

Vol. V, N° 12, Octubre 2016 • ISSN: 2007-6703

I+D+i

ESPACIO I+D

INNOVACIÓN MÁS DESARROLLO

Edición Especial



Revista Digital de la Universidad Autónoma de Chiapas
Indizada en los catálogos de **Latindex**, **BIBLAT**, **CLASE**,
SIC y **Actualidad Iberoamericana**.

ESPACIO I+D, *Innovación más Desarrollo*

Vol. v, N° 12 **ESPECIAL**, Octubre 2016.

Registrada en **Latindex, BIBLAT, CLASE, Actualidad Iberoamericana** y el **Sistema de Información Cultural** del CONACULTA.

Es una revista digital de divulgación científica y cultural de carácter multidisciplinario de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), cuenta con una periodicidad cuatrimestral y registro:

ISSN 2007-6703

Lucía G. León Brandi

Directora

Silvia E. Álvarez Arana

Gabriel Velázquez Toledo

Editores Responsables

Wilber Oswaldo Nucamendi Madrigal

Diseño Web y Editorial

Diego Mendoza Vazquez

Web Master

Ciudad Universitaria, Edificio D, Carretera Ejido
Emiliano Zapata, Kilómetro 8, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas;
México. C.P. 29000

Tel: 01 (961) 214 07 00 • 01 (961) 165 55 89

E-mail: espacioimasd@gmail.com,
espacioimasd@unach.mx

www.espacioimasd.unach.mx

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.



ÍNDICE

Editorial	5
XI Cátedra Nacional de Química CUMex 2016 «Dr. Mario Molina Henríquez» Retos y desafíos de la Química Ambiental para la Sustentabilidad	6

Artículos

Remoción de carga orgánica en lixiviados por medio de un biofiltro empacado con residuos estabilizados	9
Diseño y calibración de un simulador automático de lluvia	23
Reuso de desechos de conchas de ostión « <i>crassostrea virginica</i> », para la obtención de un material como aglomerante de mortero a partir de tratamientos de molienda y calcinación	38
Biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz usados mediante sistema de biopilas	49
Evaluación de un biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de vinazas	78
Manejo de residuos sólidos no peligrosos en una institución de educación superior	90
Reactor aerobio con medio de soporte fijo utilizando botellas de PET	104

Caracterización de procesos gravitacionales en diferentes
ambientes geológicos de Chiapas, México 116

Estudio de egresados del programa de médico cirujano de la
facultad de medicina humana, UNACH 131

Documentos Académicos

Turismo creativo 150

Estimados lectores:

En Octubre celebramos con toda la comunidad universitaria el aniversario de la fundación de nuestra Universidad Autónoma de Chiapas, específicamente la Revista Espacio I+D *Innovación más desarrollo* celebra con su integración a dos nuevos índices: Actualidad Iberoamericana y Sistema de Información Cultural de la Secretaría de Cultura (SIC), así como con la presentación de su primer Número Especial, resultado del trabajo interinstitucional entre dos universidades chiapanecas: UNACH y UNICACH, en el marco de la Cátedra CUMex: «Mario Molina Henríquez: *Retos y desafíos de la Química Ambiental para la Sustentabilidad*», de la cual se derivaron diversos productos científicos y de divulgación, entre los que destacan siete artículos que se presentan en este número y que provienen de universidades como Universidad Autónoma de Querétaro, el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Universidad Autónoma de Campeche, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tapachula, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y de la propia UNICACH. Además, en este número se incluyen dos artículos más denominados: *Caracterización de procesos gravitacionales en diferentes ambientes geológicos de Chiapas*, México, en coautoría UNICACH-Universidad Veracruzana y otro más denominado Estudio de egresados del programa de médico cirujano de la Facultad de Medicina Humana, UNACH.

En este mismo mes tiene lugar un evento editorial que nos proyecta como una casa de estudios de sólida tradición literaria: la «Quinta Feria Internacional del Libro México-Centroamérica», que tiene como invitada de honor a la Universidad de Nicaragua. Por lo que elaboramos un video titulado: «*Rubén Darío a 100 años de su muerte*», publicado en la sección de Breviarios Culturales.

