

GACETA

**DEL INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

**UNIDAD
ACADÉMICA
JURIQUILLA**

Generación
de biocombustibles
gaseosos a partir
de residuos líquidos
y sólidos

Sistemas microalgales
en procesos ambientales
y generación de bioenergía

Instrumentación
y control automático
en bioprocesos

Fermentación
de residuos agrícolas:
producción
de bioalcoholes
y ácidos de cadena media

Este número de la Gaceta del Instituto de Ingeniería está dedicado a la Unidad Académica Juriquilla ubicada en el campus UNAM Juriquilla en la Ciudad de Santiago de Querétaro. En esta ocasión se presentan cuatro artículos desarrollados, más que como proyectos, por temas de investigación que ilustran el quehacer del personal académico del Laboratorio de Investigación en Procesos Avanzados de Tratamiento de Aguas.

El objetivo del grupo de investigación de la Unidad Académica Juriquilla es estudiar, concebir y desarrollar procesos eficaces para el tratamiento de aguas, la obtención de biocombustibles y de productos de valor agregado a partir de residuos. También dentro de sus objetivos están la vinculación con los sectores público y privado, la difusión del conocimiento generado y la formación de recursos humanos altamente especializados en el ramo. El grupo trabaja con un enfoque multidisciplinario donde los bioprocesos son el eje central con tres disciplinas que interactúan para estudiarlos de forma integral: 1) la ingeniería de procesos; 2) la teoría de sistemas y control y 3) la ecología microbiana. Este enfoque, que propicia el trabajo en grupo, ha redundado en una muy alta productividad académica, un reconocido prestigio nacional e internacional y la vinculación a través de la obtención de importantes proyectos de investigación y de apoyo al sector industrial. El grupo sigue su crecimiento tanto académico como en número de personal e infraestructura. Participamos muy activamente en el Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería (Ingeniería Ambiental) cuyos egresados han sido reconocidos con numerosos premios y distinciones. Por último, y no por ello menos importante, es la participación académica de nuestra Unidad en la Escuela Nacional de Estudios Superiores Juriquilla (ENES), donde el grupo es el responsable de la Licenciatura de Ingeniería en Energías Renovables. |

Germán Buitrón Méndez

Jefe de la Unidad Académica Juriquilla
Subdirector de Unidades Académicas Foráneas

UNAM

Rector
Dr. Enrique L. Graue Wiechers

Secretario General
Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario Administrativo
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario de Desarrollo Institucional
Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

Secretario de Atención a la Comunidad Universitaria
Dr. César Iván Astudillo Reyes

Abogada General
Dra. Mónica González Contró

Coordinador de la Investigación Científica
Dr. William H. Lee Alardín

Director General de Comunicación Social
Mtro. Néstor Martínez Cristo

IUNAM

Director
Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria

Secretaría Académica
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirector de Estructuras y Geotecnia
Dr. Efraín Ovando Shelley

Subdirector de Hidráulica y Ambiental
Dr. Moisés Berezowsky Verduzco

Subdirector de Electromecánica
Dr. Arturo Palacio Pérez

Subdirector de Unidades Académicas Foráneas
Dr. Germán Buitrón Méndez

Secretario Administrativo
Lic. Salvador Barba Echavarría

Secretario Técnico
Arq. Aurelio López Espíndola

Secretario de Telecomunicaciones e Informática
Ing. Marco Ambriz Maguey

Secretario Técnico de Vinculación
Lic. Luis Francisco Sañudo Chávez

GACETA DEL IUNAM

Editor responsable
Lic. Verónica Benítez Escudero

Reportera
Lic. Verónica Benítez Escudero

Fotografías
Archivo Fotográfico del IUNAM
Natalia Cristel Gómez Cabral
Sandra Lozano Bolaños

Fotografía de portada
Stock del IUNAM

Diseño
Sandra Lozano Bolaños

Corrección de estilo
Gabriel Sánchez Domínguez

Impresión
Grupo Espinosa

Distribución
Guadalupe De Gante Ramírez

GACETA DEL IUNAM

Órgano informativo del Instituto de Ingeniería a través del cual se muestra el impacto de sus trabajos e investigaciones, las distinciones que recibe y las conferencias, los cursos y los talleres que imparte, reportajes de interés e información general. Se publica los días 10 de cada mes, con un tiraje de 1500 ejemplares.
Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04 2014 070409264300 109. Certificado de Licitud de Título: 13524.
Certificado de Licitud de Contenido: 11097. Instituto de Ingeniería, UNAM, edificio Fernando Hiriart, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, CP 04510, Ciudad de México. Tel. 56233615.



UNIDAD ACADÉMICA JURIQUILLA

Debido a la gran necesidad de realizar investigaciones enfocadas a tratar el agua con fines de reúso, para solventar los problemas derivados por el déficit de agua en la región y para apoyar la descentralización universitaria, se formó la Unidad Académica Juriquilla (UAJ) del Instituto de Ingeniería. La UAJ comenzó su operación el 22 de noviembre de 2007 y pertenece a la Subdirección de Unidades Académicas Foráneas. El grupo de investigación fundador tiene sus orígenes en las Coordinaciones de Ingeniería Ambiental y de Bioprocesos Ambientales de la Subdirección de Hidráulica y Ambiental.

La UAJ cuenta con 2500 m² de edificios, de los cuales 1250 m² corresponden a laboratorios perfectamente equipados de microbiología y biología molecular, pilotos, físico-química, análisis instrumental, microscopía y electrónica. La UAJ cuenta con siete investigadores, un investigador catedrático CONACyT y tres técnicos académicos. Todos sus investigadores pertenecen al Sistema Nacional de Investigadores (dos de nivel 3, tres de nivel 2 y dos de nivel 1). Además, participan cerca de 40 estudiantes de los niveles de posdoctorado, doctorado, maestría y licenciatura. Desde agosto de 2019 la Unidad Académica Juriquilla, junto con la ENES Juriquilla y el Instituto de Energías Renovables (IER), es responsable de la Licenciatura de Ingeniería en Energías Renovables. Existe una fuerte colaboración académica con universidades nacionales e internacionales, así como con la Universidad Autónoma de Querétaro. El grupo tiene una productividad promedio sostenida de más de cuatro artículos indizados ISI-JCR por investigador por año, una de las más altas del Instituto por coordinación.

Las líneas de investigación actuales son:

- Tratamiento biológico de aguas residuales.
- Uso de microalgas para tratamiento de aguas residuales.

- Obtención de productos de valor agregado (biorrefinería) a partir de las aguas residuales, municipales e industriales (metano, hidrógeno, bioelectricidad, bioplásticos, biofertilizantes).
- Modelación matemática de la dinámica de bioprocesos.
- Control automático de procesos ambientales.
- Instrumentación para biorreactores.
- Desulfuración de biogás, eliminación de siloxanos, de aminas, de escatoles y olores.
- Nanotecnología aplicada al tratamiento de aguas.
- Servicios especializados de apoyo a empresas.

Los proyectos que se llevan a cabo en la UAJ reciben patrocinio por parte del sector público y privado nacional, así como colaboraciones internacionales. Por citar algunos ejemplos se tiene: el Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (CEMIE-Bio) patrocinado por el Fondo SENER-CONACyT (Clúster Biocombustibles Gaseosos y Clúster Biocombustibles Líquidos para el transporte), Unión Europea, SENER-Banco Interamericano de Desarrollo, UNAM, Arizona State University, CONACyT Ciencia Básica, Gobierno del Estado de Querétaro, DGAPA-UNAM, CYTED, ECOS-Nord. |

Mayor información sobre la Unidad Académica Juriquilla:

Sitio Web: <http://sitios.iingen.unam.mx/LIPATA>

Blog: <http://lipata-iingen.blogspot.mx>

Facebook: Unidad Academica Juriquilla II UNAM

Twitter: @uaj_ii_UNAM

Germán Buitrón Méndez
Jefe de la Unidad Académica Juriquilla

GENERACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES GASEOSOS A PARTIR DE RESIDUOS LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ, IVÁN MORENO ANDRADE, KARLA M. MUÑOZ PÁEZ, GUILLERMO QUIJANO GOVANTES, GLORIA MORENO RODRÍGUEZ Y FRANCISCO J. CERVANTES CARRILLO

Una estrategia para obtener energía de manera sostenible es el uso de residuos como materia prima. Además de evitar problemas ambientales por la mala disposición de éstos, es posible generar biocombustibles como hidrógeno y metano. Una fuente muy interesante para producir biogás son los residuos sólidos y líquidos, como la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) o las aguas residuales. Dentro de estas últimas, las aguas agroindustriales como las originadas por la industria vitivinícola son bastante atractivas por la cantidad de materia orgánica susceptible de ser transformada a metano. La mayor parte de los resultados presentados a continuación se enmarcan en el proyecto Clúster de Biocombustibles Gaseosos perteneciente al CEMIE-Bio en que actualmente estamos participando.

Producción de biogás a partir de efluentes vitivinícolas

La industria de la elaboración del vino es especialmente importante para el Estado de Querétaro por el crecimiento acelerado que ha tenido en los últimos años y que la sitúa en segundo nivel nacional después de Baja California. A nivel mundial se estima que hasta 4 litros de agua son utilizados para la fabricación de cada litro de vino. Cuando esta industria crece, la cantidad de material generado también crece en la proporción antes mencionada. En la Unidad Académica Juriquilla del Instituto de Ingeniería se han estudiado las configuraciones de los procesos anaerobios que maximizan la producción de metano a partir de las aguas residuales de la industria vitivinícola queretana con resultados muy alentadores^[1]. Los efluentes vitivinícolas contienen elevadas concentraciones de materia orgánica (220 g DQO/L) de sólidos totales (154 g/L) y etanol (69 g/L). Una elevada proporción de los sólidos (84%) es materia orgánica



Figura 1. Reactor productor de metano a partir de FORSU

(pulpa y piel de las uvas) que es fácilmente hidrolizable. Debido a las características del agua se propuso el uso de un proceso anaerobio en dos etapas. En la primera etapa se lleva a cabo la hidrólisis del material particulado, acidogénesis y acetogénesis, cuyo principal producto es ácido acético. En la segunda etapa se lleva a cabo la metanogénesis donde se genera biogás conteniendo metano. La gran ventaja de la separación de las etapas es que se puede tratar agua con elevada concentración de materia orgánica sin que el reactor metanogénico se acidifique, principal problema encontrado cuando se aplica este tipo de efluentes en un proceso de una sola etapa. Se han obtenido resultados muy interesantes pues es posible alimentar el sistema con agua residual altamente concentrada (200 g DQO/L) y obtener una reducción de la materia orgánica de 97% con velocidades de producción de metano de 5.5 m³ de metano por m³ de reactor por día.

Producción de biogás a partir de residuos orgánicos

México genera anualmente más de 20 millones de toneladas de FORSU y la mayor parte llega a los rellenos sanitarios, creando problemas debido a su descomposición sin control y producción de lixiviados (los cuales, si no existe un manejo correcto, pueden contaminar el suelo y en caso de infiltrarse, pueden contaminar las aguas subterráneas y los acuíferos). Estos residuos son ricos en materia orgánica fácilmente biodegradable, por lo que se emplean para la producción de biogás.



