

Evaluación del potencial de generación de Biogás de las aguas residuales de la unidad habitacional la Margarita, Puebla, Puebla

María Rosado, Silvia Cruz y Alejandro Tzompantzi

M. Rosado, S. Cruz y A. Tzompantzi
Universidad Tecnológica de Puebla, Carrera de Ingeniería Ambiental, Antiguo Camino a la Resurrección No. 1002-A, Zona Industrial Oriente, C.P. 72300, Puebla, Pue.
oneidautp@yahoo.com.mx

M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) .Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

A proposal for anaerobic treatment of wastewater from La Margarita Housing Unit to determine the potential for generation of biogas from organic matter contained in wastewater and an estimate of the energy that can be obtained. Was considered population served, maximum flow, laboratory analysis of wastewater characterization Settleable-Solids, Total Suspended Solids, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Fats and Oils, Floating material, temperature, Potential of Hydrogen (pH), fecal Coliform, Total Coliform, Volatile Suspended Solids, Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Alkalinity. These values were designed treatment units involving an anaerobic digester. The estimated biogas production $308.76 \text{ m}^3 / \text{d}$ which is equivalent in energy terms to $6983775.71 \text{ Btu} / \text{d}$ with an economic value of \$ 659,244.34 / year. The construction and commissioning of this type of treatment allows the operation of processes rather than requiring energy is able to generate with reduced cleanup costs and consistent use of organic waste for soil improvement.

14 Introducción

El desarrollo de las poblaciones ha provocado el incremento de la infraestructura habitacional, del desarrollo industrial, del requerimiento de servicios y de la población, esto conlleva a la generación de contaminantes en el ambiente, en particular en las fuentes de agua de que dispone la población.

Este efecto representa un tema de suma importancia para establecer los mecanismos para tratar las aguas residuales. Los sistemas establecidos para tal fin atienden el mejoramiento y la conservación de los cuerpos de agua que sirven de abastecimiento.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, tiene como objetivo principal el reducir o corregir algunas características indeseables, de tal manera que su uso y disposición final cumplan las normas y criterios definidos por las autoridades sanitarias. En el caso del tratamiento biológico se busca reducir la materia orgánica del agua residual a través del metabolismo bacteriano. Un mecanismo básico para dicha conversión, es el tratamiento anaeróbico, que se puede desarrollar cuando no existe oxígeno disuelto, dando como productos finales gases como el metano y dióxido de carbono.

Desde el punto de vista de la DQO, un tratamiento aeróbico convierte el 50 % de este valor en lodos, la compactación y tratamiento de estos lodos tiene un costo elevado, además de que el proceso requiere el suministro de oxígeno para funcionar. En cambio, la DQO en una degradación anaeróbica se convierte hasta en un 90 % en biogás, que es un combustible valioso por ser un productor neto de energía, los lodos generados resultan lo suficientemente estabilizados por el proceso mismo, por lo que pueden ser dispuestos directamente sin tratamiento previo.

Los beneficios esperados del tratamiento anaerobio son del orden económico y medioambiental, ya que se enfoca en los factores que inciden en el cambio climático, proveen biogás como fuente de energía en lugar de quemarlo para eliminarlo como CO₂, reduce la carga contaminante que pueda llegar a las plantas Municipales de tratamiento aerobio y en consecuencia reduce los costos de saneamiento.

El biogás tiene en promedio un poder calórico entre 15,873.02 y 23,809.52 Btu/m³, la energía contenida puede ser utilizada en plantas generadoras de energía eléctrica o en otros sistemas de combustión debidamente adaptados para tal efecto, todo esto en lugar de utilizar hidrocarburos de origen fósil como fuentes energéticas.

14.1 Justificación

En virtud de que actualmente las aguas residuales generadas por las grandes concentraciones de población se tratan aerobiamente consumiendo grandes cantidades de energía, y considerando la favorable condición física, química y biológica de estas aguas se propone un tratamiento de depuración de aguas residuales a través de biodigestión anaerobia con el fin de generar biogás, el cual podrá dotar a las mismas unidades habitacionales de una fuente de energía de origen no fósil, al tiempo de fomentar la cultura del cuidado al medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos.

