

# Implementación del Colector Solar Parabólico para tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Chiltepeque Puebla, México

J. Antonio Ticante Roldán<sup>2</sup>, Ma. de los Ángeles Velasco Hernández<sup>1</sup>, Raúl O. Montellanos Pérez<sup>1</sup>, J. Adrián Saldaña Munive<sup>2</sup>, Mariana Hidalgo Aguirre<sup>1</sup>

Colegio de Ingeniería Ambiental<sup>1</sup>, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas<sup>2</sup>

Facultad de Ingeniería Química<sup>1</sup>, Instituto de Ciencias<sup>2</sup>

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Puebla, Pue.; México

antonio.ticante@correo.buap.mx, ambientalbuap@yahoo.com.mx

**Abstract**—Decomposing garbage produces foul-smelling liquid black and with high content in pollutants, called leachate, which have become by dynamic decomposition in risk to health, and that seep into soil and contaminate groundwater, in addition to drain and accumulate on the surface causing volatile compounds that are transported by air currents into different residential areas affecting vulnerable populations without being classified as disease as the causal agent is unknown. Currently there are no regulations or regulatory treatment for these liquid compounds from landfill, which is necessary to implement their management through the use of parabolic solar collector as an efficient and economical alternative for treatment in Chiltepeque, Puebla. The results of this study show that the parabolic solar collector reaches temperature ranges from 180 to 200 °C efficiently to evaporate 300 ml of leachate in about 6 hours, and it was found that the same volume takes 6 days to dry whit efficiency at room temperature, so the decrease in the volume of leachate and the contents of organic and solid matter in all its forms, eliminate the risk to the health of the population if they are handled in this way.

**Key words**— *Solar collector, leached, contamination, sanitary landfills.*

**Resumen**— La descomposición de basura produce líquidos mal olientes de color negro y con alto contenido de contaminantes denominados lixiviados, que se han convertido por su dinámica de descomposición en riesgo para la salud, ya que se filtran en suelo y contaminan mantos acuíferos, además de escurrirse y acumularse en la superficie generando compuestos volátiles que son transportados por corrientes de aire hacia distintas áreas habitacionales afectando a la población vulnerable sin que estén tipificados como enfermedad ya que se desconoce el agente causal. Actualmente no existe normativa de regulación ni tratamiento para estos compuestos líquidos provenientes de rellenos sanitarios, lo que hace necesario implementar su manejo a través del uso del colector solar parabólico como alternativa eficiente y económica para su tratamiento en Chiltepeque, Puebla. Los resultados de este estudio muestran que el colector solar parabólico alcanza intervalos de temperatura de 180 a 200 °C, con eficiencia para evaporar 300 ml de lixiviado en 6 horas aproximadamente, además se comprobó que el mismo volumen tarda 6 días en secarse a temperatura ambiente, por lo que la disminución del volumen de lixiviados, así como en los contenidos de materia orgánica y sólidos en todas sus formas, eliminan el riesgo para la salud de la población si son manejados de esta forma.

**Palabras claves**— *Colector solar, lixiviado, contaminación, relleno sanitario.*

## I. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Puebla cada habitante genera en promedio 1.0 kg de residuos, por lo que se generan aproximadamente 1,600 toneladas de residuos sólidos municipales por día. Si estos residuos no son tratados, generan riesgos a la salud y hacia el ambiente como: proliferación de vectores de enfermedades (moscas, mosquitos, cucarachas, ratas, etc.), y, por la variedad y concentración de sustancias que poseen provocan contaminación del aire, suelo, aguas superficiales y subterráneas.

La disposición final de residuos sólidos urbanos ha evolucionado de vertederos a cielo abierto hasta rellenos sanitarios altamente tecnificados, donde se controlan emisiones líquidas y gaseosas potencialmente peligrosas para el medio ambiente y la salud pública, en ambos, no se controlaban

lixiviados que escurrían a fuentes superficiales de agua o bien se infiltraban a capas inferiores del terreno.

La SEMARNAT confirmó que precipitaciones sobre la zona de confinamiento de residuos provoca que se rebase la capacidad de la laguna de lixiviados. En Puebla, la totalidad de residuos sólidos municipales no peligrosos de la ciudad se depositan en el relleno sanitario de Chiltepeque, ubicado en la junta auxiliar de San Tomas Chiautla, donde se colocan en celdas y son compactados con arcilla, que sirve como filtro natural (INE, 2007).