Figura 2. Reactor productor de hidrógeno a partir de efluentes vitivinícolas a escala piloto

En particular la investigación se ha centrado en los residuos de comida derivados de restaurantes, los cuales tienen el potencial de generar más de 100 L de metano por kilo de residuo tratado. Se han estudiado las condiciones que permitan maximizar la producción de metano por medio de la modificación de los parámetros del proceso, por la combinación de sustratos (co-digestión) y por el uso de estrategias de control automático, encontrando un aumento de hasta 50% en la producción de biogás.

Producción de hidrógeno

La producción de hidrógeno se investiga a nivel mesa de laboratorio o a escala piloto. El hidrógeno se puede emplear para producir electricidad en celdas de combustible o puede ser combinado con el metano para generar la mezcla conocida como hitano (con un mayor poder calorífico que el metano). Por ejemplo, se han escalado las condiciones obtenidas en laboratorio a un reactor piloto de 100 L utilizando efluentes vitivinícolas. La producción de hidrógeno empleando FORSU se ha estudiado en reactores de dos etapas. En la primera etapa se producen ácidos grasos volátiles e hidrógeno. Esta etapa tiene tiempos de residencia cortos y parte de la materia particulada se hidroliza. En la segunda etapa los ácidos grasos volátiles son el sustrato para la producción de metano^[2]. Los resultados muestran que con un sistema de dos etapas se incrementa 25% la cantidad de metano comparado con un proceso de una etapa. Si además se adiciona la energía obtenida por la producción de hidrógeno, el incremento del

rendimiento energético (como kJ por sólidos removidos) es de más de 40%.

Sistemas de electrólisis microbianos

Otra manera para producir hidrógeno y metano es a través de sistemas de electrólisis microbianos^[4]. En estos sistemas se desarrollan bacterias exoelectrogénicas capaces de degradar la materia orgánica y liberar electrones y protones que son aprovechados para la síntesis de hidrógeno y metano. Se utilizaron efluentes acidogénicos provenientes de la FORSU y efluentes vitivinícolas; también se encontró que además de producir hidrógeno y metano existe una remoción de la materia orgánica de 80%^[5,6].

Purificación del biogás

Dependiendo de las características de los residuos orgánicos, el biogás resultante puede contener impurezas que deben eliminarse para utilizarlo en sistemas de aprovechamiento energético, tales como sistemas de cogeneración de energía térmica y eléctrica. Por su concentración y ocurrencia se destacan el H_2S , NH_3 y los siloxanos. En presencia de agua, el H_2S y NH_3 generan las correspondientes especies ácidas (H_2SO_4 y HNO_3), ocasionando problemas de corrosión. Por su parte, los metil siloxanos volátiles (o simplemente siloxanos), son compuestos que contienen enlaces Si-O y radicales orgánicos que ocasionan daños graves a los motores. Su incineración genera óxido de silicio (microcristales de cuarzo) que ocasionan abrasión. En la Unidad Académica Juriquilla se desarrollan tecnologías biológicas eficientes, robustas y compactas para la purificación de biogás^[7,8]. Se han propuesto tecnologías en dos etapas que permiten optimizar la absorción de los contaminantes y su posterior degradación en un biorreactor. Además, se ha desarrollado un marco teórico que permite la estimación del H_2S resultante en biogás producido a partir de efluentes orgánicos ricos en azufre^[9].

Nano-materiales para aumentar la generación de biogás y la degradación de contaminantes

Los procesos anaerobios de tratamiento de aguas residuales tienen la gran ventaja de producir combustibles gaseosos, como el metano y el hidrógeno, que, cuando son bien aprovechados, proveen la energía necesaria para sustentar la operación de

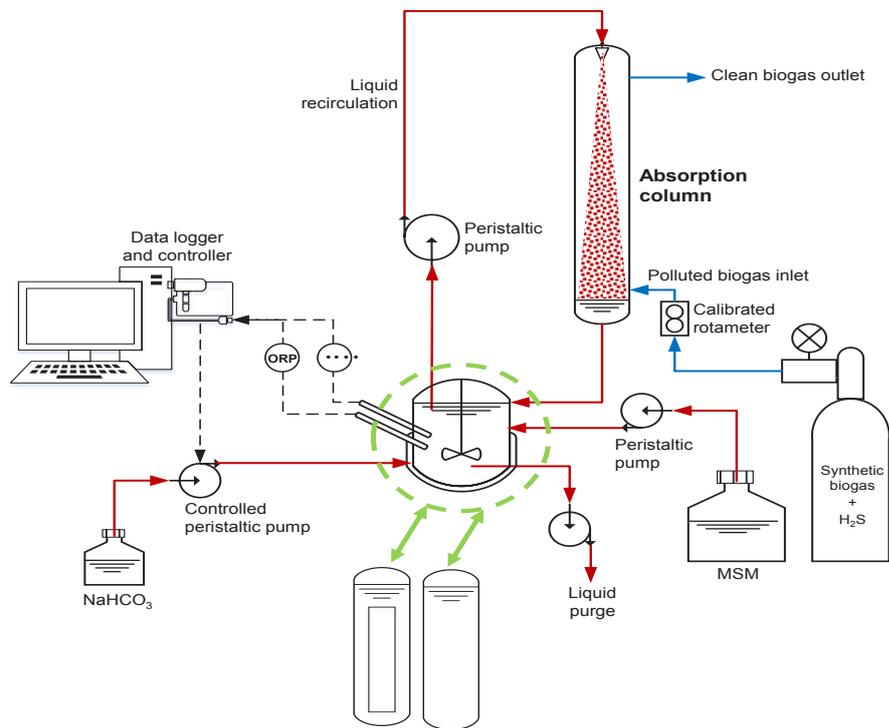


Figura 3. Sistema en dos etapas para el acondicionamiento de biogás. El biorreactor puede implementarse como tanque agitado, *airlift* o columna de burbujeo bajo condiciones aerobias o anóxicas

las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y hasta para cubrir otras necesidades energéticas dentro de las instalaciones donde se generan las aguas residuales. No obstante, la presencia de contaminantes recalcitrantes y tóxicos, frecuentemente encontrados en efluentes industriales, afectan negativamente los sistemas de tratamiento anaerobios, causando con ello una disminución en el grado de depuración de estos efluentes y en la generación de energía. Esta línea de investigación contempla el desarrollo de nano-catalizadores que, al ser aplicados en los sistemas anaerobios, permiten degradar de manera eficiente contaminantes persistentes y tóxicos, como colorantes, compuestos del sector químico y petroquímico, así como fármacos de última generación, logrando con ello, mayor producción de biogás^[10]. También, estos catalizadores, entre los que se encuentran materiales conductores, como el óxido de grafeno y la magnetita, incrementan la transferencia de electrones entre las especies microbianas que integran los consorcios anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), fomentando mayor generación de metano.

Las investigaciones actuales se centran en desarrollar nano-materiales con propiedades conductoras que incrementen la producción de metano y la degradación de contaminantes recalcitrantes de efluentes industriales. Además, actualmente se desarrollan estudios para recuperar estos nano-catalizadores de efluentes industriales, como los generados del sector metalúrgico. También se investigan nuevos procesos microbianos para desarrollar procesos biotecnológicos aplicables en las PTAR. Por ejemplo, la oxidación anaerobia de metano ligada a la reducción de sustancias húmicas, por microorganismos presentes en un sedimento de un humedal^[11]. Este

proceso microbiano extracelular contribuye significativamente a mitigar los efectos del cambio climático propiciado por los gases de efecto invernadero. |

Referencias

- [1] Carrillo-Reyes, J.; Albarrán-Contreras, B. A.; Buitrón, G. (2019). *Appl Biochem Biotechnol* 187(1): 140-151.
- [2] Castillo-Hernandez, A.; Mar-Alvarez, I. y Moreno-Andrade, I. (2015). *Int J Hydrogen Energy* 40 (48): 17239-17245.
- [3] Muñoz-Páez, K. M.; Alvarado-Michi, E. L.; Buitrón, G. y Valdez-Vázquez, I. (2019). *Int J Hydrogen Energy* 44(4): 2289-2297.
- [4] Cardeña, R.; Cercado, B. y Buitrón, G. (2019). In *Biohydrogen* (pp. 159-185). Elsevier.
- [5] Cardeña, R.; Moreno-Andrade, I. y Buitrón, G. (2018). *J Chem Technol Biotechnol* 93(3): 878-886.
- [6] Buitrón, G.; Cardeña, R. y Arcila, J. S. (2019). In *Microbial Electrochemical Technology* (pp. 899-919). Elsevier.
- [7] Quijano, G.; Figueroa-González, I. y Buitrón, G. (2018). *J Chem Technol Biotechnol* 93:3553-3561.
- [8] San-Valero, P.; Peña-Roja, J. M.; Alvarez-Hornos, F. J.; Buitrón, G.; Gabaldón, C. y Quijano, G. (2019). *Fuel* 241:884-891.
- [9] Moreno-Andrade, I.; Moreno, G.; Quijano, G. (2019). *Environ Sci Pollut R*. DOI: 10.1007/s11356-019-04846-3.
- [10] Pat-Espadas, A. M.; Razo-Flores, E.; Rangel-Méndez, J. R.; Ascacio-Valdes, J. A.; Aguilar, C. N. y Cervantes, F. J. (2016). *Appl Microbiol Biotechnol* 100: 1427-1436.
- [11] Valenzuela, E. I.; Avendaño, K. A.; Balagurusamy, N.; Arriaga, S.; Nieto-Delgado, C.; Thalasso, F.; Cervantes, F. J. (2019). *Sci Total Environ* 650: 2674-2684

SISTEMAS MICROALGALES EN PROCESOS AMBIENTALES Y GENERACIÓN DE BIOENERGÍA

GUILLERMO QUIJANO GOVANTES,
GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ, JULIÁN CARRILLO
REYES Y ALEJANDRO VARGAS CASILLAS

1. Tratamiento de aguas residuales

La utilización de las microalgas para el tratamiento de aguas residuales fue planteada hace ya más de cinco décadas en la Universidad de California, sobre todo como un pulimiento del agua tratada para remover nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. En aquéllos primeros sistemas, conocidos como lagunas de oxidación, las microalgas crecían en la superficie de agua mientras que las bacterias anaerobias (que no necesitan oxígeno) se reproducen en el fondo de la laguna. Este tipo de lagunas se ha continuado usando ampliamente en Latinoamérica. En los procesos de tratamiento de aguas por métodos biológicos es de suma importancia separar los microorganismos del agua tratada. Generalmente esto se lleva a cabo en tanques llamados sedimentadores. Cuando en el sistema se utilizan únicamente microalgas la separación es extremadamente complicada porque su tamaño es muy pequeño (micras). Recientemente, se ha estudiado una variante de esta tecnología que presenta ventajas sobre las lagunas tradicionales. Estos nuevos sistemas se denominan lagunas microalgales de alta tasa en los cuales existe una estrecha colaboración entre las microalgas y las bacterias o interacción mutualista microalga-bacteria^[1]. Las microalgas generan oxígeno de manera fotosintética, es decir, a partir de la luz del sol como fuente de energía. El oxígeno generado es entonces utilizado por las bacterias para degradar la materia orgánica y producir bióxido de carbono. A su vez, las microalgas utilizan el bióxido de carbono para reproducirse. Es decir, un microorganismo utiliza los productos generados por el otro y viceversa. Lo interesante es que se obtiene un proceso aerobio de forma natural sin tener que agregar oxígeno vía compresores como se hace en los sistemas tradicionales denominados aerobios. Adicionalmente, el nitrógeno y el fósforo, que también son contaminantes, son

removidos del agua residual por las microalgas que los utilizan para su crecimiento^[2]. Sin embargo, la separación de la biomasa algal generada aún representa un reto tecnológico a superar^[3].