En este espacio se incluye también un documento sobre la exposición «Infancia» de la fotógrafa española Isabel Muñoz Villalonga, auspiciada por la UNESCO, Alas y raíces de la Secretaría de Cultura, el Festival Internacional de la Imagen (FINI) y la Universidad Autónoma de Hidalgo, así como un documento académico proveniente de la Cátedra Chiapas de Turismo de la UNACH que corre por cuenta del Mtro. Sergio Molina Espinosa del Centro de Emprendimiento e Innovación de Chile titulado «Turismo creativo».

Deseamos que disfruten los materiales de este número y que sigan haciendo suyo este espacio de divulgación de la ciencia, la cultura y del quehacer académico 

«Por la conciencia de la necesidad de servir»

Universidad Autónoma de Chiapas

Los Editores

XI Cátedra Nacional de Química CUMex 2016

«Dr. Mario Molina Henríquez»

Retos y desafíos de la Química Ambiental para la Sustentabilidad

—

Raúl González Herrera
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
ingeraul@yahoo.com

La preocupación por la vida en nuestro planeta es y debe ser una condición necesaria no solamente de reflexión filosófica-ética sino una tarea educativa, cultural, política y científica de las universidades del mundo. Asimismo, el quehacer científico desde las ciencias exactas debe de establecer una nueva orientación epistémica y metodológica hacia los problemas del medio ambiente, cambio climático y los diferentes modos de vida cultural de los pueblos.

En este sentido la Química Ambiental, venida de las ciencias exactas, contribuye a los trabajos de innovación y generación de conocimiento aplicado a las tecnologías con enfoque social y al desarrollo de estudios que implica la complejidad del ambiente con el agua, el suelo, el aire y la intervención antropogénica. De tal manera que constituyen nuevas líneas de investigación antroposférico o antrópica.

Por esta razón la Licenciatura en Ingeniería Ambiental vinculada con la Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos y el Doctorado en Ciencias en Desarrollo Sustentable, programas educativos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, desarrollan la XI Cátedra Nacional de Química del CUMex 2016 con la participación de varias universidades del país.

La química está presente en cada aspecto de la vida del planeta, la encontramos en todos los procesos vitales que llevamos a cabo, desde la oxidación que procede a la respiración, la apreciación de los colores en el horizonte o del arcoíris, en las distintas sustancias como las proteínas y aminoácidos que recorren nuestro cuerpo o en los medicamentos que empleamos; en el olor de las flores, de un perfume o de los alimentos, en el desarrollo de las prendas que nos visten o en los materiales que nos ayudan a construir o contienen nuestros alimentos.

Su estudio y desarrollo ha traído avances inimaginables e inesperados, hoy en día se pueden enviar datos, información, imágenes y videos a grandes distancias y velocidad por el descubrimiento de la fibra óptica y los materiales semiconductores, se han sintetizado partes de seres humanos y animales como prótesis, se ha disminuido el consumo energético con el desarrollo

de los LEDs en la iluminación. Así mismo, se han desarrollado combustibles más eficientes, medicamentos de biotecnología y bioingeniería molecular, materiales con mejor diseño en la industria de la construcción, del medio ambiente, tecnologías aeroespaciales, etc.

Podemos afirmar que la tendencia y el enfoque de la química sigue su orden: desde el estudio y síntesis de moléculas, la formación de clústeres, la obtención de partículas, la creación de sistemas multifásicos, el diseño de procesos unitarios, la puesta en marcha de plantas piloto hasta la integración de grandes industrias. Todas ellas contribuyendo en pequeña, media y gran escala en el desarrollo de diseño de productos y procesos.



ARTÍCULOS

REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA EN LIXIVIADOS POR MEDIO DE UN BIOFILTRO EMPACADO CON RESIDUOS ESTABILIZADOS

Lozano-Caballero Grecia¹, Bautista-Ramírez Jesús¹, Díaz-García Mayeli¹,
Gutiérrez-Hernández Rubén F.², Martínez-Salinas Rebeca I.¹,
Nájera-Aguilar Hugo A.^{1*}

^{1*} Ingeniería Ambiental. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
Ciudad Universitaria, Libramiento Norte Poniente S/N, Col. Lajas, Maciel, C.P. 29000,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México;

Tel: 52 (961)1256033. e-mail: hugo.najera@unicach.mx.

