

# Estudio de caso: transformación de sargazo y desechos orgánicos en energía limpia

ALVIN RODRÍGUEZ CUEVAS / EMÍN RIVERA / JOSÉ A. GIL



## Resumen

La visión de la Universidad APEC (Unapec) se enfoca en ofrecer respuestas a las problemáticas nacionales, mediante la investigación científica. La finalidad de este estudio es plantear el uso de las algas marinas (sargazo) y de desechos orgánicos como materia prima (biomasa), para la producción de biogás. Este trabajo de investigación se realizó con el apoyo de expertos internacionales en el área, como la empresa Maof, de Israel, así como del sector turístico privado y del sector público dominicanos, que conformaron un proyecto multisectorial que ofrece un enfoque holístico para la gestión del sargazo y los residuos sólidos.

## Abstract

*The vision of APEC University (Unapec) focuses on offering answers to national problems, through scientific research. The purpose of this study is to propose the use of seaweed (Sargassum) and organic waste as raw material (biomass) for the production of biogas. This investigation was conducted with the support of international experts in the area, such as the Maof Company, from Israel, as well as the private tourism and public sectors of the Dominican Republic that formed a multi-sectoral project that offers a holistic approach to managing sargassum and solid waste.*

## Introducción

La llegada del sargazo a las playas se ha convertido en una amenaza para la economía de los países del Caribe, incluyendo República Dominicana, en razón de que su PIB depende en gran medida del turismo. El sargazo es un alga marina que flota libremente en el océano y que proporciona un

hábitat importante para los organismos migratorios que se han adaptado específicamente a esas algas flotantes, como cangrejos, camarones, tortugas marinas y algunas especies de peces comercialmente importantes como el atún y el marlín (Doyle y Franks, 2015, y Pendleton et al., 2015). Además, el sargazo proporciona alimento para el ecosistema costero y ayuda a estabilizar la costa.

Según estimaciones del Ministerio de Medio Ambiente en República Dominicana, en 2019 unas cuarenta y nueve playas nacionales fueron impactadas por la llegada de sargazo en un volumen de acumulación que alcanzó los 2,424,800 metros cúbicos. Aunque cabe destacar que el laboratorio de Oceanografía Óptica de la Universidad del Sur de la Florida había pronosticado para dicho año un comportamiento similar al del 2018 para las floraciones de sargazo.

De acuerdo con investigaciones realizadas por Rafael Méndez, de la Universidad de Puerto Rico, las algas marinas circulan por las costas del Caribe gracias al influjo del anticiclón de las Azores, un sistema de alta presión que se mueve en la dirección de las manecillas del reloj y que se encarga de modular y controlar la llegada de huracanes a esa zona; dicho anticiclón se activa durante los meses de mayo a septiembre, que es el periodo en que llega el sargazo. Por eso, cada año tenemos la presencia de esa alga marina que impacta de manera directa al sector turístico y la zona costera.

## Uso del sargazo como biomasa, para producir energía

Las algas crecen en aguas salobres o saladas y a diferencia de los cultivos terrestres, no requieren tierra para su cultivo; así se evita la competencia

por el agua dulce y la tierra necesaria para la producción de alimentos.

El rendimiento potencial de biomasa por unidad de área puede ser mayor para las algas marinas, que para las plantas terrestres. Según J. V. Oliveira (2015), las algas se pueden utilizar para producir bioenergía, a saber, biodiesel, bioetanol y biogás. Esta fuente de biomasa tiene varias ventajas sobre los cultivos terrestres, ya que no compite con el uso de la tierra ni consume el agua necesaria para la producción de cultivos alimentarios. Además, el sargazo tiene un alto contenido en proteínas, por lo que su codigestión anaeróbica con sustratos con alto contenido de C/N –relación de la masa de carbono a la masa de nitrógeno en una sustancia– puede ser una alternativa prometedora para aumentar el rendimiento de metano. De manera que una de las alternativas para manejar la gran cantidad de sargazo que se presenta en las zonas costeras del país es aprovecharlo como biomasa para la generación de biogás, a través de un proceso anaeróbico. En otras palabras, utilizado como fuente de energía renovable.

### Caso de estudio: Unapec-Maof

En coherencia con su misión de capacitar líderes creativos y empresarios para una economía global, como parte de un campo de estudio académico completo que enfatiza los negocios, la tecnología y los servicios; que integra la enseñanza, la investigación y la extensión del estudio para contribuir al desarrollo de la sociedad dominicana, la Universidad APEC estableció relaciones de cooperación e investigación con la empresa israelí YA Maof Holdings & Management Ltd. Dicha empresa se dedica a proyectos diversos en el sector ambiental y energético y se especializa en el manejo, reciclaje y supervisión de residuos y

a la rehabilitación de áreas tóxicas contaminadas y antiguas canteras; con el apoyo de soluciones innovadoras y tecnologías de vanguardia.

El objetivo principal es desarrollar actividades conjuntas en el marco de la cooperación entre República Dominicana e Israel, para combatir los riesgos del cambio climático e implementar los mecanismos vinculados a los programas de créditos de carbono. Se busca establecer interacciones sostenibles y de largo alcance, con impactos positivos significativos en las comunidades del país.

Posteriormente el equipo Unapec-Maof se acercó a Grupo Puntacana, como punto focal para desarrollar el proyecto Energyalgae con la empresa multinacional AlgeaNova. Así se concertaron los acuerdos con cada uno de los actores, para implementar un proyecto multisectorial que ofrece un enfoque holístico para la gestión del sargazo y los residuos sólidos. Más tarde se unió a esta propuesta la empresa Ecoservices, dedicada a la gestión de residuos sólidos con el propósito de mejorar el medio ambiente y ayudar al desarrollo sostenible en el país; el Ministerio de Medio Ambiente de R. D. y otras entidades que participaron en la estructura del proyecto con la finalidad de integrar el trabajo conjunto del sector empresarial, el Estado y el equipo Unapec-Maof, como se muestra en la figura 1.