En el grupo de trabajo, con el patrocinio del Fondo de Sustentabilidad Energética de la SENER y la DGAPA-UNAM (PAPIIT) se realizó un proyecto cuyo objetivo fue comprender y evaluar los factores y mecanismos involucrados en la producción de biomasa microalgal cultivada en aguas residuales y con características de fácil separación^[4]. El fin fue obtener agua limpia y biomasa susceptible de ser utilizada en la fabricación de productos de valor agregado como biocombustibles gaseosos. A lo largo de tres años, se llevó a cabo la experimentación en pilotos de laboratorio desde 250 mL hasta 1200 L operados bajo condiciones ambientales. El mayor logro de esta investigación estuvo centrado en entender el mecanismo, posteriormente, desarrollar y aplicar al tratamiento de aguas residuales municipales los agregados y gránulos fototróficos formados por consorcios microalga-bacteria (Fig. 1). El principal interés radica en la fácil separación del medio de cultivo, uno de los mayores problemas, hasta

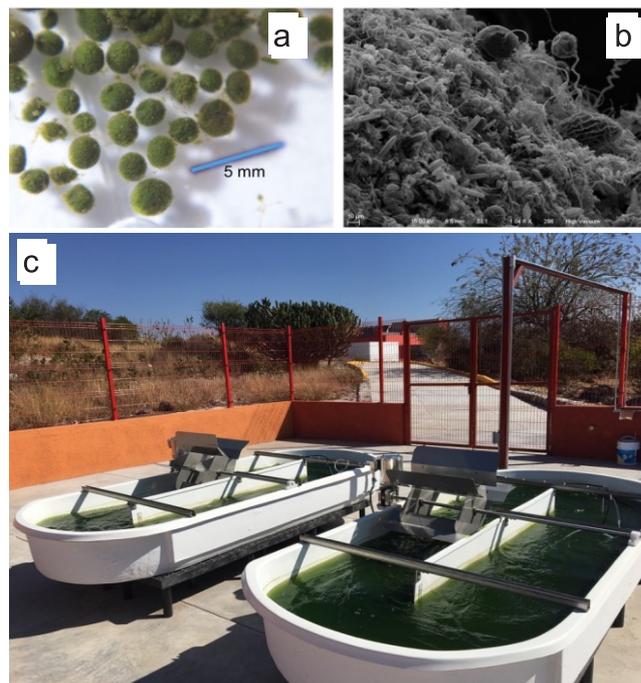


Figura 1. a) Agregados fototróficos de microalgas y bacterias; b) Imágenes de los agregados obtenidas con microscopía electrónica de barrido y c) Reactores algales de alta tasa operados a la intemperie en las instalaciones de la Unidad Académica Juriquilla

ahora en la aplicación de la tecnología algal en el tratamiento de aguas. En el proyecto se evaluaron parámetros operacionales tales como los tiempos de retención hidráulica^[1], de sólidos y de condiciones de irradiancia^[4]. Bajo las mejores condiciones se observó una alta remoción de materia orgánica (>92%), de nitrógeno (>85%) y de fósforo (hasta 30%) del agua residual municipal real utilizada para el estudio. Se constató la formación de flóculos y gránulos con una elevada velocidad de sedimentación (8 m/h) lo que se tradujo en una fácil separación de la biomasa del agua tratada. Por las características del sistema resulta muy apropiado para tratar aguas residuales en comunidades rurales.

2. Acondicionamiento de biogás y caracterización cinética

En la Unidad Académica Juriquilla se investiga el potencial de sistemas microalga-bacteria para la purificación (remoción de contaminantes como el H₂S) y enriquecimiento (remoción de CO₂) de biogás. Estos procesos de acondicionamiento son fundamentales para habilitar el uso del biogás en la obtención de energía térmica y eléctrica en motores de ciclo combinado^[3]. La actividad de las microalgas y su eficiencia fotosintética dependen en gran medida de la irradiancia luminosa suministrada, así como de la concentración de CO₂ disponible en la fase acuosa. Por tanto, la caracterización cinética de los cultivos algales puros y consorcios (microalgas-bacterias) es de gran

relevancia para el diseño, operación y optimización de procesos algales de acondicionamiento de biogás^[5].

La caracterización cinética de cultivos algales se ha realizado tradicionalmente a partir de productividad de biomasa, considerando que ésta contiene aproximadamente 50% de carbono, obteniendo así una estimación del CO₂ fijado en un tiempo determinado. Para este fin, se debe asumir que todo el CO₂ consumido se convierte exclusivamente en biomasa, despreciando la formación de otros metabolitos como las sustancias poliméricas extracelulares. Sin embargo, debido a que el CO₂ es un gas poco soluble en agua, la caracterización cinética debe realizarse sin limitación de transferencia de CO₂ de la fase gaseosa a la líquida para obtener parámetros cinéticos confiables. En este contexto, el grupo de investigación ha desarrollado un marco teórico y experimental para la caracterización cinética de cultivos microalgales puros y consorcios de microalgas y bacterias^[6]. Los resultados obtenidos han demostrado que la caracterización cinética por métodos tradicionales basados en productividad de biomasa subestima ampliamente el consumo específico de CO₂. Asimismo, se ha observado que la irradiancia tiene un impacto cinético cuantificable en parámetros como K_s del modelo de Monod. El grupo de investigación ha propuesto también una metodología estandarizada de última generación basada en la secuenciación masiva Illumina MiSeq de fragmentos 18S y 16S de rRNA para la caracterización de comunidades microalgales

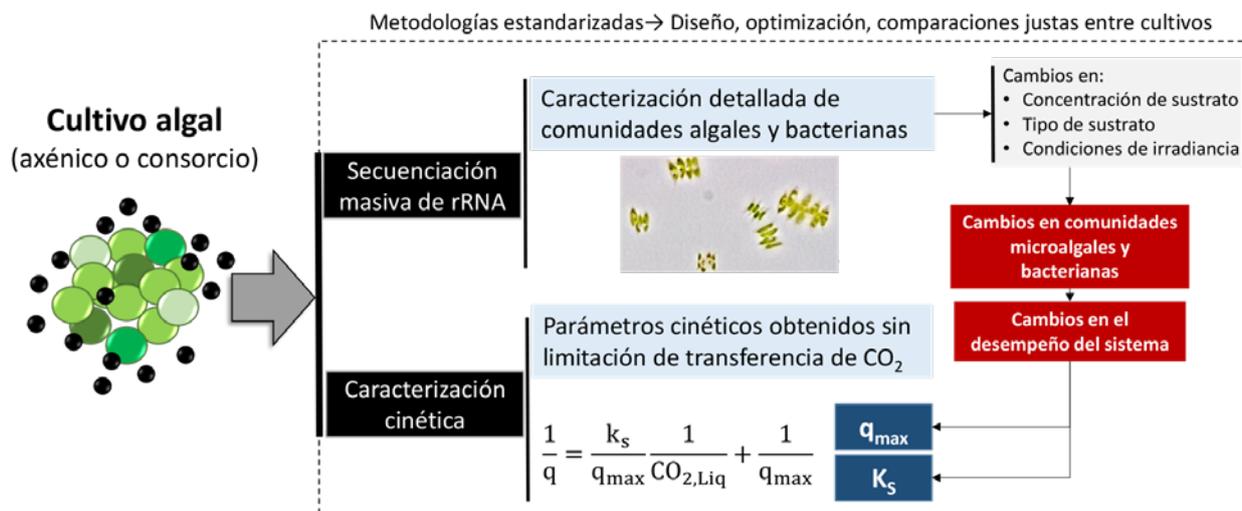


Figura 2. Secuencia de caracterización cinética y microbiológica de cultivos algales

y bacterianas, respectivamente. La figura 2 presenta el flujo de trabajo propuesto por nuestro grupo de investigación para la caracterización de cultivos algales en términos cinéticos y microbiológicos.

3. Producción de bioenergía a partir de biomasa microalgal

Una vez producida la biomasa microalgal, ya sea en sistemas de tratamiento de agua o sistemas de enriquecimiento de biogás, esta biomasa se puede utilizar como sustrato para la producción de biocombustibles gaseosos, metano o hidrógeno. En este sentido, la recuperación de biocombustibles favorece la sustentabilidad energética del sistema de tratamiento de agua donde se producen las microalgas. En nuestro grupo de investigación hemos acoplado el sistema de tratamiento de agua con la digestión anaerobia de las microalgas-bacterias, obteniendo potenciales de generación de hasta 348 L de metano por cada kg de microalga-bacteria^[1]. Otro biocombustible de interés es el hidrógeno, el cual puede ser producido a partir de los carbohidratos contenidos en la biomasa microalgal. Recientemente demostramos que aplicando un tratamiento ácido a biomasa microalgal se recupera hasta 90% de los carbohidratos disponibles, produciendo 45 L de hidrógeno por kg de biomasa, y en una segunda etapa hasta 432 L de metano por kg de biomasa. De esta manera, la producción secuencial de hidrógeno-metano maximiza la potencial recuperación energética de la

biomasa microalgal^[7]. Al acoplar los sistemas de producción de biomasa microalgal a la producción de biocombustibles se tendrá doble beneficio ambiental, el tratamiento de agua y la generación de energía, favoreciendo el desarrollo de sistemas energéticamente autónomo (Fig. 3).

4. Modelado y control de procesos algales

También hemos propuesto modelos matemáticos para explicar la dinámica de los procesos biológicos que emplean consorcios de microalgas y bacterias para el tratamiento de agua residual. Contar con modelos matemáticos es importante en el desarrollo de nuestras investigaciones porque permite simular el proceso en una computadora sin necesidad de hacerlo físicamente en el laboratorio. Además, un modelo matemático es útil para hacer el diseño de los sistemas microalgales desde su dimensionamiento hasta el establecimiento de las variables operacionales. Además, realizar un análisis matemático del modelo permite descubrir propiedades o comportamientos que podrían no manifestarse bajo la operación usual, pero que en caso de falla o bajo otras condiciones de operación podrían aparecer. Finalmente, los modelos matemáticos sirven para proponer estrategias de operación dinámicas basadas en controladores de procesos, mediante la retroalimentación de la información obtenida de señales de variables medidas en línea.