² Departamento de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Tapachula.
Tapachula, Chiapas.



Para citar este artículo:

Bautista, J., Díaz, M., Gutiérrez, R., Lozano, G., Martínez, R. y Nájera, H. (2016) Remoción de carga orgánica en lixiviados por medio de un biofiltro empacado con residuos estabilizados. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 9-22. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a01

RESUMEN

Los sitios de disposición final de residuos sólidos mal operados, causan afectaciones en su entorno y generan problemas de salud pública; estos sitios en general, son concebidos como pasivos ambientales. En el presente estudio se extrajeron residuos sólidos con edad superior a 8 años de la zona clausurada del relleno sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Los residuos se caracterizaron con los parámetros de humedad, sólidos totales y sólidos volátiles, encontrando una alta estabilidad biológica en los mismos. Posteriormente, con el objetivo de evaluar el potencial biológico en el tratamiento de lixiviados, estos materiales fueron utilizados como lecho de empaque dentro de un biofiltro semi-aeróbico. Durante los ocho meses de monitoreo, el biofiltro registró eficiencias de remoción en DQO entre 60 y 90%, y alrededor de 60% en color, con cargas hidráulicas del orden de los 10-11 L/m³-d. Estos resultados representan de las primeras investigaciones en México usando como material de empaque residuos estabilizados, demostrando con ello, que los biofiltros pueden ser utilizados como una alternativa atractiva para el pretratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios.

Palabras clave

Basura de edad; residuos estabilizados; tratamiento de lixiviados; biofiltro; demanda química de oxígeno.

REMOVAL OF ORGANIC LOAD IN LEACHATES USING AGED REFUSE BIOFILTER

— *Abstract*—

The final disposal sites poorly operated cause damages in the environment and generate public health problems; these sites are general conceived as environmental passives. In this study solid waste were extracted, which has more than 8 years of age. The materials were extracted from the closed landfill of the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico. The wastes were characterized in terms of moisture, total and volatile solids; finding a high biological stability. The wastes were used as packing material in a semiaerobic biofilter to explore the biological potential in the treatment of leachates. During eight months of operation, the biofilter recorded removal efficiencies of COD between 60 and 90%, while removal efficiencies of color was 60% with hydraulic loads in the order of 10 to 11 L / m³-d. These results demonstrate that these biofilters using aged refuse as packaging material can be used as an attractive alternative pretreatment for landfill leachate in Mexico.

Keywords

Aged refuse; leachate treatment; biofilter; COD

La deficiencia en el manejo de los residuos sólidos municipales y la emanación de lixiviados conforma un riesgo significativo al suelo, agua y calidad del aire (Prantl *et al.*, 2006). Dentro de la gestión integral de los residuos sólidos, la etapa de disposición final es la que presenta los mayores retos a vencer. Por ello es importante conocer la composición y características de los residuos, no solo en su etapa de generación (frescos), sino también en su evolución a lo largo del tiempo después de haber sido dispuestos, con el fin de aminorar los problemas ocasionados en su disposición final, así como determinar su posible potencial para ser aprovechados.

Los rellenos sanitarios han venido evolucionando desde tiraderos a cielo abierto, hasta rellenos altamente tecnificados donde se controlan las emisiones (líquidas y gaseosas) potencialmente peligrosas para el ambiente. Existen numerosos ejemplos de impactos negativos producidos por los lixiviados (Cossu *et al.*, 2001). Este hecho ha propiciado la generación de normatividades y legislaciones nacionales y/o regionales, encaminadas a proteger los cuerpos de agua de contaminantes provenientes de rellenos sanitarios o en general de sitios de disposición final de residuos sólidos, así como la búsqueda e implementación de nuevos procesos de tratamiento para este líquido, y así reducir los impactos al ambiente.

1.1 Los residuos sólidos estabilizados

Como recientemente se ha reportado, la «basura vieja» o residuos estabilizados tiene gran capacidad de intercambio de cationes (0.068 mol/g), alta porosidad (37.25%) y riqueza en comunidades microbianas (1.40×10^6 UFC/g) que se han adaptado a lo largo de los años a las altas concentraciones de contaminantes (Zhao *et al.*, 2002). En la Tabla 1 se muestran las características de los residuos estabilizados basados en un estudio realizado por Li Zhao *et al.* (2009).