Equipo del Proyecto Energyalgae. Fuente: Unapec.

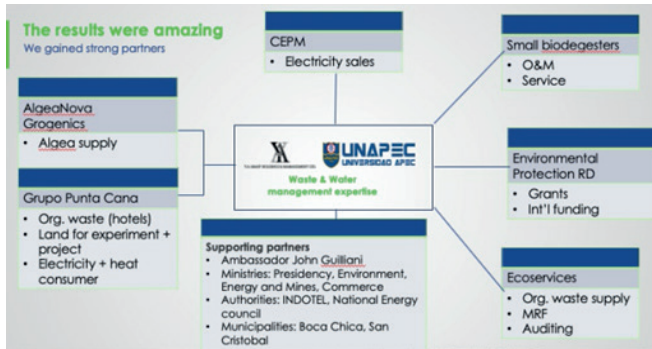


Figura 1: estructura del Proyecto Unapec-Maof.

Fuente: Unapec.

El proyecto establece una planta piloto de energía para producir 1 MW de electricidad y más de 1 MW de calefacción, y se divide en dos fases: la primera, que se enfoca en la producción de combustible a partir del sargazo y otros desechos sólidos, para convertirlos en biogás; y la segunda, que se ocupa de transformar el biogás para producir energía limpia y productos útiles adicionales. En la primera fase se recolectan desechos orgánicos domésticos, animales y marinos, entre los que se incluyen:

- Algas marinas (sargazo).
- Estiércol de vaca, ave, cerdo y cabra, entre otros.
- Desperdicios domésticos orgánicos y alimenticios.
- Grasas y pulpas de la industria alimentaria.

Cabe señalar que la recogida y manejo de los residuos orgánicos domésticos, animales y marinos implica beneficios más amplios una vez se implementen todas las fases del proyecto, entre los que se pueden mencionar:

- Comercialización de energía “verde” para uso en la red eléctrica nacional, y para uso en la calefacción y refrigeración de los hoteles cercanos. Además, la planta producirá un compost de clase A, para uso agrícola.

- Establecimiento de un programa de gestión de residuos, de acuerdo con las necesidades especiales del lugar seleccionado para el proyecto. Esa actividad puede relacionarse con todos los aspectos del ciclo de tratamiento de residuos, por ejemplo: recogida y separación, estaciones de transferencia, transporte, vertedero y reciclaje.

### Primera fase del proyecto

La primera fase se enfoca en la instalación de los equipos biodigestores, abastecimiento de la materia prima disponible, definición del espacio territorial para experimentación y proceso de digestión anaeróbica para la producción de biogás. También define las áreas de responsabilidad de los diferentes actores.

**Colección y procesamiento:** la empresa AlgeaNova, ubicada en Punta Cana, República Dominicana, se especializa en barreras flotantes anti-sargazo y ha desarrollado soluciones innovadoras para recolectar sargazo en el mar, mantenimiento, procesamiento, valorización y protección marina desde 2018, como se muestra en la figura 2.



Figura 2: equipo de recolección de algas.

Fuente: AlgeaNova.

En colaboración con el complejo hotelero Grupo Puntacana, AlgeaNova instaló una barrera flotante anti-sargazo de 4,2 km de largo, en diciembre de 2018. Dicha barrera garantiza playas y costas libres de sargazo, como se muestra en la figura 3. Además de los sectores de hoteles y turismo, también ayuda a preservar el frágil ecosistema de playa y la pesca tradicional. Su sistema de barrera flotante tiene la ventaja de desmontarse fácil y rápidamente, en caso de huracanes o condiciones climáticas extremas. El éxito de AlgeaNova le ha permitido ofrecer sus servicios en todo el Caribe. Su participación en el proyecto se enfoca en el suministro del sargazo que recolectan en la playa, como biomasa para el experimento.



Figura 3. Barreras de contención.  
Fuente: AlgeaNova.

**Gestión de residuos sólidos:** Ecoservices es una empresa dedicada a la gestión de residuos

en República Dominicana, certificada juntamente con ISO 9001 y 14001 en calidad y gestión Ambiental. Es miembro de ECORED, del Clúster Turístico de La Altagracia y del Consejo Provincial de Desarrollo del Ministerio de Medio Ambiente, con el permiso ambiental 2724/15; se estableció en el país en 2010, pero tiene más de treinta años de desarrollo internacional. Cuenta con la experiencia necesaria para crear programas para el desarrollo sostenible de las empresas y el turismo a través de la gestión de residuos sólidos y líquidos, del reciclaje y la disposición final efectiva, de la certificación y auditoría ambiental, de la venta de productos biodegradables y zafacones, de las energías renovables, de la valoración de residuos de energía, biocombustibles, ahorro de energía y mejora de la producción limpia. Tienen sus operaciones en el área de Bávaro, Punta Cana, La Romana y proyectos asociados en Santo Domingo y la parte norte del país. Gracias a su experiencia en la gestión de residuos sólidos en la región Este y a su relación con muchos hoteles del Grupo Puntacana, gestionará los residuos sólidos necesarios como insumos para la fase de experimentación del proyecto.

**Experimentación:** en octubre de 2019 se inició la fase de experimentación de producción de biogás a partir del sargazo, en colaboración con el Grupo Puntacana, la empresa Maof, AlgeaNova y la Universidad APEC, esta última encargada del experimento, monitoreo y logística instrumental del proyecto. El experimento consiste en un sistema de cinco unidades pequeñas de biodigestores (HomeBiogas), para probar diferentes formulaciones compuestas de una mezcla de sargazo y desechos orgánicos de los hoteles locales, hasta encontrar la combinación que optimice la producción de biogás.