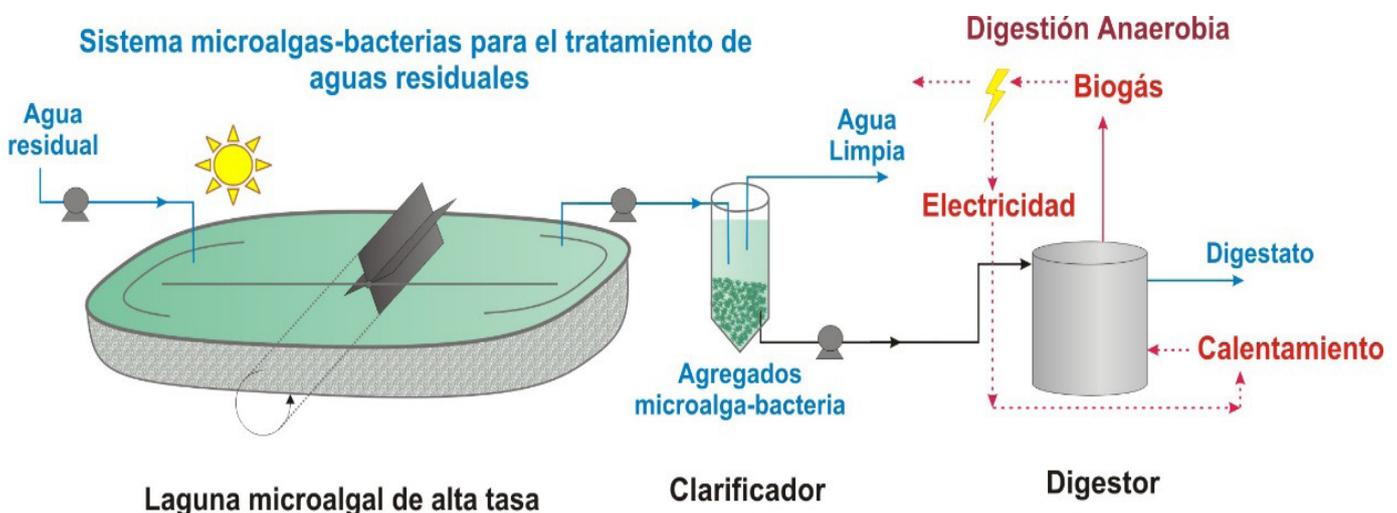


Figura 3. Esquema general de tratamiento de agua residual y generación de biocombustibles gaseosos a partir de la biomasa producida

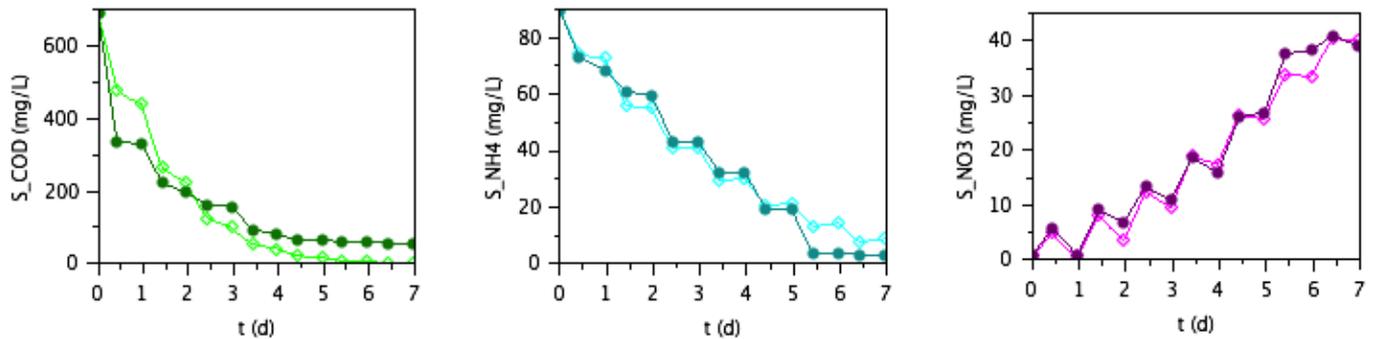


Figura 4. Ajuste de datos del modelo matemático en uno de varios experimentos en lote en el sistema experimental. Las predicciones hechas por el modelo matemático (colores oscuros) corresponden muy bien para las mediciones experimentales de tres variables de proceso (colores claros): demanda química de oxígeno (S_{COD}), nitrógeno de amonio (S_{NH_4}) y nitrógeno de nitrato (S_{NO_3})

Recientemente se ha trabajado en la propuesta de un modelo matemático simplificado para explicar la dinámica de consumo de sustrato, crecimiento de microorganismos y producción, así como de consumo de oxígeno disuelto y bióxido de carbono en un sistema microalgal operado en un reactor de tipo *raceway*. El modelo considera las dos poblaciones de microalgas y bacterias así como la forma en que ambas cambian su dinámica de acuerdo a la presencia o ausencia de luz. El modelo predice muy bien los resultados experimentales y ha servido para hacer simulaciones numéricas del proceso. La figura 4 muestra el desempeño del modelo matemático desarrollado para un reactor algal, el cual describe el comportamiento escalonado esperado debido a la alternancia de ciclos de oscuridad (noche) e iluminación (día). El siguiente paso de nuestras investigaciones es emplear este modelo para proponer estrategias de control retroalimentado para mejorar la eficiencia del proceso.

Referencias

- [1] Arcila, J. S. y Buitrón, G. (2016). *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91:2862-2870.
- [2] Arango, L.; Cuervo, F. M.; González-Sánchez A. y Buitrón, G. (2016). *Water Science and Technology* 73(3):687-696.
- [3] Quijano, G.; Arcila, J. S. y Buitrón, G. (2017). *Biotechnology Advances* 35:772-781.
- [4] Arcila, J. S. y Buitrón, G. (2017). *Algal Research* 27:190-197.
- [5] Buitrón, G.; Figueroa-González, I. y Quijano, G. (2018). *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 93:842-848.
- [6] Coronado-Apodaca, K. G.; Vital-Jácome, M.; Buitrón, G. y Quijano, G. (2019). *Biochemical Engineering Journal* 145:170-176.
- [7] Carrillo-Reyes, J. y Buitrón, G. (2016). *Bioresource Technology* 221:324-330.

REDES SOCIALES DEL IIUNAM

- f
<https://www.facebook.com/InstitutoIngenieríaUNAM>
- t
<https://twitter.com/IIUNAM>
- You Tube
<https://www.youtube.com/user/IINGENUNAM>
- in
<https://www.linkedin.com/company/instituto-de-ingenier-a-de-la-unam>
- i
<https://www.instagram.com/iiunam>
- g+
<https://plus.google.com/102848256908461141106>



INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL AUTOMÁTICO EN BIOPROCESOS

ALEJANDRO VARGAS CASILLAS, JULIÁN CARRILLO
REYES, IVÁN MORENO ANDRADE, JAIME PÉREZ
TREVILLA Y GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ

Un componente importante y distintivo de nuestro grupo es el uso de la instrumentación y el control automático en los procesos biotecnológicos ambientales que estudiamos, desde sistemas de tratamiento de agua residual municipales e industrial, hasta la producción de biocombustibles gaseosos y líquidos a partir de residuos.

El control automático se refiere al uso de varias herramientas de la ingeniería y las matemáticas aplicadas para lograr que un sistema se comporte como lo desea el usuario a pesar de todas las perturbaciones externas e internas a las que está expuesto, logrando esto casi sin intervención humana. Si reflexionamos sobre esta definición, nos daremos cuenta de que el control automático está presente en casi toda la tecnología que nos rodea, desde un automóvil o un avión hasta nuestros teléfonos celulares, y los bioprocesos no son la excepción.

La base del control automático es la retroalimentación. Para explicarla, tomemos como caso de estudio uno de los biorreactores anaerobios que son parte de alguno de los muchos proyectos que se explican en este volumen de la Gaceta. En este biorreactor se produce biogás (metano y CO_2) al mismo tiempo

Figura 1. Sistemas anaerobios experimentales de tamaño relevante, controlados mediante un PLC industrial

que se limpia el agua residual con gran cantidad de materia orgánica contaminante. Quien lleva a cabo estas bio-transformaciones es un consorcio de microorganismos de diversa índole. Sabemos que el proceso se lleva a cabo si damos las condiciones adecuadas de temperatura, pH, mezclado o régimen hidrodinámico, etcétera. Entonces una primera tarea consiste en medir estas variables, para ello, empleamos sensores de temperatura o pH que nos brindan información en línea. Esta información la usa el controlador automático para tomar una decisión y hacer un cambio en alguna otra variable que afecte el comportamiento de la variable que se mide. Por ejemplo, si se detecta que el pH está bajando, la decisión del controlador podría ser activar una bomba que dosifique un poco de alguna sustancia alcalina para subirlo. En este sentido, la información de los sensores retroalimenta al controlador para que éste tome decisiones sobre cómo modificar adecuadamente otras variables del proceso. Cómo se toman estas decisiones es justamente lo que estudian y proponen los ingenieros especialistas en control automático y muchas veces se basan en un modelo matemático del proceso.

El ejemplo del control de pH o de temperatura es un problema ya resuelto para biorreactores, e incluso existen controladores comerciales. Sin embargo, podemos vislumbrar que un biorreactor productor de biogás es mucho más complejo

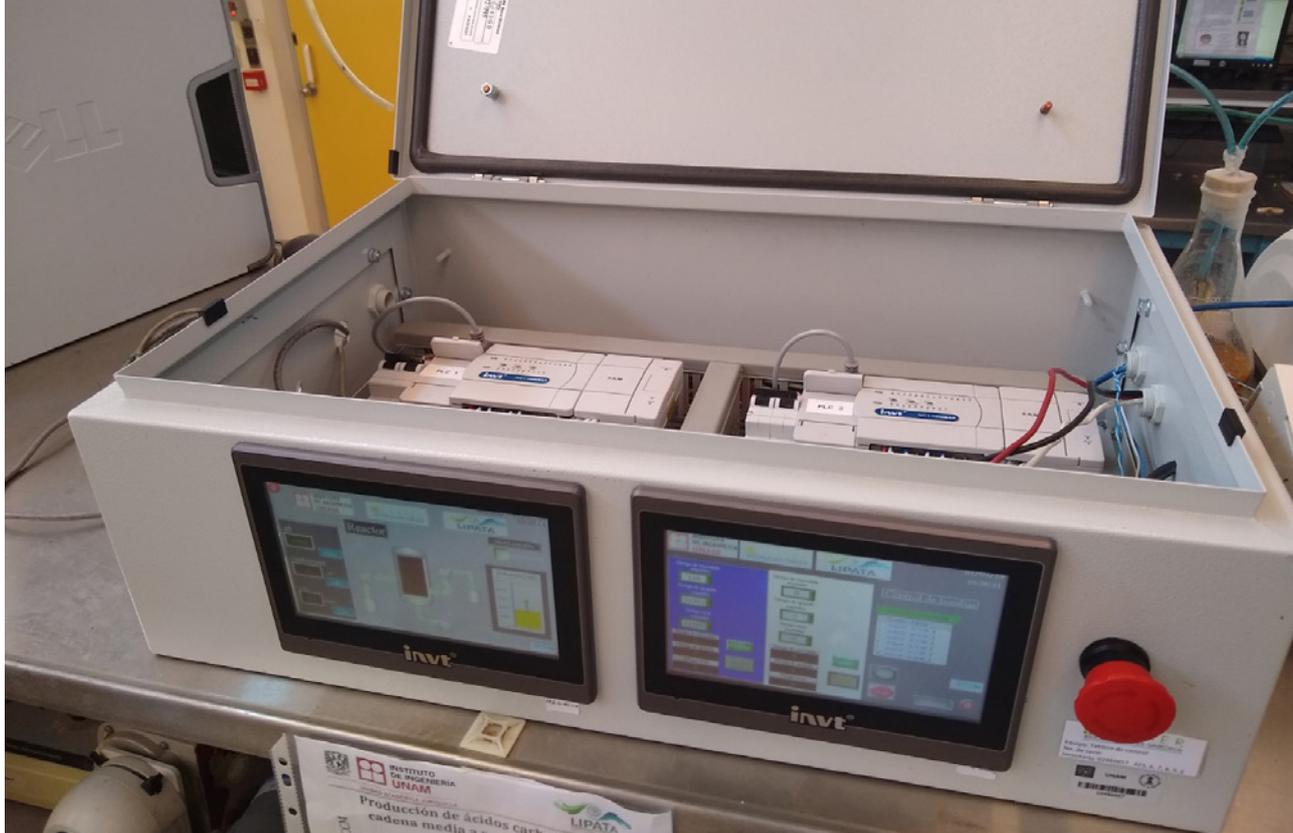


Figura 2. Sistema de adquisición de datos y control de proceso mediante PLC

que eso. Por un lado, las variables que pueden medirse son escasas; por ejemplo, no existen sensores en línea para medir varios metabolitos importantes y mucho menos para determinar concentraciones de los distintos tipos de microorganismos que intervienen. Por otro lado, es un sistema biológico y, si bien existen modelos matemáticos aproximados, todavía hay mucho desconocimiento de los procesos involucrados, lo cual provoca que existan muchas incertidumbres en sus modelos. Aunado a esto, tampoco se cuenta con diversidad de variables que el controlador pueda manipular a discreción; en el caso del biorreactor productor de biogás, una de las pocas es la velocidad de alimentación o la tasa de dilución. Finalmente, existe gran cantidad de perturbaciones a las que puede estar sujeto el sistema, desde cambios en las concentraciones en los flujos de entrada hasta las condiciones ambientales externas.