Tabla 1. Características de los residuos sólidos estabilizados.

Parámetros	Residuo estabilizado
Humedad (%)	31.84
Cenizas (%)	54.42
Materia combustible (%)	13.74
Materia biodegradable (%)	11.08
Materia orgánica (g/kg)	65.57
Nitrógeno Total (g/kg)	5.38
Nitrógeno amoniacal (mg/kg)	22.40

Fuente: Li *et al.* (2009).

En la última década, han sido desarrollados y evaluados biofiltros de «basura vieja» o residuos estabilizados para la descontaminación de lixiviados como en el caso de Zhi-Yong *et al.* (2011), quienes desarrollaron un biofiltro semi-aeróbico con residuos estabilizados.

1.2 Los lixiviados

En los rellenos sanitarios, una vez que se han enterrado los residuos sólidos, es necesario minimizar los impactos de esta práctica, ya que el agua que ha entrado en contacto con la basura recoge gran cantidad de las sustancias que originalmente estaban dentro del residuo, quedando de esa manera altamente contaminada. Esta agua se denomina lixiviado, y es uno de los líquidos más contaminados y contaminantes que se conocen. De no recogerse adecuadamente y luego tratarse, el lixiviado puede contaminar a su vez aguas subterráneas, aguas superficiales y suelos. Por esta razón, los rellenos sanitarios se impermeabilizan, se drenan apropiadamente y los lixiviados recogidos por estos drenes deben tratarse (Giraldo, 1997). La fuerte correlación existente entre la edad de un relleno sanitario y algunas características en la composición de los lixiviados, ofrece una importante herramienta que auxilia en la elección de los procesos de tratamiento (Renou *et al.*, 2008). Los lixiviados son frecuentemente clasificados por su edad en nuevos, intermedios y viejos o maduros, de acuerdo con la edad del vertedero que los originó. En general, el grado de biodegradabilidad de los lixiviados es inversamente proporcional a su edad, siendo más biodegradables los jóvenes y menos degradable los maduros (Fátima *et al.*, 2012; Ramírez – Sosa *et al.*, 2013).

La problemática recae en el hecho de que este líquido normalmente contiene altas concentraciones de contaminantes siendo los principales grupos: materia orgánica disuelta, macro componentes inorgánicos (incluyendo nutrientes), componentes orgánicos xenobióticos, los cuales sino son correctamente colectados y tratados pueden causar serios problemas en los cuerpos de agua superficiales y fuentes subterráneas (Modin *et al.*, 2011).

En el siguiente trabajo se realizó la caracterización de una muestra de residuos dispuestos hace más de ocho años en el área clausurada del Relleno Sanitario de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Estos residuos fueron usados como material de empaque en la construcción de un biofiltro, y su potencial aplicación para el tratamiento de lixiviados fue evaluada, midiendo la remoción de carga orgánica medida como DQO y color.

2. METODOLOGÍA

2.1 Caracterización del material estabilizado

Con la ayuda de una retroexcavadora, se obtuvo una muestra de residuos en tres puntos del área clausurada del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez (Figura 1), con una edad mínima estimada de ocho años. Previo a la toma de la muestra, se realizó un recorrido para seleccionar los puntos de muestreo, esto considerando las zonas donde se encuentran alojados los residuos de mayor edad.

Figura 1. Zona clausurada del relleno sanitario.



Los residuos fueron extraídos a una profundidad mínima de 1 metro, esto con la finalidad de no comprometer la calidad de la muestra.

Los residuos extraídos se secaron durante 6 semanas distribuyendo el material sobre lonas en espesores de 6 a 8 cm. Para acelerar el proceso de secado, semanalmente se movió el material y se retiraron los restos de materiales de mayor tamaño con el fin de facilitar el cribado y la limpieza del material, extrayendo tela, vidrio, cartón, piedras, fierro, plásticos, etc. y en general materiales voluminosos que pudieran entorpecer el proceso.

Para verificar la estabilización de los residuos, semanalmente se tomó una muestra, determinándose pH, Sólidos Volátiles (sv), cenizas y Humedad, de acuerdo a las técnicas establecidas en normas mexicanas (Tabla 2). Los análisis se efectuaron 1 vez por semana.

Tabla 2. Técnicas y métodos para cada parámetro.