Ilustración: equipo del Proyecto Energyalgae.

Fuente: Unapec.

Los resultados del proyecto piloto servirán de base para diseñar e implementar la planta piloto modelo de co-digestión de 1 MW más grande en Punta Cana, que utilice sargazo y desperdicios de alimentos de los hoteles como materia prima, y que podría ser replicable en todo el Caribe. La instalación tiene la intención de recibir aproximadamente 28,000 toneladas/año de sargazo y 32,000 toneladas/año de desperdicios de alimentos orgánicos, para generar 1 MW de energía. La electricidad y el calor que se generarán se retroalimentarán a la red para su uso en toda el área de concesión. La experiencia de los expertos del equipo de Y. A. Maof asegura el éxito y la sostenibilidad de este primer proyecto de biogás en Punta Cana:

- Dada su amplia experiencia en emprendimientos con el medio ambiente, Maof inicia y participa de manera continua en diferentes proyectos y procesos regulatorios en Israel.
- Su fundador y CEO tiene más de veinte años de experiencia en servicios ambientales, especializada en tratamiento y gestión de residuos, reciclaje, rehabilitación de paisajes, tierras peligrosas y suelos contaminados.

El gerente del proyecto es el ex director general senior adjunto, del Ministerio de Protección del Medio Ambiente de Israel y jefe de extensión de MASHAV en el Instituto Arava; fue el investigador principal para un proyecto extenso de sistema de biogás a pequeña escala, para ayudar a las comunidades beduinas fuera de la red.



Ilustración: equipo del Proyecto Energyalgae.

Fuente: Unapec.

La instalación de los equipos que se utilizan en el experimento consiste de cinco biodigestores, esquematizado en la figura 4. Como ya se dijo, el experimento consiste en probar diferentes mezclas de sargazo y desechos orgánicos, hasta encontrar la que permita obtener mejor rendimiento de producción de biogás. Para eso, se necesita activar cada uno de los biodigestores con 100 litros de agua y de estiércol mezclados (vaca, cerdo, caballo, cabra, oveja). Los pasos y procedimientos para la instalación de los biodigestores, así como toda la información de activación de los sistemas, se pueden encontrar en [www.homebiogas.com](http://www.homebiogas.com).



Figura 4: sistema biodigester compacto Homebiogas 2.0.  
Fuente: Unapec.

El tiempo de activación depende de la descomposición que realizan las bacterias. Una vez se establece la biodigestión anaeróbica, inicia la producción de biogás y se comprueba con el encendido de llama inflamable en la estufa que viene con el sistema biodigester compacto 2.0. Desde que se tiene ese resultado, se reduce la cantidad de alimentación de los biodigestores a 20 litros de estiércol mezclados con 20 litros de agua diariamente. Es importante que esa mezcla se disuelva bien, para que la biodigestión anaeróbica se realice más rápido. De igual forma, el estiércol debe ser fresco, para que facilite la descomposición de las bacterias.

Una vez se activa el sistema, se alimenta utilizando las diferentes combinaciones de sargazo y estiércol. Cada uno de los biodigestores tiene una combinación diferente para verificar el rendimiento de producción de biogás, de acuerdo con las cantidades y mezclas. Se pesan las cantidades de cada uno, de acuerdo con el procedimiento de activación y el protocolo utilizado en esa primera parte del experimento, como se muestra en las figuras 5 y 6.



Figura 5: sargazo al aire libre.  
Fuente: AlgeaNova.



Figura 6: pesado del sargazo.  
Fuente: AlgeaNova.

Para instalar el sistema se obtuvo el diseño de Maof, con un criterio de cinco combinaciones de biomásas diferentes (sargazo y estiércol), para verificar el rendimiento en la producción de biogás. En cada sistema se pesa la cantidad de material específica y unas válvulas de manera independiente para cada sistema que permite verificar la producción de forma individual. Cada sistema tiene una estufa a la salida, para verificar la producción de biogás, y cada salida de los biodigestores tiene un recipiente donde se colectan los lixiviados para examinarse y ver su uso para el compostaje. En la figura 7 se presenta el diseño del sistema:



Figura 7: diseño del sistema.

Fuente: Maof.

Como se muestra en la figura 8, el protocolo consiste en alimentar los biodigestores con mezclas de sargazo y estiércol, en diferentes porcentajes. La finalidad es verificar el porcentaje que permita mayor producción de biogás durante treinta días. El tiempo de experimentación es el necesario para evidenciar los porcentajes de cada sistema. Con ese protocolo se busca validar el uso del sargazo para producir biogás. El estiércol solo se usa para activar los sistemas y mantener el proceso de biodegradación anaeróbica.

Sistema	Construcción del sistema	Iniciación	Alimentación Sargassum/Estiércol	Duración de experimentación (30 días)
Biodigestor 1	Llenar el sistema con agua hasta las indicaciones del procedimiento	Mezclar 100 litros de agua + 100 litros de estiércol. Rellenar 14 días hasta que tenga gas	50/50	30
Biodigestor 2			75/25	30
Biodigestor 3			75/25	30
Biodigestor 4			100/0	30
			25/75	30

Figura 8: protocolo del sistema.

Fuente: Maof.

Una vez transcurre el tiempo de descomposición de las bacterias mediante el proceso de biodegradación anaeróbica, el metano ( $\text{CH}_4$ ) producido en el interior de los biodigestores y otros gases pasan por unos filtros colocados a la salida de

cada biodigestor, para producir el biogás. Como se muestra en la figura 9, se evidencia un abultamiento en la parte superior de los biodigestores, donde se alojan los gases producidos. Diariamente se miden los indicadores de pH, *mass flow*,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$  en cada uno de los cinco biodigestores, con el fin de evaluar el proceso.



Figura 9: gases acumulados.

Fuente: Unapec.