14.2 Hipótesis

Evaluar el potencial de generación de biogás en las aguas residuales de la Unidad Habitacional La Margarita y demostrar que en Puebla se cuenta con un alto potencial de generación de biogás a partir de la materia orgánica contenida en las aguas residuales de origen doméstico proveniente de grandes concentraciones urbanas. Es posible obtener ventajas ambientales y económicas tratando las Aguas Residuales de Origen Doméstico (AROD) con un tren de tratamiento propuesto, para lo cual se realizará una evaluación teórica, de cuyos resultados concluiremos si la hipótesis es cierta o falsa.

14.3 Planteamiento del problema

De acuerdo al Banco Mundial, en promedio menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades de América Latina reciben tratamiento, con la ausencia de éste, las aguas negras son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo para la salud, la ecología y los animales. En México, el acceso, la eficiencia y la calidad de los servicios de agua y saneamiento varían mucho de una localidad a otra, reflejando en gran medida los diferentes niveles de desarrollo en todo el país. En general, el sector de agua y saneamiento mexicano está marcado por problemas como baja eficiencia técnica y comercial en la prestación de los servicios, calidad inadecuada de los servicios de abastecimiento de agua, calidad deficiente de los servicios de saneamiento (especialmente en lo que respecta al tratamiento de aguas residuales) y cobertura insuficiente en las zonas rurales más pobres.

El 63% del agua utilizada proviene de fuentes superficiales y el restante 37% proviene de acuíferos. El intenso crecimiento demográfico y la migración interna a regiones semiáridas y áridas resultan en una sobreexplotación de los recursos hídricos de México. Según la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) la sobre extracción del agua subterránea representa casi el 40% de su uso total.

Actualmente, sólo el 30% de las aguas servidas reciben algún tipo de tratamiento. La CONAGUA estima que el 52% del total de los recursos hídricos superficiales está muy contaminado, mientras que el 39% está contaminado de forma moderada y sólo el 9% es de calidad aceptable.

La alta densidad de población en las unidades habitacionales genera grandes cantidades de descarga de materia orgánica contenida en sus aguas residuales, impactando fuertemente los sistemas de tratamiento municipales generalmente aerobios, los cuales se caracterizan por el alto costo de consumo de energía.

14.4 Objetivo general

Medir los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual para evaluar el potencial de generación de biogás que se puede obtener del agua residual doméstica de la Unidad Habitacional La Margarita, Puebla, Pue.

14.5 Objetivos particulares

Proponer un tren de tratamiento económico y ambientalmente atractivo para el saneamiento del agua residual involucrando un proceso anaerobio.

Dimensionar la generación de biogás a partir de aguas residuales.

Traducir el potencial de biogás obtenido a su valor energético y económico expresados en Btu/día.

14.6 Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica para conocer y valorar las ventajas significativas de la aplicación de los procesos anaerobios en el tratamiento de las aguas residuales muy diluidas, como es el caso del agua residual doméstica, pues ante estos escenarios el método presenta comparativamente menos ventajas.