En el caso del biorreactor productor de biogás, el objetivo del controlador puede incluso ir más allá de sólo regular algunas variables del proceso. Por ejemplo, se busca garantizar la estabilidad del proceso o maximizar su producción o eficiencia de biodegradación, todo esto a pesar de las limitantes anteriormente expuestas: falta de sensores y/o actuadores, incertidumbres de los modelos y múltiples perturbaciones externas.

Desde hace más de 15 años, en la Unidad Académica Juriquilla hemos desarrollado e implementado exitosamente un gran número de estrategias de control automático en diversos bioprocesos para el tratamiento de residuos y la maximización

de productos de valor agregado (anaerobios, aerobios, físico-químicos, etc.). El primer paso es realizar la instrumentación de los procesos. Esto se refiere a contar con la infraestructura necesaria para obtener información de calidad, en línea, de variables de proceso, lo cual incluye la determinación y uso de sensores adecuados, el procesamiento de las señales generadas por éstos, el almacenamiento y despliegue al usuario de los datos obtenidos, y la interacción con un controlador para la manipulación adecuada de otras variables de proceso a través de los actuadores. En años recientes hemos optado por emplear controladores lógicos programables (PLC) y almacenar los datos en un servidor central, en vez de computadoras personales, para dotar de un ambiente de instrumentación más robusto y más fácil de escalar. Los trabajos de instrumentación en nuestro grupo incluso van más allá del uso de los PLC, con la propuesta de sistemas novedosos para la cuantificación de variables para las que no existen sensores comerciales o bien éstos son limitados para nuestros propósitos. Por ejemplo, hemos desarrollado un sensor para medir la alcalinidad y estamos integrando uno para cuantificar la composición del biogás en línea.

Gracias a una buena instrumentación, la información recabada de los sensores de proceso puede usarse en un controlador, pero también para mejorar la propuesta de modelos matemáticos de los bioprocesos estudiados. De esta manera, una línea de investigación del grupo tiene que ver con este

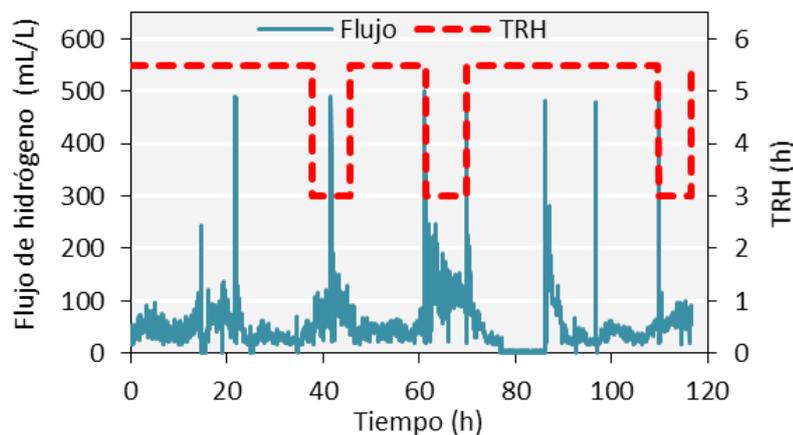
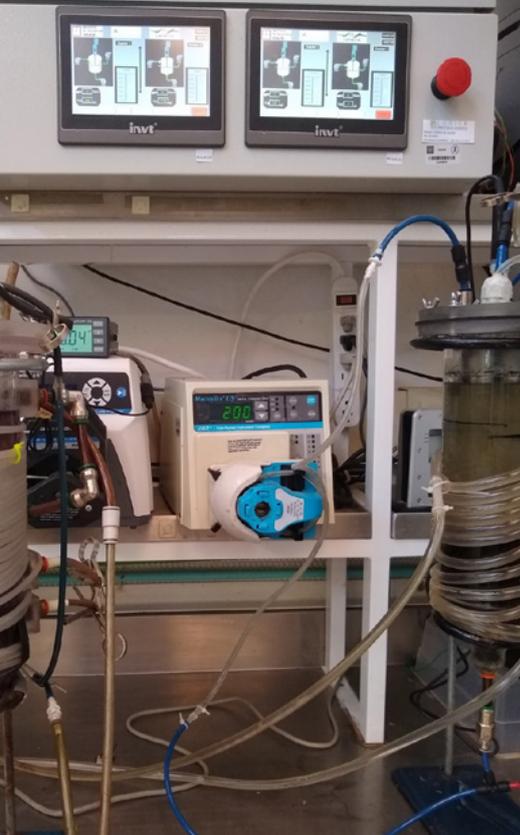


Figura 3. Reactor automatizado para la producción de hidrógeno a partir de efluentes vitivinícolas y gráfica de flujo de producción de hidrógeno ante diferentes choques de carga disminuyendo el tiempo de residencia hidráulico (THH)

objetivo, especialmente para explicar la dinámica de dichos procesos ante cambios en las variables de entrada. Por ejemplo, hemos propuesto modelos para sistemas que emplean consorcios de microalgas y bacterias para el tratamiento de aguas residuales y actualmente lo hacemos para sistemas de digestión anaerobia a partir de varios residuos.

Aplicando las estrategias de modelado, control y automatización, hemos logrado maximizar la producción de hidrógeno y metano mediante variaciones automáticas del flujo de alimentación de un reactor alimentado con glucosa^[1, 2]. El uso de este sistema no sólo tiene la ventaja de encontrar los máximos de producción en menor tiempo comparado con evaluaciones manuales, sino que puede adaptarse a las distintas concentraciones de carga orgánica que comúnmente se encuentran en efluentes reales. En este sentido, estrategias de optimización y automatización con choques de carga se están evaluando con distintos efluentes agroindustriales para la producción de hidrógeno o metano, como efluentes vitivinícolas, hidrolizados de bagazo de agave y suero de leche proveniente de la fabricación de queso^[3]. También estamos trabajando para maximizar la producción de hidrógeno y/o metano en sustratos sólidos como residuos sólidos orgánicos de restaurantes. Estas estrategias se han propuesto con base en análisis matemáticos formales de sus modelos, por tanto, han podido ser extendidas a otro tipo de bioprocesos^[4, 5]. Por ejemplo, otro caso exitoso ha sido en la mejora

de un proceso de producción de polímeros biodegradables a partir de residuos^[6].

La instrumentación y el control automático está presente en casi todos los proyectos de investigación que se realizan en la Unidad Académica Juriquilla. Es una línea de investigación horizontal que ha permitido potenciar los resultados de las otras investigaciones, pero que también tiene resultados propios que nos distinguen y nos pone a la altura de pocos a nivel mundial.

Referencias

- [1] Torres Zúñiga, I.; Villa-Leyva, A.; Vargas, A. y Buitrón, G. (2018). *Chemical Engineering Science*, 190: 48-59.
- [2] Monroy, I.; Bakonyi, P.; Buitrón, G. (2018). *Clean Techn Environ Policy*. 20 (7), 1581-1588.
- [3] Barrios-Pérez, J.; Sepúlveda-Gálvez, A.; Carrillo-Reyes, J.; Buitrón-Méndez, G.; Vargas-Casillas, A. (2018). *IFAC-PapersOnLine* 13: 639-643.
- [4] Vargas, A.; Moreno, J. A. y Vande Wouwer, A. (2015). *Journal of Process Control*, 35: 41-49.
- [5] Vargas, A. y Moreno, J. A. (2015). *IFAC-PapersOnLine* 28(8): 14-19.
- [6] Muñoz, G. y Vargas, A. (2018). *Waste & Biomass Valorization* (en prensa).

FERMENTACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS: PRODUCCIÓN DE BIOALCOHOLES Y ÁCIDOS DE CADENA MEDIA

IDANIA VALDEZ VÁZQUEZ,
GERMÁN BUITRÓN MÉNDEZ,
GLORIA MORENO RODRÍGUEZ
Y JULIÁN CARRILLO REYES

La Unidad Académica Juriquilla (UAJ) participa en el Clúster Bioalcoholes del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía, financiado por el Fondo de Sustentabilidad Energética de la SENER-CONACYT. Este artículo describe las actividades realizadas en diferentes áreas.

1. Fuentes de biomasa

Biomasa se refiere a todo material proveniente de microorganismos, plantas y animales. En México los residuos forestales, agrícolas y agroindustriales están entre las fuentes más abundantes de biomasa.¹ La UAJ ha realizado trabajo en campo para determinar la disponibilidad y composición de biomasa de origen agrícola y agroindustrial, generada de los cultivos de maíz, trigo, caña de azúcar y agave azul. Estos cuatro cultivos en conjunto producen poco más de 43 millones de toneladas de residuos anuales (Fig. 1). La distribución por tipo de cultivo es 50% de residuos de maíz (rastros y olotes), 37% de residuos de caña de azúcar (bagazo), 9% de rastros de trigo, y 1% de bagazo de agave generado de la industria tequilera. Estos residuos tienen una composición de hasta 80% de celulosa y hemicelulosa, por lo que se clasifican como biomasa lignocelulósica que pueden ser aprovechados para producir bioalcoholes de segunda generación (2G). El trabajo de la Unidad en conjunto con otras Instituciones ha permitido determinar que es factible instalar al menos 34 plantas industriales denominadas biorrefinerías en 16 estados de la República para producir bioetanol 2G.²



Figura 1. Producción de bioetanol 2G a partir de residuos agrícolas en México

2. Pretratamiento biológico de la biomasa lignocelulósica

Una limitante en el uso de biomasa lignocelulósica para la producción de bioalcoholes es su naturaleza recalcitrante. Para solventar esto, se debe aplicar un pretratamiento a la biomasa con el fin de mejorar la disponibilidad de los azúcares para los microorganismos que producen el bioalcohol. El grupo de investigación de la Unidad desarrolla esquemas de biorrefinería basados en pretratamientos biológicos (Fig. 2). Los pretratamientos se basan en consorcios microbianos que tienen la capacidad de hidrolizar la hemicelulosa y celulosa en azúcares simples, con la producción simultánea de hidrógeno y ácidos grasos volátiles (AGV).³ Análisis detallados de las comunidades hidrolíticas muestran que bacterias del género *Clostridium* y *Lactobacillus*, tienen un rol importante en el pretratamiento de la biomasa, ya que presentan actividad hidrolítica y fermentativa. Además, se están explorando el uso de otros consorcios microbianos con alta capacidad hidrolítica, como las bacterias presentes en el rumen de las vacas,⁴ las cuales han demostrado tener capacidad de hidrolizar distintas biomásas lignocelulósicas, como el bagazo de agave azul y de caña de azúcar.