### Procedimiento de medición

La temperatura es un factor importante en el proceso de descomposición de las bacterias. Los procesos anaeróbicos, igual que muchos otros procesos biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, lo que da lugar a mayor producción de biogás.

Los microorganismos metanogénicos son mucho más sensibles a las variaciones de pH que los otros organismos de la comunidad microbiana



anaeróbica. El pH óptimo de trabajo del biodigestor se encuentra en el rango de entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro 7 el ideal. Para que el proceso de biodigestión se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. Eso es porque el valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás, sino también su composición.

Con el fin de mantener la temperatura constante (37° C), utilizamos un calentador (Heather) de 500 vatios para cada biodigestor, aunque eso demandaba una energía de 1000 vatios que debimos suministrar en el sistema. Para conseguir que la temperatura adecuada se mantuviera en los biodigestores, fue necesario diseñar un sistema de alimentación de energía con paneles solares combinado con un sistema de calentamiento de agua basado en gas, como se muestra en la figura 11. El sistema de alimentación consistió en dos paneles solares de 330 vatios, una batería de 12 voltios dc, un inversor con salida de 120 ac y un controlador solar Mppt que tiene una eficiencia de 99% y la corriente de carga oscila entre 20-40A. Con ese sistema se alimentaron los dispositivos y equipos necesarios para las mediciones de los biodigestores.

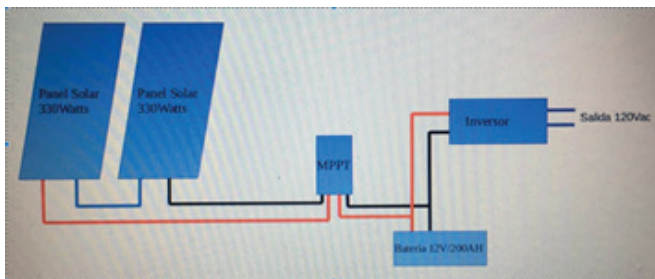


Figura 11: sistema de alimentación de energía.  
Fuente: Unapec.

El sistema de calentamiento de agua es un calentador automático de almacenamiento, con una capacidad de 40 galones y 38000 Btu/hr de entrada. Ese calentador Bradford White utiliza un desviador de tiro y tiene ventilación atmosférica. Ver figura 12.

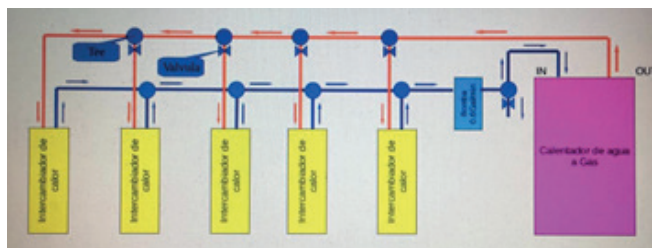


Figura 12: sistema de calentamiento de agua.  
Fuente: Unapec.

El sistema de calentamiento de agua consiste en la circulación de agua caliente por los biodigestores, para alcanzar la temperatura adecuada. Para eso se utiliza una bomba de 22,7 litros por minuto, donde se introduce el agua al calentador y éste, a su vez, lleva el agua a una temperatura de entre 45°-65° C para que circule por todo el sistema. Con esa modalidad, se maneja la temperatura de cada biodigestor con la apertura o cierre de la válvula que está a la entrada de cada biodigestor. Para la circulación de agua caliente en el interior de los biodigestores se utiliza un intercambiador de calor de acero inoxidable, para mantener la temperatura deseada como se muestra en la figura 13.



Figura 13: intercambiador de calor.  
Fuente: Unapec.

Durante el día, la radiación solar ayuda a mantener la temperatura por encima de los 35° C, de manera que el intercambiador de calor trabaja en horas de menor radiación solar. Para obtener la temperatura se utilizan sensores PT-100, encargados de medir la temperatura en el interior de los biodigestores; un medidor de masa de baja presión, que se utiliza para medir el flujo de gas a la salida del sistema; un medidor de pH para el nivel de oscilación de los biodigestores; un Datalogger que permite obtener los datos que los sensores de temperatura envían a través de la señal de medición de cada biodigestor, y un analizador de biogás que sirve para medir los indicadores de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S.<sup>1</sup> Los dispositivos y aparatos utilizados para la captura de los datos se presentan en las siguientes ilustraciones:



Medidor de masa de baja presión.



Medidor de pH.



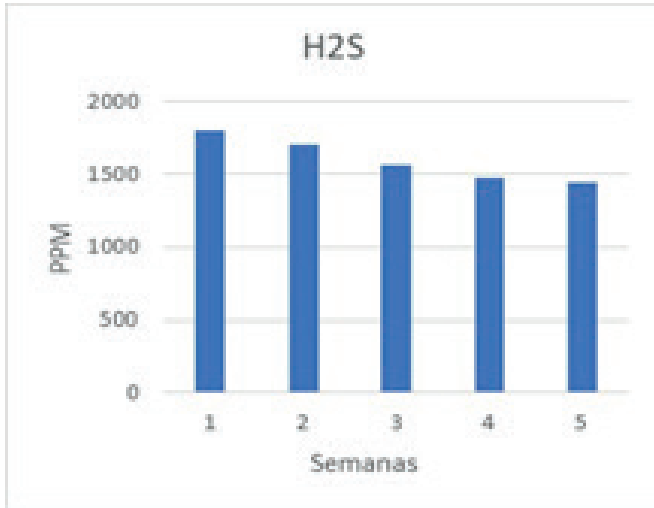
Analizador de biogás Geotech 5000, Aparato de adquisición de datos. Mide CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.