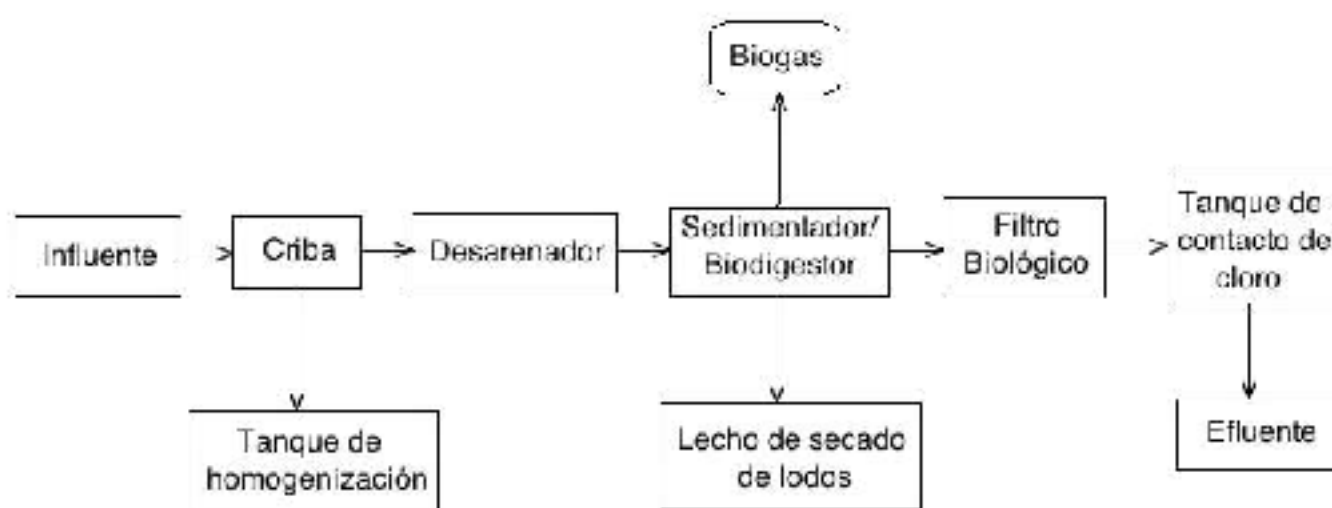
Se procedió a dimensionar la producción de biogás a partir del agua de origen doméstica y valorar el costo beneficio del proyecto, por tal motivo se llevó a cabo una caracterización del agua residual e investigación de información de la Unidad Habitacional para los cálculos de diseño de cada una de las unidades de tratamiento que conformaron el tren completo del proceso.

Las Unidades fueron consideradas en el orden siguiente para su operación: criba-desarenador-vertedor suto-sedimentador-biodigestor anaerobio –filtro anaerobio-tanque de cloración-lecho de secado. Los cálculos de diseño se hicieron de acuerdo a las fórmulas que relacionan el gasto medio y volumen de 24 h, la población a atender, la dotación per cápita, velocidades horizontal y de sedimentación, áreas transversales y superficiales, tiempos de retención hidráulica y de retención celular, coeficientes, tamaños de partículas y costos de operación y construcción de plantas de acuerdo a los datos que brinda la Comisión Nacional del Agua.

Así mismo el cálculo de la producción de biogás se realizó con base en la Metodología para determinar la producción de gas en un reactor anaerobio con crecimiento en suspensión.

En este sentido se propuso un tratamiento de depuración de aguas residuales a través de la biodigestión anaerobia con el fin de generar biogás, mismo que puede ser utilizado como fuente de energía alterna por la unidad habitacional La Margarita, ya sea como energía calorífica o transformada a energía eléctrica según las necesidades existentes en el sitio. Así, mientras se tratan las aguas residuales, también se obtiene biogás para su aprovechamiento. El tren de tratamiento propuesto y mostrado en la Figura 14, considera un pretratamiento que consiste en cribado y desarenación, posteriormente un tratamiento primario consistente de un sedimentador, continuando con un biodigestor que hará el tratamiento secundario (ambos en una misma estructura), finalmente se propone un filtro anaerobio y cloración como tratamiento terciario; para fines de prever una variación en el gasto se propuso el diseño de un tanque homogenizador. La propuesta de diseño permitirá trabajar con una retención del 50% de sólidos en el biodigestor y aproximadamente del 35% en el filtro anaerobio, lo que alcanzará una eficiencia del 85% de remoción.

Figura 14 Diagrama del proceso de tratamiento del agua residual doméstica de la Unidad Habitacional La Margarita



14.7 Materiales y Métodos

Caracterización del agua residual. Con el fin de contar con los parámetros de diseño se realizó la caracterización del agua residual de la Unidad Habitacional La Margarita conforme a la norma NOM-002-SEMARNAT-1996, misma que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano, teniéndose los resultados registrados en la Tabla 14.