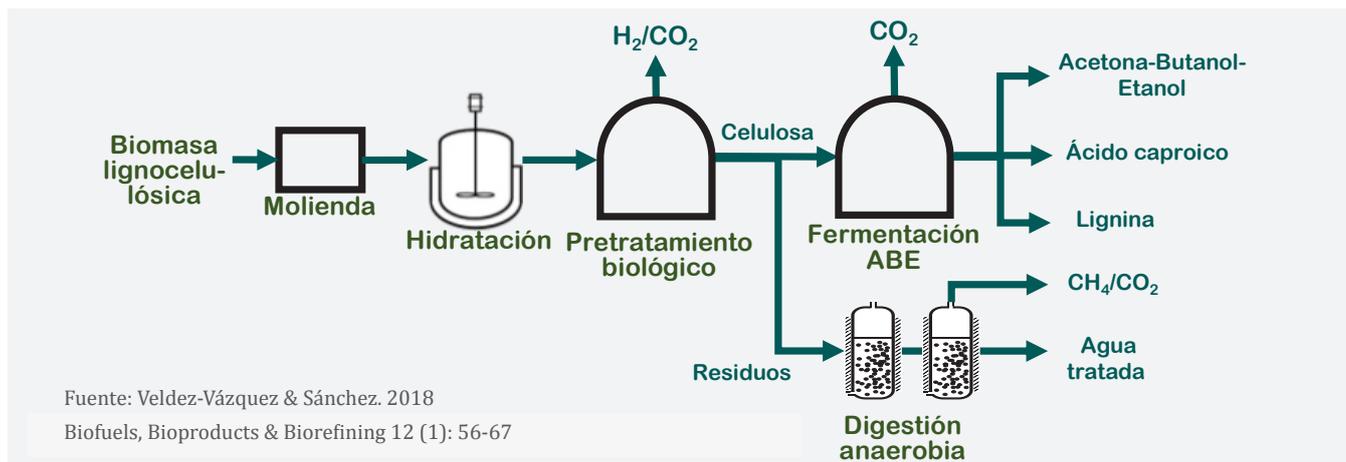


Figura 2. Esquema de biorrefinería para producción de biocombustibles y productos de valor agregado a partir de residuos agrícolas

3. Producción de biobutanol a través de fermentación acetobutílica

Una vez realizado el pretratamiento biológico, la biomasa lignocelulósica queda enriquecida con la celulosa que no fue consumida.⁵ Esta celulosa puede ser convertida en biobutanol en una segunda etapa. El biobutanol es un alcohol de cuatro carbonos que tiene mejores propiedades que el bioetanol para ser utilizado como biocarburante en el Sector Transporte. El biobutanol se produce bioquímicamente con bacterias del género *Clostridium* a través de la fermentación acetobutílica produciendo una mezcla de acetona-butanol-etanol (Fig. 2). Los estudios que se llevan a cabo en la Unidad Juriquilla tienen como objetivo producir solventes ABE utilizando consorcios microbianos donde prevalezcan las especies de *Clostridium*. Los estudios tecno-económicos indican que el uso de consorcios microbianos en la producción de biobutanol tendría menores costos de producción y mayor eficiencia energética que al utilizar cultivos puros.⁶ Las estrategias que se siguen en el laboratorio para lograr la producción de biobutanol a partir de residuos agrícolas contempla aclimatación de los consorcios a condiciones que favorezcan la fermentación acetobutílica, bioaumentación con especies de *Clostridium*, y utilización de hidrolizados ricos en azúcares.

4. Fermentación de ácidos de cadena media

Además de la producción de solventes ABE, también se ha detectado la acumulación de ácido n-caproico y ácido caprílico (Fig. 2), productos de alto valor agregado si se considera que

el precio del ácido n-caproico es 10 veces mayor que para los bioalcoholes. En la industria farmacéutica el ácido caproico se utiliza como agente microbiano, aditivo en la alimentación animal y como reactivo en la industria química, entre otros. En cuanto al ácido caprílico se utiliza como agente microbiano en la agricultura⁷, como precursor renovable para diésel y combustible de aviación⁸.

Se sabe que la producción del ácido n-caproico se lleva a cabo por *Clostridium kluyveri*. El proceso se conoce como elongación de la cadena y se lleva a cabo a través de la vía de la β -oxidación inversa a partir de los ácidos carboxílicos de cadena corta como el ácido acético y/o n-butírico. La producción de los ácidos caproico y caprílico también se presenta en consorcios microbianos presentes en digestores anaerobios donde el principal producto es metano, bajo condiciones especiales, por ejemplo, cuando se agrega un compuesto reducido como el etanol, e inhibiendo la metanogénesis (reduciendo el valor del pH), es factible producir ácido caproico o ácido caprílico a partir de acetato o butirato. Actualmente en la Unidad Juriquilla, se conduce un proyecto (DGAPA-PAPIIT) enfocado a la producción de ácido caproico y caprílico a partir de los efluentes de la industria vitivinícola acoplada al proceso de la digestión anaerobia. Los residuos vitivinícolas presentan una elevada concentración de etanol (hasta 120 g/L) y una elevada demanda química de oxígeno (250 g/L), por lo que es un residuo idóneo para implementar una plataforma para la producción de ácidos carboxílicos como los ácidos caproico y caprílico que podrían contribuir a valorizar los residuos de la industria vitivinícola para producir productos de alto valor agregado que pueden contribuir a la economía de la biorrefinería.

5. Tratamiento de residuos de una biorrefinería etanol 2G

El proceso de producción de bioalcoholes genera residuos tanto líquidos como sólidos, los cuales necesitan tratamiento antes de ser dispuestos. Una alternativa interesante para tratar estos efluentes es la utilización de un proceso anaerobio en dos etapas (Fig. 2). En la primera etapa, llamada acidogénica, las bacterias transforman la materia orgánica en ácidos grasos volátiles (AGV) como el acético, propiónico y butírico. En la segunda etapa, o metanogénica⁹, estos AGV son transformados por arqueas en biogás (metano y bióxido de carbono). Al separar el proceso en dos etapas, se aseguran las condiciones óptimas para cada grupo de microorganismos responsable del proceso. El objetivo de la investigación es evaluar la producción de biogás a partir de residuos generados de una biorrefinería 2G en un proceso anaerobio en dos etapas (Fig. 3).

La caracterización de los residuos de biorrefinería muestra que contienen una elevada concentración de carbohidratos (28.4 ± 0.6 g/kg) y carbono orgánico (32 ± 2 g/kg). Cuando estos residuos alimentan a la primera etapa acidogénica, la mayor parte de la materia orgánica se transforma en AGV, donde el acetato representa alrededor de 40%. En la segunda etapa del proceso, los AGV se transforman en metano con un rendimiento de 95 mLCH₄/gDQO, utilizando un tiempo de retención hidráulica de tres días. Los resultados sugieren que existe una posible inhibición de los microorganismos metanogénicos por la presencia de compuestos inhibitorios generados en el proceso de biorrefinería.¹⁰ La concentración de metano en el biogás lograda es de 67% con una remoción de materia orgánica de hasta 60%.



Conclusiones y perspectivas

El trabajo en conjunto de la Unidad Académica Juriquilla ha permitido establecer procesos novedosos para la conversión de residuos agrícolas y agroindustriales en bioalcoholes carburantes para el Sector Transporte, pero también otros productos con mayor valor agregado que pueden ser de interés para distintos sectores productivos. |

Referencias

1. Valdez-Vázquez, I.; Acevedo-Benítez, J. A. y Hernández-Santiago, C. (2010). *Renew Sustain Energy Rev* 14(7):2147-2153.
2. Hernández, C.; Escamilla-Alvarado, C.; Sánchez, A.; Alarcón, E.; Ziarelli, F.; Musule, R. y Valdez-Vázquez, I. (2019). *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*.
3. Valdez-Vázquez, I.; Morales, A. L. y Escalante, A. E. (2017). *Microbial Biotechnol* 10:1569-1580.
4. Carrillo-Reyes, J.; Barragán-Trinidad, M. y Buitrón, G. (2016). *Algal Research*, 18:341-351.
5. Valdez-Vázquez, I.; Pérez-Rangel, M.; Tapia, A.; Buitrón, G.; Molina, C. E.; Hernández, G. y Amaya-Delgado, L. (2015). *Fuel* 159:214-222.
6. Valdez-Vázquez, I. y Sanchez, A. (2018). *Biofuel Bioprod Bior* 12(1):56-67.
7. Kenealy, W. R.; Cao, Y. y Weimer, J. (1995). *Appl Microbiol Biotechnol* 44:507-513.
8. Harvey, B. G. y Meylemans, H. A. (2014). *Green Chem* 16:770-776.
9. Figueroa-González, I.; Moreno, G.; Carrillo-Reyes, J.; Sánchez, A.; Quijano, G. y Buitrón, G. (2018). *Biotechnology Letters*, 40(3): 569-575.
10. Muñoz-Páez, K. M.; Alvarado-Michi, E. L.; Buitrón, G y Valdez-Vázquez, I. (2019). *Int J Hydrogen Energy* 44(4): 2289-2297.



Figura 3. Reactores para el tratamiento en dos etapas de residuos de biorrefinería

SERGIO M. ALCOCER RECIBE LA MEDALLA CHARLES S. WHITNEY

Felicidades al Dr. Sergio M. Alcocer Martínez de Castro, quien recibió la Medalla Charles S. Whitney que otorga el Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés). Sergio Alcocer se hizo acreedor a esta medalla por sus contribuciones sobresalientes al incremento de la seguridad sísmica de edificios en países emergentes, mediante el desarrollo de reglamentos y prácticas de diseño sismo-resistentes, así como por su liderazgo para desarrollar y mejorar políticas públicas en la materia.

La medalla Charles S. Whitney se estableció en 1961 como un reconocimiento al desarrollo ingenieril que contribuye al avance de las ciencias o artes sobre el diseño de concreto y la construcción. Charles S. Whitney fue un ingeniero civil estadounidense innovador que contribuyó al desarrollo de la teoría de diseño de elementos de concreto que actualmente se usa en el mundo.

La entrega del galardón se hizo el domingo 24 de marzo, durante la Convención Anual de Primavera del Instituto Americano del Concreto que tuvo lugar en Quebec, Canadá. |

RECONOCIMIENTO SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ 2019

Nuestras más sinceras felicitaciones a la Dra. Rosa María Flores Serrano por haber recibido el Reconocimiento Sor Juana Inés de la Cruz 2019 que otorga la UNAM a profesoras, investigadoras y técnicas académicas que han contribuido al desarrollo de la máxima casa de estudios a través de la docencia, la investigación y la difusión de la cultura.

Esta distinción se instituyó a partir de 2003 y se eligió el nombre de Sor Juana por ser una mujer con una capacidad intelectual excepcional que luchó por la defensa de los derechos de su género y una sed insaciable de aprendizaje.

La Dra. Flores Serrano forma parte de las 80 mujeres que fueron distinguidas por su desempeño académico el pasado 8 de marzo y que recibieron de manos del rector de la universidad Dr. Enrique Graue Wiechers el mencionado reconocimiento en el teatro Juan Ruiz de Alarcón. |

RAMÓN GUTIÉRREZ CASTREJÓN E IRVING RENDÓN SALGADO GANADORES DEL PROGRAMA AL FOMENTO DEL PATENTAMIENTO E INNOVACIÓN (PROFOPI) 2019

Los doctores Gutiérrez y Rendón obtuvieron el 5º lugar en el séptimo certamen PROFOPI 2019 con el invento *Compuerta lógica fotónica reconfigurable*.