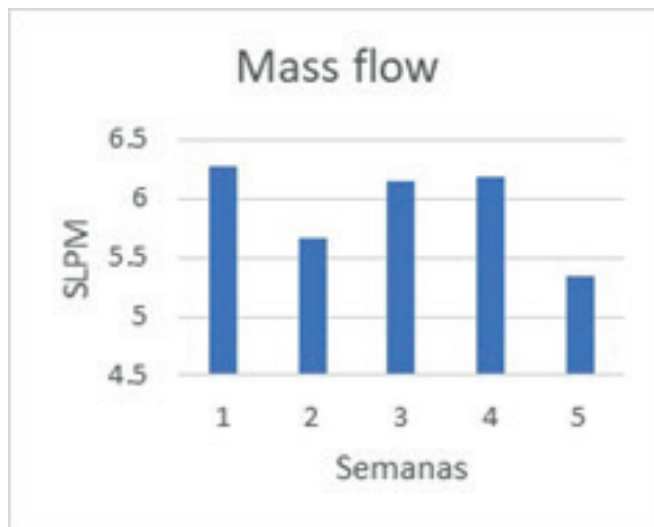
## Discusiones y resultados

Una vez obtenidos los datos de los sensores de temperatura, el flujo de biogás y los demás indicadores mencionados en el protocolo para el experimento, se procedió a su análisis. Es importante señalar que se realizaron promedios de las mediciones semanales en cada biodigestor, para verificar el comportamiento de las combinaciones de sargazo y estiércol; además, se mantuvo una temperatura de entre 32° y 35°, con un pH que oscila entre 7.5 y 7.8. En las gráficas 1, 2 y 3 se observa el comportamiento de las concentraciones de los diferentes indicadores del biodigestor 1, por semana. Como se muestra, se obtuvo una mayor concentración de H<sub>2</sub>S en la primera semana, que disminuyó paulatinamente. De igual forma, el flujo de gas osciló entre 5 y 6 slpm (litro estándar por minuto). El nivel de concentración en porcentaje, tanto para el CH<sub>4</sub> como para el CO<sub>2</sub>, se mantuvo entre 50% y 30%, respectivamente. El porcentaje de O<sub>2</sub> fue mínimo.

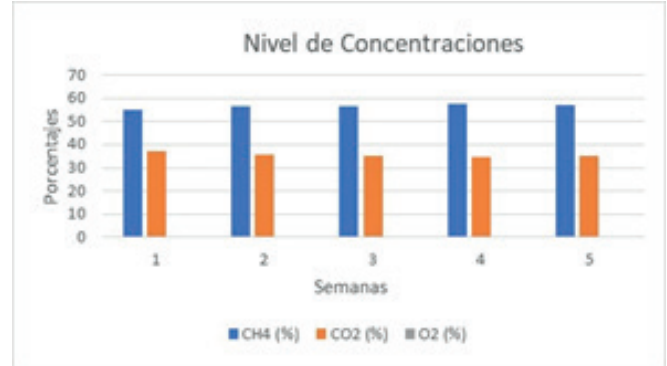
<sup>1</sup> El sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) es un gas que se encuentra comúnmente durante la perforación y producción de petróleo crudo y gas natural. El gas se produce como resultado de la descomposición microbiana de los materiales orgánicos, en ausencia de oxígeno.



Gráfica 1: parámetros del biodigestor 1.

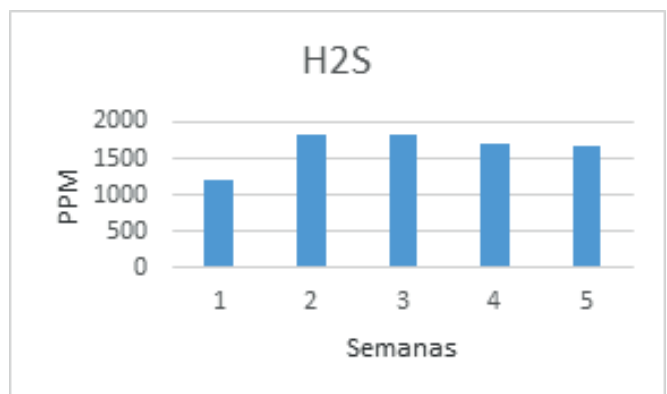


Gráfica 2: parámetros del biodigestor 1.

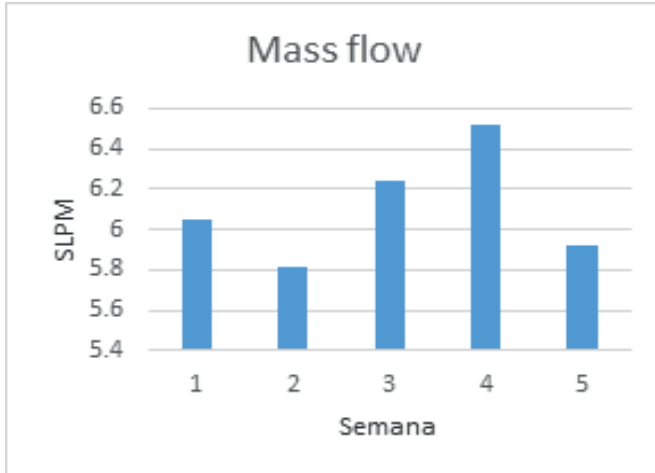


Gráfica 3: parámetros del biodigestor 1.

En las gráficas 4, 5 y 6 se observa el comportamiento de las concentraciones de los diferentes indicadores del biodigestor 2, por semana. Se obtuvo una concentración de H<sub>2</sub>S por encima de los 1000 ppm durante todas las semanas. El flujo de gas tuvo mayor slpm en las semanas 3 y 4, y mantuvo un nivel entre 5.6 y 6 slpm en las semanas restantes. Con respecto al nivel de concentración del CH<sub>4</sub>, el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>, los porcentajes se mantuvieron sin mayor variación.