Parámetro	Técnica o Método	Frecuencia
Humedad	NMX-AA-016-1984	1 vez / semana
pH	NMX-AA-008-SCFI-2011	1 vez / semana
SVT	NMX-AA-034-SCFI-2001	1 vez / semana
SF	NMX-AA-034-SCFI-2001	1 vez / semana

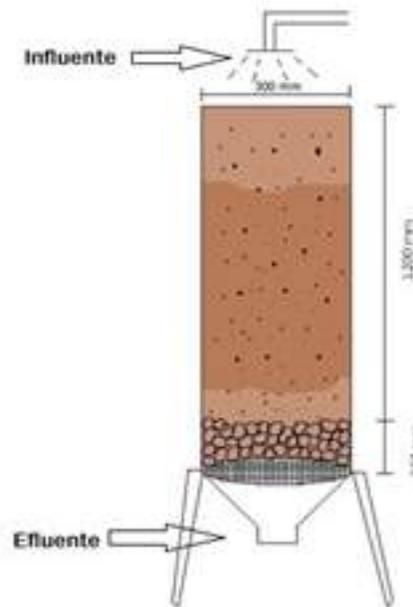
pH: Potencial de hidrógeno; SVT: Sólidos volátiles totales; SF: Sólidos fijos.

Una vez secos, los residuos fueron cribados y separados de acuerdo a los siguientes tamaños de partículas: >40 mm, 16-40mm y 2-15 mm.

2.2 Construcción del biofiltro

Se construyó un biorreactor con un tubo de PVC de 30 cm de diámetro y 1.5 m de altura (Figura 2).

Figura 2. Dimensiones del Biorreactor para el tratamiento de lixiviados.



En el fondo del biorreactor se colocó una capa (30 cm aproximadamente) de material de soporte (grava), similar a lo documentado por Han et al. (2011). La tapa del tubo colocada en el extremo inferior, fue perforada para permitir la salida del efluente. En la parte superior e inferior del material de soporte se adicionó malla con abertura de 2 mm, para evitar el exceso en el arrastre de las partículas finas y estas pudieran obstruir los orificios de la tapa, dificultando la salida del efluente. En el volumen restante del tubo se agregó el lecho filtrante (material estabilizado). Teniendo finalmente, un biofiltro de 1.20 m de altura.

Para la carga del influente se utilizó un recipiente simulador de una regadera, para favorecer la distribución del lixiviado sobre el área superficial y su descenso por el lecho filtrante, reduciendo la creación de zonas muertas y/o «cortos circuitos».

2.3 Monitoreo del funcionamiento del biofiltro

Se realizó el monitoreo del influente y efluente, en los parámetros de DQO y color, con una frecuencia de una vez y dos veces por semana, respectivamente. Por otro lado, de acuerdo a lo reportado en estudios anteriores (Zhi-Yong et al., 2013), se establecieron cargas hidráulicas del orden de 10-11 L/m³-d, alimentando por espacio de 1 hora dos veces al día. Esta actividad se realizó seis días a la semana. El monitoreo del biofiltro se llevó a cabo a lo largo de 8 meses (35 semanas).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización del material estabilizado y del lixiviado en el influente

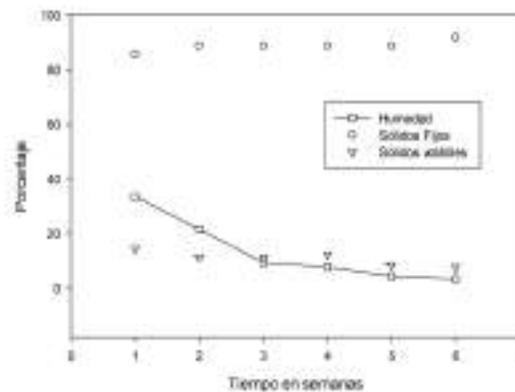
Los residuos sólidos presentaron un ligero olor al ser extraídos y tendidos, pero durante los primeros tres días del proceso de secado a temperatura ambiente, el olor desapareció en su totalidad sin que hubiera presencia de moscas en los alrededores ni de lixiviados. Estas observaciones coinciden con lo reportado por Zhao et al. (2007).