Tabla 14 Caracterización del agua residual

Lugar: Unidad Habitacional La Margarita. Punto de muestreo: Descarga al río Alseseca. Fecha de muestreo: 06/10/2011. Hora de muestreo: Instantáneo. Período de análisis: del 07 al 13 de octubre del 2011.				
PARÁMETRO	MÉTODO DE PRUEBA	UNIDAD	CONC. CUATIFICADA	CONC. PERMISIBLE *
Sólidos sedimentables	NMX-AA-04-SFCI-2000	ml/l	1.0	7.5
Sólidos suspendidos totales	NMX-AA-34-SFCI-2001	mg/l	280.0	125.00
Demanda bioquímica de oxígeno	NMX-AA-28-SFCI-2001	mg/l	210.00	150.00
Grasas y aceites	NMX-AA-05-SFCI-2001	mg/l	26.81	75.00
Materia flotante	NMX-AA-06-SFCI-2000	Malla de 3 mm de claro libre	Presente	Ausente
Temperatura	NMX-AA-07-SFCI-2000	°C	23.90	40.00
Potencial de hidrógeno	NMX-AA-08-SFCI-2000	Unidad	7.29	5.5-10
Coliformes fecales	NMX-AA-42-SFCI-1987	NMP/100 ml	7500000000.00	N.N
Coliformes totales	NMX-AA-42-SFCI-1987	NMP/100 ml	11000000000.00	N.N
Sólidos suspendidos volátiles	NMX-AA-34-SFCI-2001	mg/l	112.50	N.N
Demanda química de oxígeno	NMX-AA-30-SFCI-2001	mg/l	352.00	N.N
Alcalinidad total	NMX-AA-36-SFCI-2001	mg/l	426.3	N.N

14.7.1 Diseño de las unidades de tratamiento

Para llevar a cabo los cálculos para diseño de las unidades de tratamiento se tomó la decisión de considerar el dato de 20,663 habitantes como la Población de la Unidad Habitacional La Margarita, mismo que correspondió al censo del año 2000, única vez en que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) realizó el recuento por colonia. Cabe señalar que esta Institución nos facilitó dos datos más, correspondientes a los censos de los años 2005 y 2010 (18,377 y 17,077 habitantes respectivamente), en esas ocasiones los censos no se realizaron por colonia sino por Área Geoestadística Básica (AGEB), dichos datos se obtuvieron sumando las áreas que conforman la Unidad Habitacional, y en ellos se observó la tendencia a la baja en el número de personas que habitan esta Unidad.

Motivo por el cual no se realizó un cálculo de proyección poblacional, en su lugar se consideró el valor más alto de los tres censos, con el argumento de diseñar un proceso con un dato de población que garantice la cobertura de saneamiento del agua residual en caso de tener un incremento nuevamente; asimismo se consideró el promedio de 150 litros de agua por día como dotación per cápita y el valor del gasto medio. La información se presenta en la Tabla 14.1.

Tabla 14.1 Información Censo 2000 y cálculo de gasto medio de agua residual

SCINCE por colonias año 2000 INEGI					
Clave 217	Colonia Unidad Habitacional La Margarita	Clave 217 F	Población total	20,663	
Información Censal 2010, Estado de Puebla.					
Población total	5,779,829				
Información Censal 2010, Estados Unidos Mexicanos					
Población total	112,336,538				
unidad habitacional la margarita					
Dotación per cápita	dp	150	l/d		
No. de habitantes	No. de H	20663	hab		
Coefficiente de aportación del agua residual (Cr)	Cr	0.8		(70-80%)	
Gasto medio	Q	$Q=dp*No. de H*Cr$			
		28.69861111	l/s	0.03	m ³ /s
Gasto máximo	Qmax	$Qmax=2.5*Q$			
		71.74652778	l/s	0.07	m ³ /s
Gasto mínimo	Qmin	$Qmin=0.5*Q$			
		14.34930556	l/s	0.01	m ³ /s