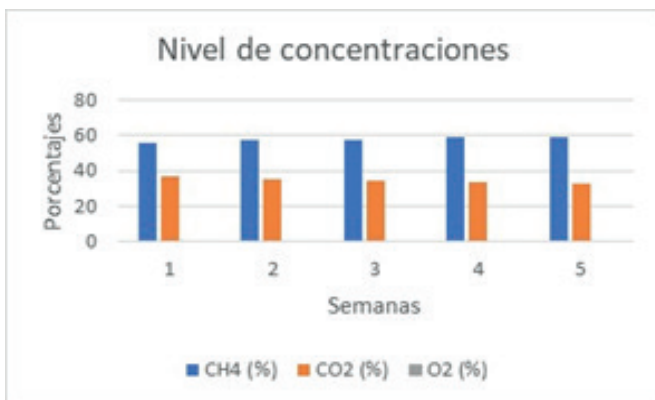
Gráfica 4: parámetros del biodigestor 2.



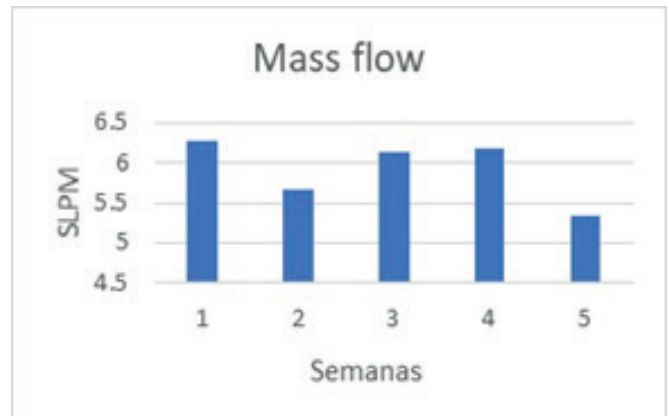
Gráfica 5: parámetros del biodigester 2.



Gráfica 7: parámetros del biodigester 3.

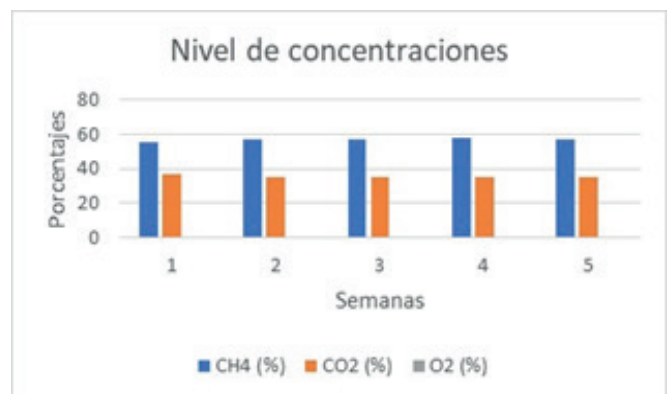


Gráfica 6: parámetros del biodigester 2.



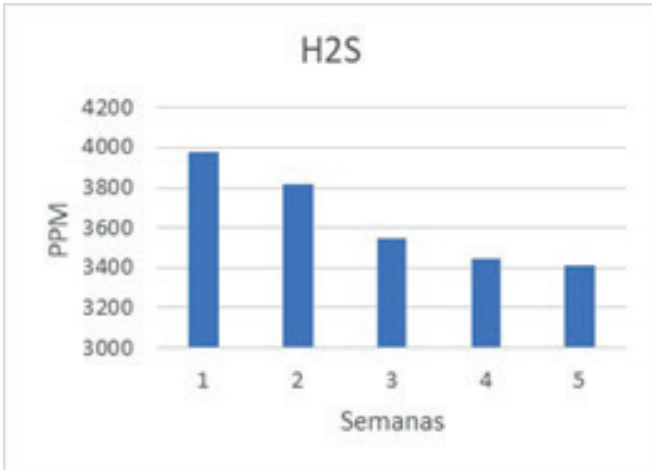
Gráfica 8: parámetros del biodigester 3.

En las gráficas 7, 8 y 9 se observa el comportamiento de las concentraciones de los diferentes indicadores del biodigester 3, por semana. Se tiene una mayor concentración de H<sub>2</sub>S durante las primeras dos semanas de ppm, y luego una disminución en la semana 3, que se mantuvo para las semanas restantes. Con respecto al flujo de gas, se tiene un nivel por encima de 5 slpm durante las primeras cuatro semanas, que se redujo solo en la quinta semana. Los niveles de concentración de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> fueron muy similares a los del biodigester 2.

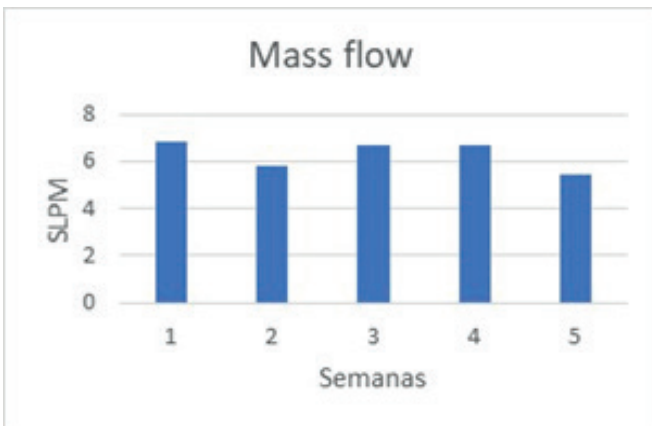


Gráfica 9: parámetros del biodigester 3.

