang, Jo Dewulf, F. Xavier Malcata, and Herman van Langenhove. 2010. "Enhanced CO₂ Fixation and Biofuel Production via Microalgae: Recent Developments and Future Directions." *Trends in Biotechnology* 28 (7) (July): 371–380. doi:10.1016/j.tibtech.2010.04.004.
- Li, Y., M. Horsman, N. Wu, C.Q. Lan, and N. Dubois-Calero. 2008. "Articles: Biocatalysts and Bioreactor Design - Biofuels from Microalgae." *Biotechnol. Prog.* 24: 815–820.
- Oilgae Report Academic Edition. Updated May-2009, www.oilgae.com
- Pizarro, C., W. Mulbry, D. Bliersch, and P. Kangas. 2006. "An Economic Assessment of Algal Turf Scrubber Technology for Treatment of Dairy Manure Effluent." *Ecological Engineering* 26 (4): 321–327.
- Rawat, I., R. Ranjith Kumar, T. Mutanda, and F. Bux. 2010. "Dual Role of Microalgae: Phycoremediation of Domestic Wastewater and Biomass Production for Sustainable Biofuels Production." *Applied Energy* (December). doi:10.1016/j.apenergy.2010.11.025.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261910004885>.
- Sheehan, J., T. Dunahay, J. Benemann, and P. Roessler. 1998. *A Look Back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae*. Vol. 328. National Renewable Energy Laboratory.

Stepan, D.J., R.E. Shockley, T.A. Moe, and R. Dorn. 2002. *Carbon Dioxide Sequestering Using Microalgal Systems*. US Department of Energy Report. 2002-EERC-02-03.