Tabla 14.2 Información Censo 2000 y cálculo de gasto medio de agua residual (Continuación)

Estado de Puebla					
Dotación per cápita	dp	150	l/d		
No. de habitantes	No. de H	5779829	hab		
Coefficiente de aportación del agua residual	Cr	0.8		(70-80%)	
Gasto medio	Q	$Q=dp*No. de H*Cr$			
		8027.540278	l/s	8.03	m ³ /s
Gasto máximo	Qmax	$Qmax=2.5*Q$			
		20068.85069	l/s	20.1	m ³ /s
Gasto mínimo	Qmin	$Qmin=0.5*Q$			
		4013.770139	l/s	4.01	m ³ /s
Estados Unidos Mexicanos					
Dotación per cápita	dp	150	l/d		
No. De habitantes	No. de H	112336538	hab		

Coefficiente de aportación del agua residual	Cr	0.8		(70-80%)	
Gasto medio	Q	$Q=dp*No. de H*Cr$			
		156022.9694	l/s	156	m ³ /s
Gasto máximo	Qmax	$Qmax=2.5*Q$			
		390057.4236	l/s	390	m ³ /s
Gasto mínimo	Qmin	$Qmin=0.5*Q$			
		78011.48472	l/s	78	m ³ /s

14.8 Resultados y análisis de resultados

Los resultados obtenidos contemplan por un lado las dimensiones de las unidades de tratamiento (Tablas 14.3, 14.4, 14.5, 14.6, 14.7, 14.8, 14.9, 14.10 y 14.11) y por otro lado la valoración de la cantidad de metano que es posible generar a partir del agua residual doméstica, así como el volumen de biogás que podría ser empleado como fuente de energía alterna al mismo tiempo de resolver una necesidad de saneamiento de agua residual doméstica.

Tabla 14.3 Diseño de la Criba

Concepto	Valor numérico	Unidades
Velocidad del agua	0.3	m/s
Ancho del canal	1	m
Largo del Canal	3	m
Área de la sección transversal	0.096	m ²
Tirante	9.6	cm
Número de barras	29.5	barras
Ancho de barra	1	cm
Separación entre barras	2.5	cm
Número de espacios libres	28.5	espacios
Ángulo de inclinación de las barras	60	°
Espacio libre efectivo entre dos barras	1.5	cm
Espacio libre inicial y final	0.25	cm
Espacio libre total	42.85	cm
Ancho útil	71.93	cm
Espacio ocupado por barras	29.57	cm
Velocidad a través de las cribas limpias	0.42	m/s
Pérdida de la carga	2.25	cm
Tirante después de la criba	7.31	cm

Tabla 14.4 Diseño del desarenador

Concepto	Valor numérico	Unidades
Tamaño de la partícula	0.02	cm
Tiempo de residencia hidráulica	44	seg
Velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición	2.8	cm/s
Número de Reynolds	5.56	
Largo del canal	3.19	m
Ancho del canal	1	m
Altura	0.39	m
Volumen del canal desarenador	1.26	m ³
Área superficial	3.19	m ²
Área transversal	0.096	m ²
Velocidad crítica de arrastre de la partícula	22.7	cm/s
Tirante del agua	9.6	cm
Velocidad horizontal	0.3	m/s
Volumen de arena en el canal	74.4	l/d
Carga hidráulica	32.33	m ³ /m ² .h
Factor de área requerido	0.11	m ² /(l/s)
Pendiente	2.89	%

Tabla 14.5 Diseño del tanque homogenizador

Concepto	Valor numérico	Unidades
Volumen de gasto medio	0.0287	m ³ /s
Volumen necesario para homogeneizar el caudal	400	m ³
Volumen del tanque homogeneizador	405	m ³
Largo	15	m
Ancho	9	m
Profundo	3	m