La generación de lixiviados depende de factores como el grado de compactación de desechos, su grado de humedad inicial, material de las celdas, precipitación pluvial, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y capacidad de campo del relleno. La composición del lixiviado depende del desecho confinado, nivel de degradación de residuos y volumen producido. En el proceso, no pueden separarse líquidos provenientes de reacción bioquímica de los de lixiviación.

La concentración de contaminantes en lixiviados varía con el tiempo, por lo que difícilmente puede emplearse con éxito un tratamiento único. Lixiviados de rellenos jóvenes, poseen altas concentraciones de materia orgánica y elevados índices de biodegradabilidad, lo que hace posible que sean tratados eficientemente por procesos biológicos; para lixiviados de rellenos viejos, con índices de biodegradabilidad inferiores, estos tratamientos no son eficientes (Coulter y Mahoney, 1997).

Los lixiviados generados en el relleno sanitario se han convertido en importantes contaminantes de suelos, mantos acuíferos, etc., ya que no se ha establecido una gestión con el fin de garantizar la protección del medio ambiente.

Este trabajo propone una alternativa para el tratamiento de lixiviados, ya que presenta resultados de la implementación de un colector solar parabólico para el secado en el relleno sanitario de la Ciudad de Puebla, se apoya en las ventajas de un colector paraboloide de revolución, que son:

1. Debido a que siempre apuntan al sol, son el sistema de concentración solar más eficiente.
2. Tienen concentraciones entre 600-2000 °C.
3. El colector como modulo se puede ocupar de manera independiente o como parte de un grupo de colectores. (Farrington et al., 1984).

Esta investigación se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003; y la caracterización fisicoquímica se realizó de acuerdo a métodos de Normas Mexicanas aplicables.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

Se ha evaluado la eficiencia de remoción de materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno) y color de lixiviados del relleno sanitario de Xalapa mediante el uso de extracto enzimático empleando un reactor biológico secuencial por lotes, donde se estableció que el extracto enzimático no tuvo efecto en la eliminación de Demanda Química de Oxígeno, los resultados se explican en función de la baja concentración de extracto enzimático que se utilizó y la posible inhibición de enzimas por metales presentes en el lixiviado (Zaragoza, 2014).

En otro tratamiento para lixiviados, utilizaron electrocoagulación como tratamiento primario, la fitorremediación como tratamiento secundario y la adsorción en carbón activado como tratamiento terciario. Los resultados obtenidos muestran valores de remoción que varían de 40-90%. Logrando valores de la normatividad vigente (Guanoluisa, 2012).

La radiación solar se ha utilizado en diferentes procesos a través de la historia, como: secado de carne, frutas, y deshidratación de otros artículos. En el caso de lixiviados se utilizan piscinas de evaporación para disminuir volumen, y disponer los lodos resultantes en el mismo relleno sanitario.

### III. METODOLOGÍA

Se construyó un Colector Solar Parabólico con curvatura de 15.01m y una abertura total de 1.12 m, con un área de 1 m<sup>2</sup>, de posicionamiento manual, con un peso de 4.5 kg (Figura 1).

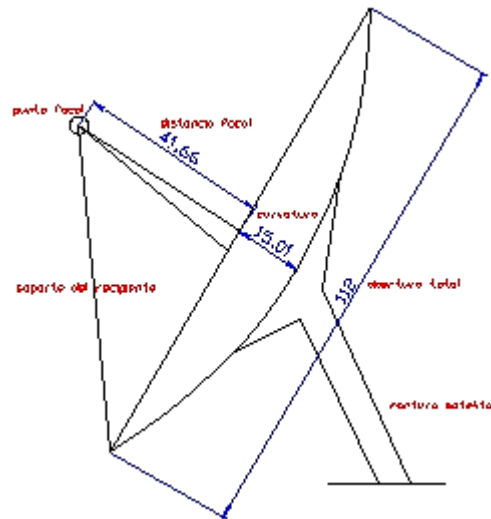


Fig. 1. Diseño del Colector Solar Parabólico.