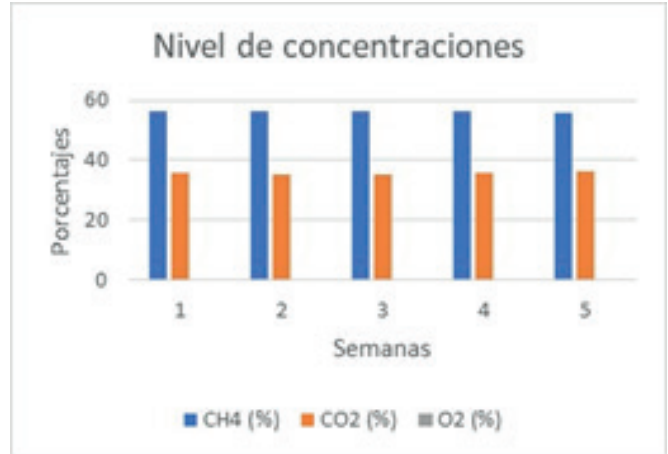
En las gráficas 10, 11 y 12 se observa el comportamiento de las concentraciones de los diferentes indicadores del biodigestor 4, por semana. Se tiene una reducción paulatina de  $H_2S$ ; sin embargo, el nivel de ppm fue mucho mayor que los demás biodigestores. Con respecto al flujo de gas, hubo mayor consistencia en los niveles de slpm, ya que se mantuvo por encima de 6 slpm durante tres semanas. Los porcentajes de nivel de concentración de  $CH_4$ ,  $CO_2$  se mantienen por debajo del 60%, así como el  $O_2$  que es mínimo.



Gráfica 10: parámetros del biodigestor 4.

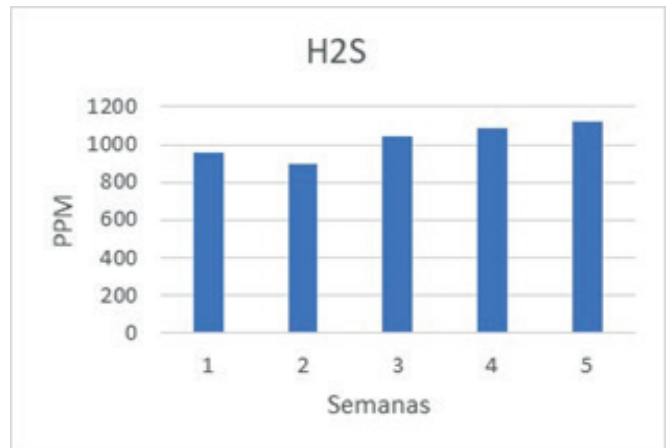


Gráfica 11: parámetros del biodigestor 4.

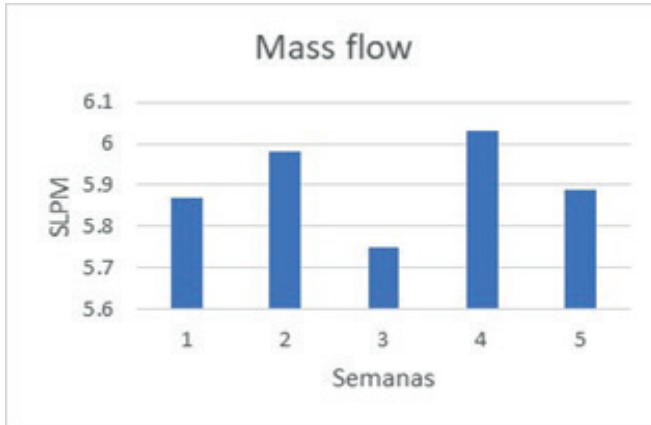


Gráfica 12: parámetros del biodigestor 4.

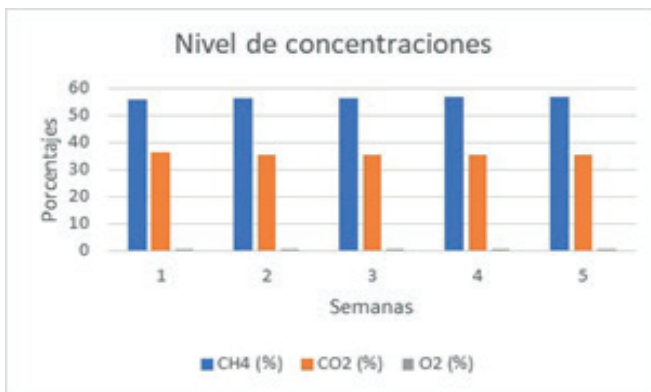
En las gráficas 13, 14 y 15 se observa el comportamiento de las concentraciones de los diferentes indicadores del biodigestor 5, por semana. Se presenta una disminución de concentración de  $H_2S$  por debajo de los 1200 ppm. El nivel de flujo de gas fluctúa entre los 5.7 y los 6 slpm respectivamente. Los niveles de concentración de  $CH_4$ ,  $CO_2$  y  $O_2$  presentan porcentajes más consistentes, debido a que la cantidad de  $H_2S$  se mantuvo por debajo de los 1200 ppm, a diferencia de los demás biodigestores.



Gráfica 13: parámetros del biodigestor 5.



Gráfica 14: parámetros del biodigestor 5.



Gráfica 15: parámetros del biodigestor 5.

Fuente de las últimas quince gráficas: Unapec.

Una vez analizados los valores obtenidos para los parámetros de este experimento, que evaluó la producción de biogás mediante la variación en la composición de la biomasa (sargazo y estiércol), se concluye que:

1. El biodigestor 5, con una combinación de 25/75, es el que presentó consistencia de producción de  $\text{CH}_4$ .
2. El sargazo utilizado presenta altos niveles de azufre y arsénico, lo que se evidencia en las altas concentraciones de  $\text{H}_2\text{S}$ .