Tabla 14.6 Diseño del vertedor suto

Concepto	Valor numérico	Unidades
Ancho	1	m
Velocidad de escurrimiento constante	0.2	m/s
Altura	14.35	cm
Altura máxima	35.88	cm
Altura para líq. cloacal	2.5	cm
Ancho libre del vertedero a la cota	12.57	cm
Área transversal del canal	0.143	m ²
Constante del vertedor	0.0476	m ³ /s.m

Tabla 14.7 Diseño del sedimentador

Concepto	Valor numérico	Unidades
Tiempo de residencia hidráulica	3	h
Altura	3	m
Ancho	9	m
Largo	11.48	m
Volumen de sedimentar	309.96	m ³
Área superficial	103.32	m ²
Área transversal	27	m ²
Velocidad de sedimentación	0.028	cm/s
Velocidad horizontal	0.1063	cm/s
Carga superficial	24	m ³ /d.m ²

Tabla 14.8 Diseño del biodigestor

Concepto	Valor numérico	Unidades
Tiempo de residencia hidráulica	1.14	d
Tiempo de residencia celular	65.75	d
Masa de lodos	258.78	kg/d
Volumen del biodigestor	2835.88	m ³
Ancho	20	m
Altura	4.5	m
Largo	32	m
Eficiencia de remoción	50	%
Tasa de producción de metano	200.7	m ³ /d
Tasa de producción de biogás	308.76	m ³ /d
Nitrógeno disponible/Nitrógeno requerido	49.6/1.44	kg/d
Fósforo disponible/Fósforo requerido	12.39/0.289	kg/d
Requerimiento de alcalinidad		
Como NaHCO ₃	4.47	ton/d
Como CaO	1.49	ton/d

Tabla 14.9 Diseño del filtro anaerobio

Concepto	Valor numérico	Unidades
Altura	3.3	m
Ancho	10.5	m
Largo	16.5	m
Volumen	571.73	m ³
Tiempo de retención hidráulica	5	h
Área superficial	173.25	m ²
Área transversal	34.65	m ²
Material filtrante: Tezontle		
Densidad	1.4	g/cm ³
Tamaño de la piedra tezontle	1.5-2	Pulgadas
Espesor	2.5	m
Volumen de tezontle	433.125	m ³
Velocidad de flujo ascendente	0.0166	cm/s

Tabla 14.10 Diseño del tanque de cloración

Concepto	Valor numérico	Unidades
Largo	6.5	m
Ancho	4.5	m
Profundo	1.5	m
Volumen	43.88	m ³
Área superficial	29.25	m ²
Área transversal	6.75	m ²
Velocidad horizontal	0.43	cm/s
Caudal mínimo de agua para la operación del eyector	24.6	ml/s
Capacidad requerida para el equipo	310	g/h
Área de la tubería de alimentación del agua	0.27	cm ²
Diámetro de la tubería de alimentación del agua	5.89	mm
Pérdida de carga por fricción	30.08	mm
Coefficiente total de pérdida de carga por accesorios	18.37	cm
Carga dinámica total	30.21	mca*
Potencia de la bomba	0.0117	HP
Tiempo de contacto	25	min
Dosis máxima de cloro	3	mg/l
Capacidad máxima del clorador comercial	750	g/h

*mca: Metros de columna de agua

Tabla 14.11 Diseño del lecho de secados

Concepto	Valor numérico	Unidades
Tiempo de secado	66	d
Volumen de lodos	334.87	m ³
Altura del lecho	2	m
Ancho del lecho	12	m
Largo del lecho	19	m
Volumen del lecho de secados	336	m ³
Pendiente	2	%
Capa de ladrillo con arena gruesa intercalada	1	capa
Espesor de capa de grava mediana	30	cm
Espesor de capa de arena mediana	30	cm
Diámetro de los tubos de drenaje	15-20	cm