#### Materiales

- Madera (1.25 m de longitud y 32 cm de ancho)
- Lamina de aluminio calibre 26 (aproximadamente 2.5 kg)
- Polarizado color plata (1 m lineal)
- Montura de antena satelital
- Alambroón 1 kg
- Recipiente de aluminio o cobre (500 ml. aprox.)
- Clavos
- Tornillos para madera (2 pulgadas)
- Pinzas para cortar lámina
- Martillo
- Alambre
- Pinzas

Construcción del Colector Solar Parabólico

1. Con ayuda de Microsoft Excel se graficó una parábola con la ecuación 1, se utilizaron dimensiones de 1.10m x 0.90 m.

$$y^2 = 4fx \tag{1}$$

2. Se colocó la parábola sobre madera y se marcó dejando 4 cm de intervalo. Se realizaron cortes con una sierra especial (Figura 2), y se ensambló la madera con tornillos de 2 pulgadas (Figura 3).



Fig. 2. Cortes paraboloides



Fig. 3. Ensamblado

Se colocó lámina de aluminio en forma de pétalos, dejando aristas para clavarlas a la madera (Figura 4), y se colocó el polarizado (Figura 5).



Fig. 4. Lámina de aluminio



Fig. 5. Polarizado

3. Se colocó la montura satelital con ayuda de alambre y soportes del recipiente para realizar el secado de lixiviados (Figura 6).



Fig. 6. Colector Solar Parabólico.

**Muestreo de lixiviados**

Debido a falta de legislación en materia de lixiviados, el muestreo se realizó con base a la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. El muestreo se realizó en lagunas de oxidación del relleno sanitario de Chiltepeque.

Se realizó determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno, pH, Conductividad, Sólidos disueltos totales y Temperatura de la muestra de lixiviados como parte de su caracterización fisicoquímica.

**Pruebas de secado**

Se utilizó un termómetro con escala de 400°C, el Colector Solar Parabólico y un recipiente con capacidad de 400 ml.

Incidencia solar:

1. Se orientó el Colector Solar Parabólico hacia el sol.
2. Se colocó el recipiente en el punto focal del Colector Solar Parabólico.
3. Se registró la temperatura en el punto focal.
4. Se agregó al recipiente lixiviado (300 ml.) y se expuso a la energía solar durante 6 h.
5. Se registró el tiempo y temperatura a intervalos de 10 min.
6. Se dejó hasta la evaporación completa anotando el tiempo y orientando el colector conforme el sol avanza.
7. Registro de datos

**IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En todas las pruebas se colocaron 300 ml de lixiviados, se anotó la temperatura ambiente y se llenó un registro con las observaciones. (Tablas I, II, III y IV)

Tabla I. Resultados de la primera prueba en dos muestras de lixiviados.

Temperatura ambiente: 21°C						
Hora solar	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones
Muestra 1 (05 de Febrero de 2010)			Muestra 2 (06 de Febrero de 2010)			
10:00	152	18	Ebullición después de 8 min y 30 seg de exposición	152	18	Ebullición después de 8 min y 30 seg de exposición
11:00	128	80	Se presentó nubosidad	190	94	Origen de espuma
12:00	186	94	Se originó espuma	190	94	-----
13:00	190	94	-----	190	94	-----
14:00	200	94	Desaparición de espuma.	200	94	Desaparición de espuma.
15:00	200	94	-----	200	94	-----
16:00	193	92	La Temperatura ambiente descendió con presencia de ráfagas de viento	190	91	-----

Tabla II. Resultados de la segunda prueba en dos muestras de lixiviados.

Temperatura ambiente: 24°C				Temperatura ambiente: 23°C		
Hora solar	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones
Muestra 1 (13 de Marzo de 2010)				Muestra 2 (14 de Marzo de 2010)		
10:00	150	18	Ebullición después de 5 min de exposición	152	18	Ebullición después de 5 min de exposición
11:00	198	94	Origen de espuma	185	80	----- -----
12:00	198	94	Desaparición de espuma.	198	94	Origen de espuma
13:00	198	94	-----	198	94	Desaparición de espuma.
14:00	200	94	-----	200	94	----- -----
15:00	143	80	Se presentó nubosidad con ráfagas de viento	200	94	----- -----
16:00	98	65	Continuo la nubosidad, con una sensación térmica de 24°C	198	94	----- -----

Tabla III. Resultados de la tercera prueba en dos muestras de lixiviados.