Por otro lado, el contenido de humedad inicial (38%) observado en la Figura 3, es similar a lo reportado por otros autores (Han et al., 2013; Chen et al., 2009; Li et al., 2009; Han et al., 2011; Xiaoli y Youcai, 2006), y se considera un valor esperado dado que por estar los materiales dispuestos en el subsuelo, estos se encuentran en contacto con los líquidos (agua de lluvia y lixiviados recirculados) que percolan a través de las diferentes capas, propiciando la continua generación de lixiviados. Sin embargo, una vez extraídos

y expuestos al proceso de secado natural, en menos de tres semanas se observa una rápida disminución en su contenido de humedad, alcanzando un comportamiento casi constante después de este tiempo.

En cuanto a la cantidad de sf y sv del material, estos prácticamente no cambiaron, pues como se esperaba, estos materiales han alcanzado su mayor grado de degradación, y como consecuencia, la presencia de materia orgánica es prácticamente nula, lo que puede constatarse visualmente con la ausencia total de moscas durante todo el proceso de secado, lo que además puede explicar el comportamiento casi constante en sus respectivas curvas (Figura 3). En términos generales, el material observó pocas variaciones en sus componentes analizados.

Figura 3. Caracterización de los residuos extraídos (estabilizados).



Por las características que presentaron los residuos evaluados, puede decirse que se trata de materiales física y biológicamente estabilizados, mismos que son ricos en poblaciones microbianas (Zhao *et al.*, 2002), y adaptados a condiciones extremas y muy variadas.

Por otro lado, con el propósito de conocer los diferentes tamaños de partícula en los residuos en base seca (BS), se clasificaron de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 3. Para el experimento, el biorreactor fue empacado con materiales estabilizados con un tamaño de partícula inferior a los 40 μm .

De la Tabla 3 se observa que arriba del 80% de ellos presentaron un tamaño de partícula por debajo de los 40 μm , este dato es importante porque permite ver que un alto porcentaje de los materiales estabilizados una vez secos, pueden ser aprovechados en la construcción de biorreactores. En estudios a nivel laboratorio, autores como Zhao *et al.* (2002), han

reportado buenos resultados en el tratamiento de lixiviados usando tamaños de partícula inferior a los 20 mm, sin embargo, en trabajos más recientes y con biorreactores escalados al menos a nivel piloto (Li *et al.*, 2009; Xie *et al.*, 2010; Xie *et al.*, 2012), los biorreactores se han empacado con residuos estabilizados de un mayor tamaño de partícula, del orden de los 40 mm, lo que ha permitido un mayor aprovechamiento de los materiales y con resultados reproducibles a los obtenidos a nivel laboratorio.

Tabla 3. Clasificación por tamaño de partícula en BS.

Tamaño de partícula (mm)	Cantidad	
	Kg	%
> 40	4.8	15.05
De 15 a 40	7.7	24.14
< 15	19.4	60.81
Total	31.9	100

En cuanto a las características del influente mostradas en la tabla 4, se observa que son propias de un lixiviado tipo III o maduro, el cual se caracteriza por valores de pH por arriba de la neutralidad, altos valores de alcalinidad y un bajo índice de biodegradabilidad (<0.3) (Méndez *et al.*, 2004; Ntampou *et al.*, 2006; Ubaldo *et al.*, 2014).

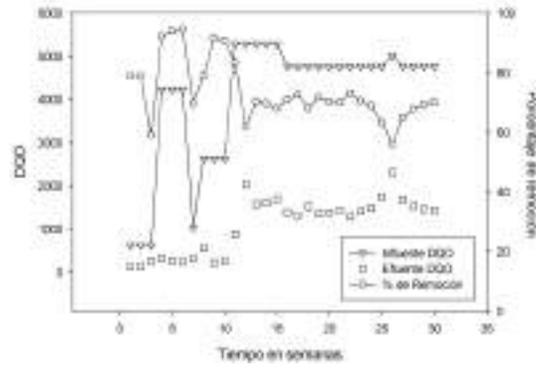
Tabla 4. Caracterización del influente.