El desarrollo tecnológico premiado, tiene aplicación en el campo es en sistemas de comunicaciones ópticos de alta velocidad, donde puede realizar labores de procesamiento de datos sin recurrir al uso de transductores óptico-electrónico-ópticos. Su principal ventaja competitiva es que opera a tasas de procesamiento más elevadas (cientos de Gb/s) que las ofrecidas por la tecnología electrónica, y puede realizar múltiples operaciones lógicas sin la necesidad de modificar su estructura interna. El invento es de gran interés en el desarrollo de circuitos fotónicos integrados, ya que puede emplearse en áreas dedicadas al monitoreo del medio ambiente, en la creación de biosensores, en la industria de la aviación y la automotriz, entre otras.

PROFOPI, es un proyecto anual de la UNAM que promueve la cultura de la protección de la propiedad intelectual entre la comunidad universitaria. |

¡Muchas felicidades a los ganadores!



PUERTAS ABIERTAS 2019

Este año se llevó a cabo la X edición de Puertas Abiertas en el Instituto de Ingeniería, donde personal académico de este centro de investigación recibió el miércoles 6 de marzo a público interesado en conocer las capacidades experimentales y el trabajo que ahí se desarrolla. El objetivo del IIUNAM es realizar investigación para dar solución a problemas nacionales.

Personal académico del Instituto respondió las dudas de más de 700 asistentes entre los que se encontraron estudiantes de diversas universidades e instituciones de educación superior, jóvenes de bachillerato y de secundaria e incluso niños de primaria quienes quedaron sorprendidos con el trabajo y el equipo con que cuenta esta dependencia.

Para facilitar la visita se organizaron cinco rutas, tomando en cuenta la ubicación de cada uno de los laboratorios, en el turno matutino de 10:00 a 14:00 horas y en el vespertino de 16:00 a 18:00 horas; con el apoyo de varios becarios se pudo conducir a los interesados a los lugares que deseaban visitar.

Este evento es una puerta que se abre para fomentar la participación de estudiantes en proyectos de investigación con el fin de elaborar su tesis de licenciatura, maestría o doctorado, solicitar una estancia académica o cubrir el servicio social y divulgar los temas de ingeniería con el público no especializado. Este año, en Ciudad Universitaria, participaron 21 laboratorios: Estructuras, Mecánica de Suelos, Instrumentación Sísmica, Centro de Registro Sísmico, Mesa Vibradora, Hidráulica, Diagnóstico de Fallas, Hidromecánica, Ingeniería Ambiental, Ingeniería Lingüística, Canal de Oleaje, Vías Terrestres, Electrónica, Electromecánica, Telecomunicaciones, Electrónica de Potencia, Control de Vibraciones, Dinámica de Fluidos Computacional, Geoinformática, Transporte y Sistemas Territoriales. De manera simultánea también se llevó a cabo Puertas Abiertas en la sede de Juriquilla, Querétaro.

Parte importante de las actividades del Instituto de Ingeniería es el Programa de visitas, con previa cita se reciben grupos escolares de todos los niveles académicos que tienen la oportunidad de conocer el trabajo que se desarrolla en dos de los laboratorios, que deberá elegir el profesor del grupo correspondiente.



Celebración del Día mundial del agua

El 22 de marzo, en el Cárcamo de Dolores, ubicado en el Bosque de Chapultepec, se llevó a cabo la celebración del Día Mundial del Agua en la que participó personal del Instituto de Ingeniería. Durante la ceremonia la Dra. Claudia Sheinbaum dijo: Llevamos mucho tiempo diagnosticando el problema del agua en la Ciudad de México (CDMX), hay muchos académicos, científicos, conocedores, expertos y urbanistas que llevan años hablando de cuánto es el consumo para la zona metropolitana y de esta Ciudad. El recurso viene principalmente de los acuíferos del Valle de México, otra parte muy importante viene del sistema Lerma Cutzamala.

Sabemos que la sobreexplotación de nuestros acuíferos está provocando desde hace decenas de años el hundimiento de la CDMX. Hemos hablado desde hace décadas del tema de las fugas, se han invertido muchísimos recursos en la sustitución de redes, y a la fecha después de 30 años no tenemos ningún dato que nos pueda decir que logramos reducirlas. Ya no queremos seguir igual, por eso nosotros hablamos de innovación en el Gobierno, no solamente la digitalización y el uso de nuevas tecnologías, tenemos que cambiar la manera en que se ha venido atendiendo el problema. Lo primero es un vínculo muy importante con la academia, particularmente con el grupo de ingeniería hidráulica del Instituto de Ingeniería que lleva muchos años trabajando en el tema de la sectorización y la mejora de la distribución del agua potable, pero además se han incluido otros temas como el de la macro medición del sistema.

Para atender el asunto del agua, nos vemos todos los días con Rafael Carmona, quien viene del IIUNAM y que aprovecho para darle un gran aplauso por el excelente trabajo que está haciendo. A diario revisamos las presiones, los caudales y determinamos qué medidas hay que tomar. Es un trabajo de equipo y la nueva administración a cargo de Rafael se ha propuesto utilizar las mediciones que se hacen para atender de mejor manera la distribución de agua potable, así como la reducción de fugas en la Ciudad de México.

Llevamos prácticamente un año trabajando con este equipo especializado del Instituto de Ingeniería al que se han sumado muchos otros expertos y que es la base para que hoy tengamos proyectos que iniciamos desde hace tiempo. Agradezco

a la Fundación Carlos Slim que donó 20 millones de pesos para proyectos ejecutivos antes de que entráramos al gobierno. Hoy tenemos proyectos de macro mediciones, de sectorización que servirán para mejorar la distribución y que permitirán en 2020, afrontar los problemas particularmente de la época de secas.

El día de hoy estamos inaugurando 75 nuevas cuadrillas que sumadas a las 75 cuadrillas que ya existían en el SACMEX van a estar recorriendo la Ciudad en coordinación con las Alcaldías para poder atender en el menor tiempo posible las fugas de agua de la Ciudad de México.

Mi programa de trabajo en el tema del agua es ambicioso, incluye la protección de los bosques, rescate y saneamiento de los cuerpos de agua vivos que todavía quedan en la Ciudad desde las lagunas de regulación, las presas del poniente, hasta los ríos vivos como el Río Magdalena que hoy están en la Ciudad, la meta es que todos los habitantes de la Ciudad tengan agua; además, queremos disminuir en 2.5m³/s la sobreexplotación, ese es el objetivo en los próximos seis años, estoy segura que con el equipo de Rafael Carmona, director del SACMEX junto con Blanca Jiménez en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la coordinación que tenemos con el Estado de México lo vamos a lograr –concluyó–.

Posteriormente, Alfonso Suárez del Real habló sobre el agua a través de la historia de la Ciudad de México; Ramón Domínguez expuso Aspectos Hidrológicos de la Cuenca del Valle de México, Gabriel Auvinet explicó la Explotación del acuífero y hundimiento regional; finalmente, Marcos Mazari habló sobre la Recuperación de las cañadas en la zona poniente de la Ciudad de México.



MX 273556 B

Proceso para operar un biorreactor aerobio

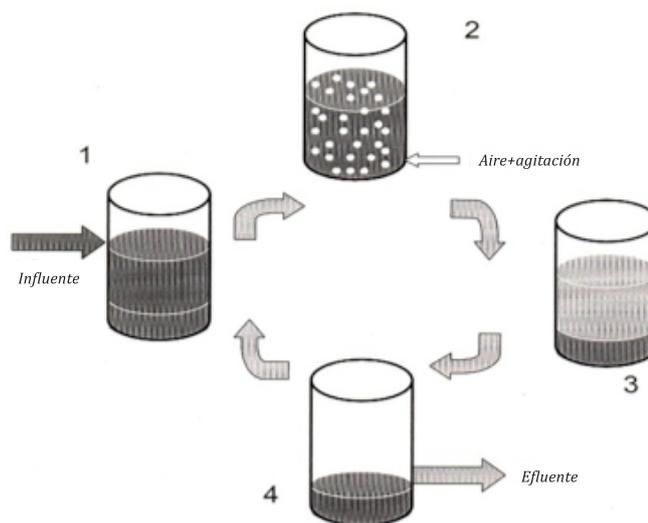
Inventores:

Jaime Alberto Moreno Pérez,
Germán Buitrón Méndez
y José Betancurt Betancurt

PATENTES DEL IUNAM

La patente **MX 273556 B Proceso para operar un biorreactor aerobio**, fue otorgada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) el 22 de enero de 2010.

Esta invención trata sobre: Un proceso para operar un biorreactor aerobio discontinuo secuencial SBR (Sequencing Batch Reactor) de manera económica, óptima y segura. Se dedica especial atención al tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos tóxicos (sustratos) que resultan ser inhibidores para microorganismos del reactor. El proceso está orientado para operar el reactor biológico de una manera eficiente y segura. Para ello, se mantiene la velocidad de degradación de los contaminantes lo más alta posible y el reactor opera en condiciones de alta eficiencia. El proceso de tratamiento transcurre con seguridad y en un tiempo de reacción cercano al mínimo posible. Para lograrlo, se mide el oxígeno disuelto en el agua del reactor y, mediante un control automático por eventos, se lleva al proceso a su punto óptimo de operación. La gran ventaja es que no es necesario medir la concentración del tóxico ni en el interior del reactor ni en el flujo de entrada del agua contaminada. Para logra sostener la concentración del sustrato en los niveles deseados, se utiliza una fórmula que estima un valor proporcional a la velocidad de reacción en función del oxígeno disuelto, el cual es fácil de medir. Dicha fórmula se deduce del medio matemático del biorreactor. |



MX 359564

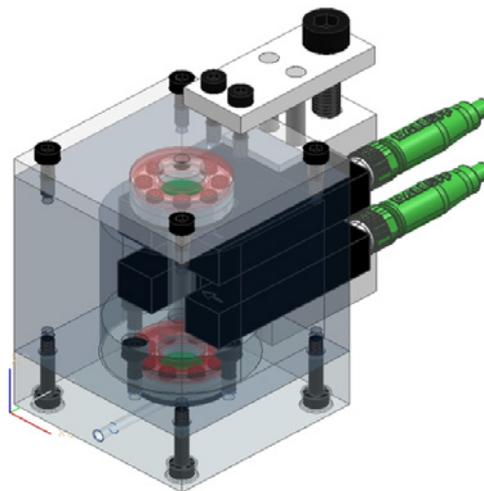
Dispositivo para medir flujos de gases de forma discontinua

Inventores:

Francisco Javier Naranjo Chávez
y Alejandro Vargas Casillas

La patente **MX 359564 Dispositivo para medir flujos de gases de forma discontinua**, fue otorgada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) el 27 de septiembre de 2018.