### Segunda fase del proyecto: líneas futuras

Una vez determinado que la mezcla que permite obtener mayor consistencia y rendimiento de biogás fue la utilizada en el biodigestor 5, se realizarán nuevos experimentos para mejorar la producción. Los mismos se plantean de la siguiente manera:

- Se evaluará la influencia de la temperatura en la producción de biogás, y se establecerán diferentes temperaturas en cada biodigestor para medir el biogás producido.
- Una vez se elija una temperatura óptima de trabajo, se probarán diferentes formas de introducir el sargazo en cada biodigestor; es decir, lavado, lavado-cortado y seco-triturado. Eso tiene la finalidad de determinar si existe una relación entre el pre-tratamiento del mismo con la producción de biogás.
- Adicionalmente, se realizará dicho experimento probando diferentes combinaciones de sargazo con residuos sólidos provenientes de restaurantes, a partir de los porcentajes realizados en este experimento.

Finalmente, con los resultados de estos experimentos se validará el diseño de una planta de 1 MW de energía limpia.

### Referencias

- A holistic approach to turning a regional risk into environmentally green solutions, Energyalgae, The UN environment Programme, Cartagena Convention 30 October 2018.
- Centre for Resource Management and Environmental Studies. The Faculty of Science and Technology of the University of The West Indies: EnergyAlgae: Developing Sustainable Sargassum Uses Through a Multisectoral and Multi-Country Initiative.
- Doyle, E. y Franks, J. (2015). Sargassum Fact Sheet. Gulf and Caribbean Fisheries Institute.

- FAO, "Manual biogás". Journal of Chemical Information and Modeling, vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.00
- Kusch, Sigrid; Schäfer, Winfried y Kranert, Martin (2011). Dry Digestion of Organic Residues, Integrated Waste Management - Volume I, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978953-307-469-6, InTech,
- Milledge, J. J. y Harvey, P. J., 2016. Potential Process 'Hurdles' in the Use of Macroalgae as Feedstock for Biofuel Production in the British Isles, J. Chem, Technol, Biotechnol, 91, 2221-2234.
- Sutherland, A. y Varela, J., 2014. Comparison of Various Microbial Inocula for the Efficient Anaerobic Digestion of Laminaria Hyperborea, BMC Biotechnol, 14, 7.
- Oliveira, J. V.; Alves, M. M. y Costa, J. C., 2015. Optimization of Biogas Production from Sargassum Sp, Using a Design of Experiments to Assess the Co-Digestion with Glycerol and Waste Frying Oil, Bioresource Technology, Elsevier.
- Varnero Moreno, María Teresa, 2011. *Manual de Biogás*, FAO, Santiago de Chile, ISBN 97895-306892-0.
- Recuperado de Internet: [www.Homebiogas.com](http://www.Homebiogas.com) y [www.Ecoservices.com](http://www.Ecoservices.com)



## Sobre los autores

**Alvin Rodríguez Cuevas** es Doctor en Diseño e Ingeniería de Procesos y Productos Industriales, de la Universidad de La Rioja, España. Es egresado de la Carrera de Ingeniería Industrial, Cum Laude, de la Universidad APEC (Unapec); y tecnólogo en electrónica industrial, mención digital, del Instituto Politécnico Loyola. Actualmente se desempeña como director de Investigación, en la Unapec.

Ha trabajado varias líneas de investigación: energías renovables, cambio climático y gestión de residuos, entre otras. También ha realizado investigaciones sobre diferentes temas: celdas de combustibles con hidrógeno para la generación de energía limpia, diseño de estructuras autóctonas para invernaderos, producción de biogás mediante sargazo y desechos sólidos, entre otras. Participó como exponente en el Congreso XIV LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, Costa Rica, 2015; y fue asesor del trabajo publicado en LACCEI DEL 2017 con el tema "Diseño de un SGC basado en la Norma ISO 9001:2015 en Global Pack, S. R. L". Fue seleccionado como evaluador de LACCEI 2020.

**Emín Rivera** es Ingeniero Electrónico, egresado de la Universidad APEC (Unapec). Tiene más de veinte años impartiendo docencia y más de treinta mil horas servidas en aula. Ha desarrollado diversos emprendimientos, entre ellos una empresa dedicada al diseño de soluciones de automatización donde se desarrollaron productos comerciales bajo la marca Onosis; así como el diseño y comercialización de un inversor de onda corregida utilizando un microcontrolador como elemento único de control y generación de señal de oscilación. Desde 2004

y por trece años coordinó las investigaciones de la Escuela de Ingeniería de Unapec; en 2008 fue el investigador principal de una propuesta para integrar las tecnologías fotovoltaica e hidroneumática en un equipo de baja potencia capaz de generar y almacenar energía eléctrica; en la actualidad colabora con el desarrollo de un ecosistema de investigación, innovación, transferencia tecnológica y emprendimiento de Unapec, con la colaboración de Israel. Desde enero del 2018 se desempeña como decano de Ingeniería e Informática de Unapec.

Ha asesorado diferentes trabajos de grado y en los últimos cinco años se ha desempeñado como asesor principal de seis trabajos publicados por los congresos de Laccei. Fue asesor del grupo que inició la empresa Xolutronic, con impacto importante en el diseño y desarrollo de hardware a nivel nacional y creadora del dispositivo Passfort, ganador de Kickstater, con impacto internacional. También asesoró al primer grupo de estudiantes que participó en el concurso Tecnología Apropiada de Onapi, el cual quedó entre los diez primeros lugares.

**José Antonio Gil Sánchez** es ingeniero industrial con Maestría en Finanzas, del Rochester Institute of Technology, Nueva York. Actualmente está como doctorante en Administración Gerencial, con foco en innovación y emprendimiento, en la Universidad APEC (Unapec). Se desempeña como director del Centro de Emprendimiento de la Unapec, y como profesor en colegios de grado y posgrado de varias universidades nacionales. Ha emprendido diferentes proyectos de negocios y proyectos sociales, y actualmente apoya el desarrollo del ecosistema de emprendimiento e innovación de la Universidad APEC.