Temperatura ambiente: 25°C				Temperatura ambiente: 25°C		
Hora solar	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones
Muestra 1 (09 de Abril de 2010)				Muestra 2 (10 de Abril de 2010)		
10:00	152	21	Ebullición después de 5 min de exposición	156	21	Ebullición después de 5 min de exposición
11:00	198	92	Origen de espuma	180	80	Origen de espuma
12:00	200	94	Desaparición de espuma.	198	92	----- ----
13:00	200	94	-----	198	92	Desaparición de espuma.
14:00	200	94	-----	198	92	----- ----
15:00	200	94	-----	198	92	----- ----
16:00	-----	60	Nubosidad total	198	92	----- ----

Tabla IV. Resultados de la cuarta prueba en dos muestras de lixiviados.

Temperatura ambiente: 26°C				Temperatura ambiente: 26°C		
Hora solar	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones	Temperatura del foco del CSP (°C)	Temperatura del lixiviado (°C)	Observaciones
	Muestra 1 (17 de Junio de 2010)			Muestra 2 (18 de Junio de 2010)		
10:00	160	23	Ebullición después de 4.5 min de exposición	160	23	Ebullición después de 4.5 min de exposición
11:00	198	92	Origen de espuma	198	92	Origen de espuma
12:00	198	94	Desaparición de espuma.	198	94	Desaparición de espuma.
13:00	198	94	-----	200	94	-----
14:00	200	94	-----	200	94	-----
15:00	200	94	-----	200	94	-----
16:00	198	94	-----	198	94	-----

Los resultados de temperatura del foco registradas en las tablas 1 al 4 se graficaron por muestra de lixiviado (figuras 7 y 8).

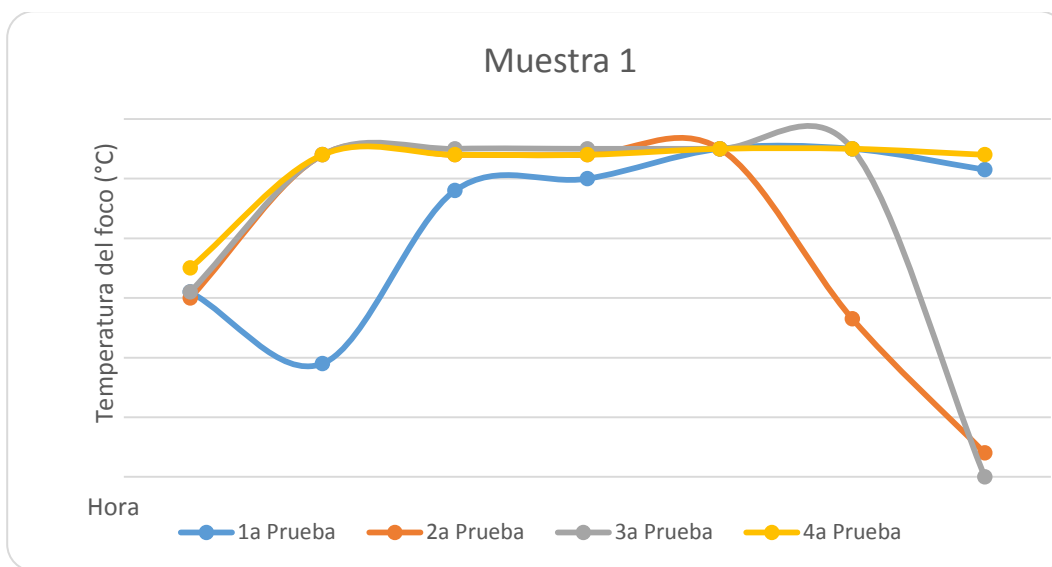


Fig. 7. Temperatura del foco registrada en pruebas de la primera muestra

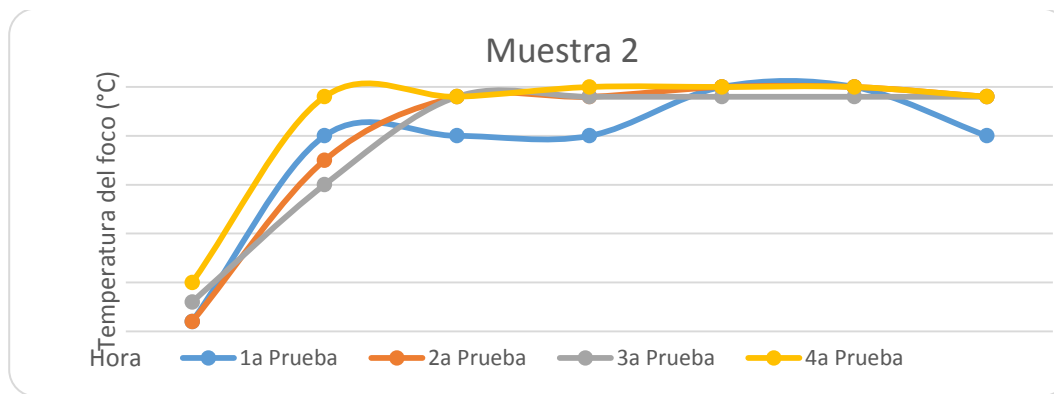


Fig. 8. Temperatura del foco registrada en pruebas de la segunda muestra

Fig. 9.

