

# Tercer Encuentro Académico

**SEDATU**  
SECRETARÍA DE  
DESARROLLO AGRARIO,  
TERRITORIAL Y URBANO



**CONAVI**  
COMISIÓN NACIONAL  
DE VIVIENDA



**CONACYT**  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Noviembre 2016



Figura 1

## Digestion anaerobica de residuos sólidos urbanos para generar energía eléctrica

El proyecto consistía en aprovechar los residuos sólidos urbanos de los desarrollos habitacionales para generar energía eléctrica y reducir el impacto negativo de los residuos en el ambiente.

La generación de residuos sólidos urbanos (RSU) de la población se ha incrementado en las últimas décadas a proporciones alarmantes; creando problemas para las autoridades municipales en cuanto a su manejo, tratamiento y disposición final. Actualmente, los habitantes del ámbito urbano generan entre 0.75 y 1.0 kg de RSU al día; mientras que en el ámbito rural la generación es de 0.40 a 0.55 kg de RSU por día. La mayor parte de estos residuos están mezclados, puesto que no existe la cultura de la separación de los diversos componentes de lo que llamamos basura. En México, los RSU

están compuestos por un 40 a 50% de residuos de carácter orgánico, es decir, que son susceptibles de ser tratados por métodos biológicos. Entre los métodos biológicos para tratar residuos sólidos se encuentran el tratamiento aeróbico o compostaje que genera un material residual con características de mejorador de suelos, pero requiere la inclusión de aire a la masa y, en casos de, gran escala es una actividad costosa. Y el método anaeróbico consiste en limitar el suplemento de oxígeno en un sistema herméticamente sellado, favoreciendo el desarrollo de las bacterias acetogénicas y metanogénicas quienes son las que generan el

biogás y un material residual. El biogás dependiendo de contenido de metano puede llegar a ser considerado como un biocombustible, y el material residual puede ser utilizado como un bio-abono en campos agrícolas, ambos productos tienen un mercado potencial en México. De ahí que exista la oportunidad de generar un sistema aplicable a desarrollos habitacionales de alta densidad donde se puedan aprovechar los residuos separados en el hogar para generar biogás y consecuentemente energía eléctrica.

### Planteamiento y desarrollo

El proyecto consistía en diseñar, construir, operar y monitorear una planta piloto de biogás. Se construyeron dos digestores verticales circulares de 10 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno, interconectados a un motor-generator. Los digestores se fabricaron a base de geomembrana de PEAD de 1 mm de espesor con las siguientes dimensiones: diámetro 3 metros, altura 1.10 metros incluye tapa de geomembrana termofusionada y fondo de geomembrana en forma cónica. Los digestores se reforzaron con malla electrosoldada por inmersión en caliente y un aro perimetral de acero estructural (PTR) de 1.5x1.5". Debido a que se requería recolectar los RSU de 5300 casas habitación en un periodo muy corto para poder alimentar la carga inicial de los digestores, se optó por recolectar los residuos generados y separados por un restaurante durante una semana para llenar los digestores. Se llenaron con un contenido de sólidos de aproximadamente 10%, según recomendaciones de la literatura internacional. Se monitoreó el proceso de la digestión anaeróbica midiendo conforme a estándares nacionales e internacionales los siguientes parámetros: pH, temperatura ambiente e interna, conductividad eléctrica, potencial oxido-reducción,

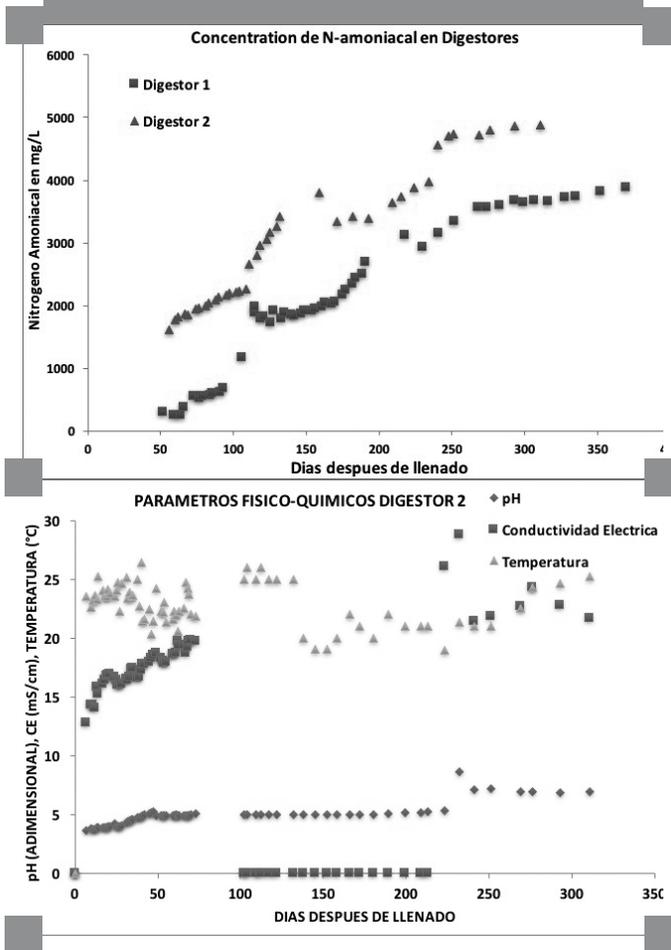
contenido de sólidos totales y volátiles, nitrógeno amoniacal. Así como se evaluó la fito-toxicidad del material residual.