14.8 Rendimiento del proceso en el saneamiento del agua residual de la Unidad Habitacional la Margarita

A partir del biogás generado, se realizó el cálculo en su equivalente energético y económico considerando las unidades energéticas Btu, que son las usadas para la medición de la energía de los barriles de petróleo crudo, esto con el fin de hacer una comparación con un referente internacional. Los datos obtenidos se registran en la Tabla 12, donde se observa que la generación de biogás en la Unidad Habitación La Margarita se estima alrededor de 308.75 m³/d lo que representa un equivalente energético de 6,938,775.71 Btu/d, que a su vez equivale a 1.2 barriles de petróleo crudo/d, y expresados en su correspondiente valor económico es de \$659,244.34 pesos al año, esto con base en que cada barril de petróleo crudo tiene un costo de 100 dólares y a un tipo de cambio aproximado de \$15.00 pesos mexicanos por cada dólar.

Tabla 14.12 Rendimiento energético y económico del biogás. Unidad habitacional la Margarita

Concepto	Valor numérico	Unidades
Gasto medio	0.0287	m ³ /s
Población	20,663	hab
Metano.	200.69	m ³ /d
Biogás.	308.75	m ³ /d
Equivalente energético del biogás.	6,983,775.71	Btu/d
Equivalente a número de barriles de petróleo crudo en el biogás.	1.2	Barriles/d
Equivalente económico del biogás.	\$659,244.34	Pesos mexicanos/año

14.9 Comparativo en costos por operación aerobia y anaerobia

El costo por m³ de agua residual tratada por lodos activados (aerobios) es de \$2.17, y por métodos anaerobios es de \$1.03, lo que vendría representando para el caso particular del agua residual de la Unidad Habitacional La Margarita, con un gasto de 2480 m³/d, un costo de operación de \$5,381.60 y de \$2,554.40 respectivamente; esto significa un ahorro de más del 50% por día para el tratamiento anaerobio. Considerando un costo anual para tratamiento anaerobio de \$1,964,030.54 y para el anerobio de \$932,235.55, y el equivalente energético anual por Biogás generado, se tendría un ahorro de \$1,591,479.89 pesos anuales, estos datos se muestran en la Tabla 14.13.

Tabla 14.13 Comparativo de costos por operación aerobia y anaerobia

Costo anual de tratamiento aerobio del agua residual doméstica de la U.H. La Margarita	Costo anual de tratamiento anaerobio del agua residual doméstica de la U.H. La Margarita	Equivalente económico anual por biogás generado	Costo real anual por tratamiento anaerobio	Ahorro anual por análisis comparativo
\$1,964,030.54	\$932,235.55	\$659,244.34	\$372,550.65	\$1,591,479.89

14.10 Comparativo en costos por construcción de tratamiento aerobio y anaerobio.

En términos de costo de construcción por m³/s de capacidad (millones de pesos), se consideraron dos factores obtenidos de estimaciones experimentales:328 (en millones de pesos) es el factor para el caso de lodos activados, mismo que se obtuvo del Programa de Saneamiento (CONAGUA 2007); las estimaciones incluyen gastos indirectos de ingeniería, supervisión de la obra, administración e imprevistos;134 (en millones de pesos) es el factor para una estimación basada en costo de construcción de Plantas de Tratamiento Anaerobias de Aguas Residuales de Bucaramanga, incluye gastos indirectos, administración y supervisión de obra.La Tabla 14.14, registra los costos para las necesidades de tratamiento de la Unidad Habitacional La Margarita cuyo gasto es de 0.029 m³/s.