### V. CONCLUSIONES

Al realizar comparación de resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de muestras, previas y posteriores al tratamiento, se observó disminución del porcentaje de materia orgánica, y los sólidos en todas sus formas disminuyeron hasta obtener valores despreciables. Los valores obtenidos no exceden los límites máximos permisibles (NOM-002-SEMARNAT-1996) para descargas de aguas residuales. (Tabla V)

Tabla V. Caracterización fisicoquímica de las muestras antes y después del tratamiento con el CSP

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1 Tratada	Muestra 2 Tratada
pH	7.9	7.8	7.8	7.8
Conductividad (µs/cm)	10.5	10.0	10.0	10.0
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	132	145	-----	-----
Solidos suspendidos totales (mg/L)	3710	3780	-----	-----
Solidos disueltos totales (mg/L)	7850	9670	-----	-----
Solidos totales (mg/L)	16424	12460	-----	-----
Materia orgánica (%)	49.425	53.59	33.36	35.74
Fósforo total (mg/L)	2.36	2.5	2.21	2.36
Potasio total (mg/L)	1.98	1.42	1.34	1.4
Sodio total (mg/L)	2.46	1.8	2.02	1.8
Calcio (%)	5.355	6.902	4.165	6.783
Magnesio (%)	4.284	6.664	4.046	5.364
Nitrógeno total (%)	1.68	1.064	1.54077	0.924
Fierro <sup>2</sup> (mg/L)	1.91	1.2	0.60	0.50
Zinc <sup>3</sup> (mg/L)	1.66	2.02	1.73	0.95



1. La muestra no presentó Plomo, Cobre, Níquel, Cromo ni Cadmio
2. Actualmente no hay criterios sobre límite máximo permisible para Fierro.
- 3 Aunque la NOM-002-SEMARNAT-1996 establece como límite máximo permisible 10mg/L para el Zinc, es necesario tratar estos lodos ya que es un metal de bioconcentración a largo plazo puede provocar cáncer o defectos de nacimiento.

La implementación de un Colector Solar Parabólico permite reducir el volumen de lixiviados de manera rápida, sencilla y sustentable por elevar su temperatura al concentrar la energía térmica emitida por el sol, eliminando así el riesgo para la salud de la población, cumpliendo con la normatividad NOM-083-SEMARNAT-2004.

Este trabajo proporciona alternativas al tratamiento de lixiviados generados en rellenos sanitarios mediante el diseño y utilización del colector solar parabólico, con un costo aproximado de \$540.00 m.n., que alcanza intervalos de temperatura de 180 a 200 °C, con eficiencia suficiente para evaporar una muestra de 300 ml en 6 horas aproximadamente, se comprobó también que el mismo volumen tarda 6 días en secarse a temperatura ambiente.

## REFERENCIAS

- Coulter, R.G., Mahoney, E.M. 1997. Selecting optimum technology mixes for landfill leachate treatment, Air & waste Management Association, Canada.
- Farrington, Daniels, Blume. H. 1984. Uso directo de la energía solar. Ediciones Madrid, 301p.
- Guanoluisa, Acero Lorena J. 2012. Tesis de licenciatura en Ingeniería Química de la escuela politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito, Ecuador. Diseño de un sistema de tratamiento de lixiviados del relleno sanitario EL INGA mediante electrocoagulación y fitorremediación.
- INECC Instituto Nacional De Ecología y cambio climático: Estimación de los factores de emisión. Disponible: <http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2007a.pdf>. Con acceso: 15 de febrero de 2015
- Ley Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Puebla.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2004 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 Aguas residuales, muestreo. Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar sus características físicas y químicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las normas de métodos de prueba correspondientes.
- Zaragoza López, N. C. 2014. Estudio de la remoción de DQO en lixiviados mediante un extracto enzimático. Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana, campus, Xalapa, Veracruz, México.