### Resultados obtenidos

Se realizaron varias corridas preliminares que no dieron buenos resultados, debido a que los digestores se acidificaban hasta alcanzar niveles (pH<5.0) que inhibían el proceso de la digestión anaeróbica. Por lo tanto, se montaron 30 unidades experimentales de (1L) con diversas mezclas para determinar su potencial de producción de metano, a los cuales se les midió la cantidad y la calidad del biogás generado y se determinó la producción específica por cantidad de materia orgánica utilizada. Al final de cada corrida se realizó un análisis del residuo para establecer un balance de masa. Mezclas colocadas en un invernadero a temperatura promedio de 35°C fueron sometidas a aireación forzada, adición de soluciones amortiguadoras y atenuación natural, buscando reducir el impacto de la acidificación. Este experimento mostro que los residuos tienen poca capacidad buffer y se acidifican con facilidad. Se repitió el experimento, pero en condiciones de hermeticidad mostrando que la adición de soluciones buffer ayudaba a mantener los niveles de pH en la neutralidad, aunque con baja calidad del biogás (CH<sub>4</sub><20%).

Los digestores piloto se continuaron monitoreando y operando y se observó que en el digestor 2 (figura 3), el contenido de metano comenzó a incrementar gradualmente alcanzando niveles de 27% máximo.

A este digestor, se le agrego hidróxido de calcio, pero hasta alcanzar un pH de 7.5, se le permitió reaccionar por dos semanas, pasado el tiempo se reinició la recirculación sin adicionar nuevamente materia orgánica. Los niveles de pH continuaron con tendencia descendente alrededor de niveles 5.4, y los valores del potencial redox ➤



Figuras 2 y 3

(-185 mV) indicaron que los sistemas se encontraban en el proceso de llegar a condiciones anóxicas y/o anaeróbicas (-250 a -300 mV).

Al digestor 1, se le aplicaron medidas más drásticas para tratar de neutralizar sus niveles de acidez, se le agregó hidróxido de calcio comercial (Cal-hidra), el nivel de pH se incrementó hasta 8.2 y se permitió 15 días para dejar que la cal reaccionara completamente, pasados los 15 días se adiciona nueva materia orgánica (estiércol) aproximadamente una tonelada al digestor y se mezcló mediante una bomba sumergible hasta lograr una mezcla homogénea, después de 2 meses de operación el digestor mostro cambios en cuanto a un incremento a la producción y/o calidad del

biogás (de 0 hasta 22% metano), pero los valores de pH decrecieron hasta acidificarse nuevamente a niveles aproximados a 5.2. Sus valores de potencial redox (-98 mV) también indicaban que el sistema gradualmente iba cambiando a condiciones anaeróbicas dominantes.

Se analizaron muestras de los residuos finales y se determinó que podrían ser utilizados como bio-fertilizante. Sin embargo, la mayor limitante fue que aún desprendían un olor fétido demasiado intenso como para ser aceptado por agricultores y/o en áreas verdes públicas. Las mezclas realizadas en los contenedores de 1 L, después de 60 días de digestión, mostraron olores ligeramente fétidos con excepción

de aquellos en los que se utilizaron residuos orgánicos de cocina y grasas provenientes de la industria láctea que mostraron olores muy intensos. Esta última mezcla fue la que mayor producción y mejor calidad de biogás (65% metano) presento.

### **Potencial de aprovechamiento para el sector de la vivienda**

En base a los resultados obtenidos en el proyecto, se puede mencionar que los residuos sólidos urbanos de unidades habitacionales tienen un gran potencial para generar biogás y ser aprovechado en forma de energía eléctrica en digestores anaeróbicos. Según los análisis prospectivos y las corridas financieras, la escala de los digestores debe de incrementarse para

poder tener un punto de equilibrio de la inversión y las utilidades generadas por dos conceptos: la energía eléctrica y la venta de biofertilizante, con un periodo de retorno de la inversión de 2.5 años. Para poder operar continuamente el sistema se requiere un gran volumen de residuos; los cuales no son suficientes de las casas (200 a 300 Kg/día cada 100 casas); por lo tanto, se requiere llevar a cabo co-digestiones con estiércol y/o rumen vacuno. El área necesaria para instalar estos digestores en un desarrollo habitacional es de aproximadamente 200m<sup>2</sup>, espacio suficiente para ubicar 2-3 digestores verticales y patio de maniobras, caseta de operador, cuarto de herramientas, etc. Lo que representa aproximadamente 2-3 lotes de interés social.



### **Roberto Valencia Vázquez**

Ingeniero civil egresado del Instituto Tecnológico de Durango con estudios de Maestría en Ciencias en Tecnologías y Ciencias Ambientales y Doctorado en Biotecnología Ambiental otorgados por el UNESCO-IHE, Institute for Water Education, en Delft, Reino de los Países Bajos. Actualmente Académico Cátedras

CONACYT comisionado al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Durango en el programa de Maestría en Sistemas Ambientales donde trabaja en la línea de investigación de manejo y tratamiento integral de residuos. Investigador Nacional nivel 1.