Esta invención se refiere a un dispositivo de medición de bajos flujos de gas, para monitorear el flujo de biogás generado en reactores de tratamiento de aguas residuales. El rango de flujos que el dispositivo mide es de 25 a 30000 microlitros por minuto. Esta invención se caracteriza por tener un par de membranas para evitar la solubilidad del biogás en el líquido desplazable y la evaporación del mismo líquido, haciendo que el dispositivo no tenga que calibrarse frecuentemente. Los largos periodos de funcionamiento del dispositivo es una de sus mejores características. El dispositivo se caracteriza por poseer un líquido desplazable suficientemente denso como para regresar la membrana a su forma inicial sin necesidad de accesorios extras. En comparación con inventos desarrollados anteriormente su diseño es compacto y con mejoras significativas en su funcionamiento. La oportunidad que ofrece el diseño del dispositivo de escalarse a tamaños mayores hace evidente su versatilidad. El dispositivo puede usarse para medir la producción de hidrógeno en una celda electroquímica de 200 ml de volumen efectivo o en un reactor de hasta 5 litros generador de biogás, principalmente metano, dióxido de carbono e hidrógeno sin perder producto por solubilidad o permeabilidad, con precisión y repetitividad.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**

UNIDAD
DE PATENTES
Y TRANSFERENCIA
DE TECNOLOGÍA

Informes sobre licenciamiento

MGT. Rodrigo Arturo Cárdenas y Espinosa

RCardenasE@iingen.unam.mx

M en I. Margarita Moctezuma Riubí

mmr@pumas.ii.unam.mx



CENTRO REGIONAL DE SEGURIDAD HÍDRICA (CERSHI)

El Centro Regional de Seguridad Hídrica dió inicio a sus actividades este 10 de abril, con el fin de promover, principalmente, el intercambio de conocimientos y la cooperación científica en la región para asegurar que la población tenga la cantidad de agua apropiada y de calidad aceptable.

Durante la ceremonia el Rector Enrique Graue afirmó que la seguridad hídrica es un tema de seguridad nacional, de paz regional y de sostenibilidad global. Resaltó que es un gran reto lograr que millones de personas en el mundo accedan al agua, y para ello se requiere investigar, formar recursos humanos y generar políticas públicas para dar solución a esta problemática.

Es interés de la Universidad Nacional apoyar proyectos de esta naturaleza y con la participación de estos universitarios estoy seguro que este Centro tiene un futuro azul y una esperanza dorada -afirmó-.

Al tomar la palabra la Dra. Claudia Sheinbaum, jefa de gobierno de la CDMX, comentó que desafortunadamente, la CDMX ha sido un mal ejemplo pues tiene 40% de fugas de agua, una sobreexplotación del acuífero que genera hundimientos diferenciales y la contaminación del líquido. Sin embargo, -continúo-, estoy segura de que este Centro tiene mucho que aportar tanto a nuestra ciudad como al país en general y que todos uniremos nuestros esfuerzos para alcanzar las metas propuestas.

Por su parte, el director del Instituto de Ingeniería, Luis Álvarez Icaza, indicó que este Centro es el resultado de varios años de esfuerzos. El tema del agua ha sido fundamental para el Instituto de Ingeniería. Me da mucho gusto que a partir del día de hoy el CERSHI inicié sus actividades para beneficio de la sociedad.

Para Adrián Pedrozo, director del IMTA, estar en el nacimiento de este Centro es un honor. A través del Centro Regional de Seguridad Hídrica se suman las capacidades técnicas más importantes del agua a nivel nacional y se ponen al servicio de la región. La comunidad universitaria es un actor fundamental en este proyecto.

Frédéric Vacherón, representante de la Oficina de la UNESCO en México, agregó que el agua es un recurso clave para la salud y la seguridad humana, tanto que se estima que la mitad de la población mundial vivirá en zonas con alto estrés hídrico en 2030.

Por este motivo la UNESCO apoya los proyectos que están relacionados con la cultura del agua, el cuidado y el mejoramiento de su gestión. Este tema es responsabilidad de todos nosotros. Auguró larga vida al Centro Regional de Seguridad Hídrica. |



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



CERSHI
Centro Regional de Seguridad Hídrica
bajo los auspicios de la UNESCO



FORO EDIFICACIONES SUSTENTABLES Y LA NORMALIZACIÓN

El pasado jueves 11 de abril se dieron cita académicos, ingenieros y arquitectos interesados en asistir al Foro organizado por el Instituto de Ingeniería, Alianza Fiidem, ONNCCE, Alener (empresas ahorradoras de energía) y el Casedi (calidad y sustentabilidad) con el fin de conocer las mejores prácticas que se desarrollan en la edificación sustentable y resiliente, pero basadas en la importancia de la normalización, es decir, resaltar que no solamente hay que construir sino reconocer que es necesario un sistema normativo que debe cumplirse para demostrar la calidad de estas edificaciones, afirma la Arq. Evangelina Hirata, Directora General del ONNCCE.

Con la implementación normativa en la construcción, la certificación nos garantiza los aspectos técnicos con los que cumple el producto, además de que certificar es un modo de demostrar la evaluación de la conformidad de una norma.

El día de hoy estamos enfocándonos a las edificaciones sustentables, o sea, a aquellas donde se reduce el costo de insumos, donde éstos reducen el impacto ambiental. La idea es

hacer eficientes todos los recursos: los naturales, los transformados como la energía, el agua, incluyendo los humanos, económicos y materiales, pero siempre sin perder el confort.

Un edificio debe ser eficiente en el uso y en la habitabilidad.

Hay mucho interés por parte de los constructores en este tema porque los profesionales quieren saber qué avances hay en torno a la construcción, qué se requiere para ser competitivos, cuáles son las tendencias de las edificaciones y qué está haciendo el gobierno, hay muchas aristas que resaltan la importancia de foros como éste.

El evento estuvo presidido por el Dr. Luis Álvarez Icaza, director del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México quien dio la bienvenida y les deseo una jornada productiva; Evangelina Hirata, directora general del ONNCCE; Jorge Jiménez; Alfonso Ramírez, director del Fiidem y David Morillón, investigador y Coordinador del área de Mecánica y Energía del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

CONGRESO DE INGENIERÍA, CIENCIA Y GESTIÓN AMBIENTAL AMICA

28 - 30 de octubre, 2019 Instituto de Ingeniería, UNAM Ciudad de México

Ambiente y gobernanza: Innovación para la sustentabilidad

www.congresoamica2019.com

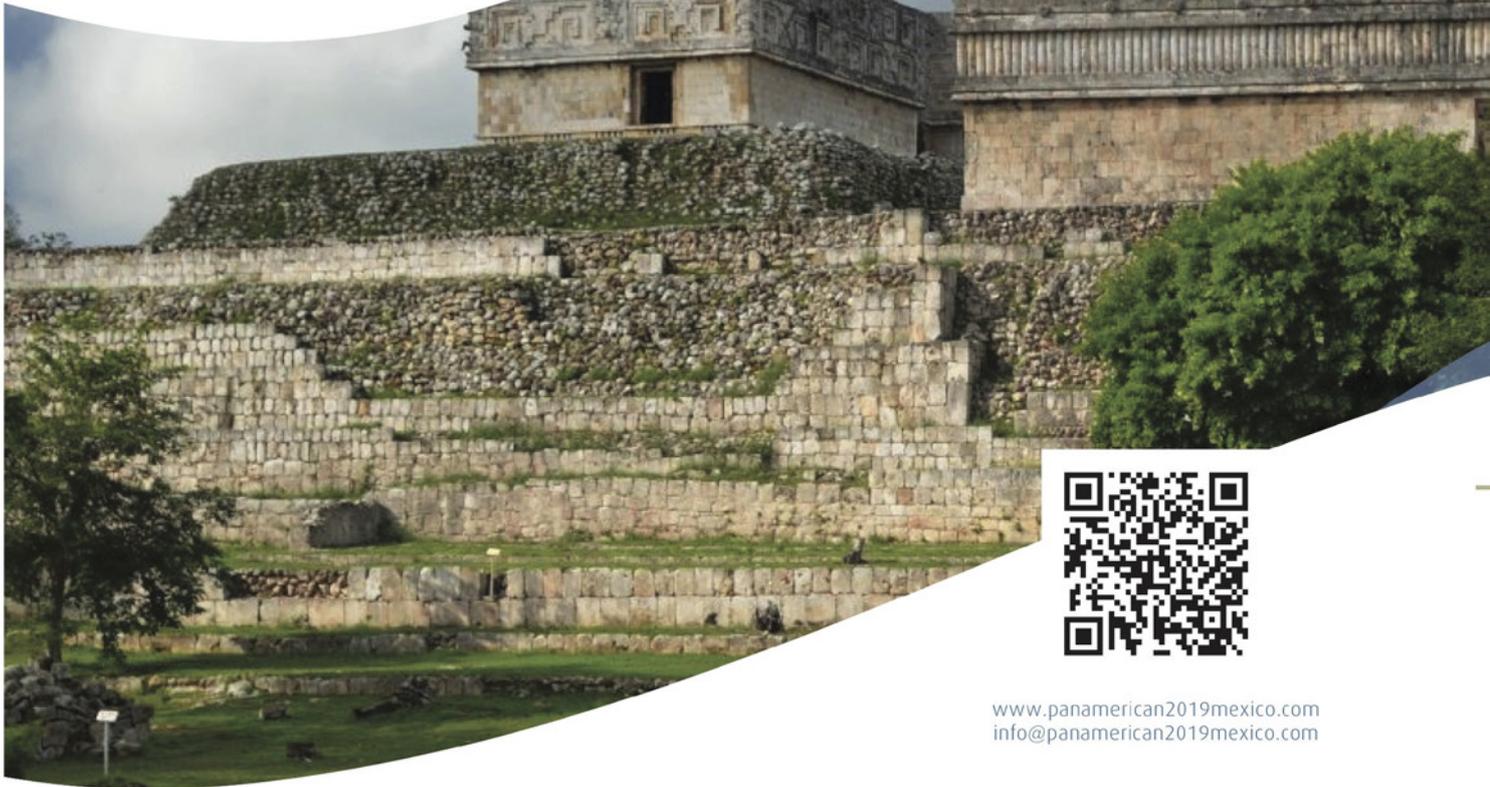
Greening of Industry 5th International Conference of Greening of Industry Network

RESEARCH & POLICY FOR A SUSTAINABLE FUTURE

Foto: Biblioteca Central de Ciudad Universitaria por Margarita Elizabeth Cisneros Ortiz



PANAMERICANO 2019
Cancún Mx.



www.panamerican2019mexico.com
info@panamerican2019mexico.com

XVI CONGRESO PANAMERICANO DE MECÁNICA DE SUELOS E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

17 - 20 NOVIEMBRE 2019

Sede
Hotel IBEROSTAR, Cancún Mx
Registro
www.ecodsa.com.mx/BookingPanamericano.html

Temas técnicos

Tema 1. Laboratorio y pruebas de campo
Tema 2. Modelado analítico y físico en geotecnia
Tema 3. Modelado numérico en geotecnia
Tema 4. Suelos no saturados
Tema 5. Suelos blandos
Tema 6. Cimentaciones y estructuras de retención
Tema 7. Excavaciones y túneles
Tema 8. Estructuras fuera de costa
Tema 9. Ingeniería del transporte en geotecnia
Tema 10. Peligros naturales

Tema 11. Presas de tierra y enrocamiento y de relaves (residuos mineros)
Tema 12. Dinámica de suelos e ingeniería sísmica
Tema 13. Mejoramiento de suelos
Tema 14. Sustentabilidad y geoambiente
Tema 15. Conservación de sitios históricos
Tema 16. Ingeniería forense
Tema 17. Mecánica de rocas
Tema 18. Educación
Tema 19. Geotecnia de la energía