Tabla 14.14 Comparativo de costos por construcción para tratamiento aerobio y anaerobio

Comparativo de costos por construcción para tratamiento aerobio	Costo de construcción para tratamiento anaerobio	Tiempo de recuperación de inversión con ahorro de operación anaerobia (años)
\$9.41 millones de pesos	\$3.84 millones de pesos	2.4

14.11 Conclusiones y recomendaciones

El uso de biodigestores anaerobios sí constituye una alternativa para el tratamiento de aguas domésticas con la generación de biogás y su aprovechamiento mediante la utilización de tecnología apropiada y con el control adecuado de las condiciones locales de parámetros que determinan la eficiencia del proceso. Dicha alternativa ofrece un modelo ecológico adaptado a las condiciones de un alto porcentaje de unidades habitacionales que generan grandes cantidades de agua residual y en general a municipios de entidades, asimismo en localidades que por contar con escasos recursos para solucionar las necesidades de servicios públicos y recurso agua, son consideradas zonas rurales. El valor energético del biogás puede ser aprovechado como energía alternativa pues, además de tener un poder calórico de entre 15,873.02 a 23,809.52 Btu/m³ cuando contiene entre el 60 y 70% de metano, equivale a 0.71 l de gasolina, 0.55 l de diesel o 0.45 l de gas licuado de petróleo, por lo que su utilidad también podría ser direccionada al reemplazo de cualquiera de estos combustibles con un rendimiento importante de energía.

14.12 Proyecciones de rendimiento del proceso en el Estado de Puebla

A partir de las estimaciones realizadas, se hizo una proyección de la cantidad de biogás que se pudiera generar si el agua residual de todo el estado de Puebla se tratara con esta metodología propuesta, los resultados se expresan en la Tabla 14.15.

Tabla 14.15 Rendimiento energético y económico del biogás. Estado de Puebla

Concepto	Valor numérico	Unidades
Gasto medio	8.03	m ³ /s
Población	5,779,828	hab
Metano.	56,134.51	m ³ /d
Biogás.	86,360.78	m ³ /d
Equivalente energético del biogás.	1,953,398,556	Btu/d
Equivalente a número de barriles de petróleo crudo en el biogás.	336.8	Barriles/d
Equivalente económico del biogás.	\$184,394,088.00	Pesos mexicanos/año

14.15 Proyecciones de rendimiento del proceso en el País

Si las aguas domésticas de todo el País se trataran de la forma referida, se obtendría un equivalente a 6,546 barriles de petróleo crudo/d lo cual se traduce a un valor económico de poco más de 3.5 mil millones de pesos anuales. La Tabla 14.16 contiene los datos calculados.

Tabla 14.16 Rendimiento energético y económico del biogás. País

Concepto	Valor numérico	Unidades
Gasto medio	156	m ³ /s
Población	112,336,538	hab
Metano.	1,091,028.25	m ³ /d
Biogás.	1,678,504.99	m ³ /d
Equivalente energético del biogás.	37,996,184,388.1	Btu/d
Equivalente a número de barriles de petróleo crudo en el biogás.	6,545.89	Barriles/d
Equivalente económico del biogás.	\$3,583,876,888.36	Pesos mexicanos/año

14.16 Referencias

Bruce E. Rittmann, Perry L. McCarty. (2001). Environmental Biotechnology: Principles and Applications. Editorial McGraw-Hill International Editions.

Castillo Rodríguez Francisco, Roldán Riz Ma. Dolores, Blasco Plá Rafael, Huertas Romero María José, Caballero Domínguez Francisco J. (2005). Biotecnología Ambiental. Editorial Tébar.

Clair N. Sawyer, Perry L. McCarty, Gene F. Parkin. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. 4ª Edición, Editorial Mc Graw Hill.

Gilbert M. Masters, Wendell P. Ela. (2008). Introducción a la Ingeniería Medioambiental. 3ª Edición. Editorial Pearson Prentice Hall.

Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten. (2005). Ingeniería y ciencias ambientales. Editorial Mc Graw Hill.

Mark M. Benjamin. (2001). Water Chemistry. Editorial MaGraw Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering.

Metcalf and Eddy. (2003). Wastewater Engineering, treatment and reuse. Fourth edition. Mc Graw Hill.

R.S. Ramalho. (2003). Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté S.A.

Raven Berg. (2006). Environment. 5ª Edición. Editorial Wiley.

Tortora, Funce, Case. (2007). Introducción a la Microbiología. 9ª Edición. Editorial Panamericana.