Parámetro	Resultado
pH	8.0-8.4
DQO (mg/L)	4230 ± 630
Color (Pt-Co)	5 090 ± 820
Alcalinidad (mg/L)	1675
DBO ₅ (mg/L)	800
DBO ₅ / DQO	0.2

3.2. Monitoreo del proceso (biofiltro)

En la Figura 4, se muestra el monitoreo del Biofiltro a lo largo de 35 semanas, observando eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO) en el lixiviado entre el 60 y 90% y alcanzando la máxima remoción (92%) después de la semana 6.

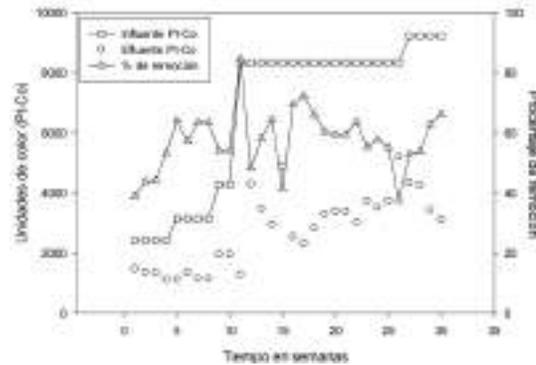
Figura 4. Resultados de la remoción de la DQO.



Del gráfico (Figura 4) también se observa que la DQO del efluente oscila entre los 200 y 1600 mg/l, valores que pueden considerarse relativamente fluctuantes teniendo en cuenta la variabilidad en el influente (800-5000 mg/L). En general, las concentraciones de ambas corrientes (influyente y efluente) reflejan estabilidad del biorreactor ante variaciones importantes en la carga orgánica suministrada.

Otro parámetro utilizado en el proceso como indicador del funcionamiento del biofiltro fue el color.

Figura 5. Resultados de la remoción de Color.



De la Figura 5 se observa que durante las primeras 12 semanas el color en el influente fue predominantemente negro, con un valor que osciló entre los 2400 y 4200 unidades de color (Pt-Co), con un ligero olor, que después de ser ingresado al reactor se tornaba a un color amarillo pálido, similar al

color del ámbar, y sin olor, con unidades de color entre las 1400 a los 1900 (Pt-Co). Después de estas semanas las unidades de color en el influente estuvieron alrededor de las 8,000 unidades de color, con una calidad en el efluente entre las 2900 a 4800 unidades de color (Pt-Co), lo que representa remociones que oscilaron entre 40 y 75%, con un valor promedio del 60%. Estas variaciones pueden deberse a un flujo no ideal (Glynn y Heinke, 1999).

En la práctica ningún reactor se comporta como se esperaría dentro de los flujos ideales y para lo cual se producen desviaciones como resultado de la canalización, también se pueden producir cortos circuitos a causa de las diferencias de composición de los residuos sólidos dentro del biorreactor, y finalmente otro factor puede ser la aparición de zonas estancadas; este tipo de alteraciones del flujo dentro del reactor, provocan que el tiempo medio de retención efectivo sea menor que el calculado para su funcionamiento ideal, y con esto ciertas partículas presentes en el influente puedan circular con mayor velocidad, concentrando de mayor manera el color del efluente, esto también provoca regímenes de «volumen muerto» disminuyendo el volumen útil del sistema de tratamiento.

CONCLUSIONES

A la fecha, con ocho meses de monitoreo, se ha logrado evaluar la remoción en DQO de lixiviados provenientes del relleno sanitario de Tuxtla Gutiérrez, alcanzando remociones entre 60 y 90%. Para el caso del color, en promedio un 60% de remoción fue alcanzado.

En términos generales, partiendo de que estos biofiltros pueden ser utilizados como unidades de pretratamiento, los resultados obtenidos son aceptables, además de tener en cuenta que los materiales que conforman el biofiltro provienen de los mismos residuos, lo que propicia una ventana de oportunidad en la revalorización de residuos sólidos urbanos dispuestos en rellenos sanitarios o cualquier otro sitio de disposición final. Finalmente, hasta donde nuestra revisión de literatura fue posible, estos resultados representan los primeros en su tipo en el territorio nacional.

Agradecimientos

*Al Ing. Omar Sánchez Fernández, Gerente de PROACTIVA Tuxtla,
por permitir el acceso y la maquinaria requerida en el muestreo
de los residuos estabilizados.*

REFERENCIAS

- Chen, Li., Wu, S., Wu, W., Sun, H., & Ding, Y. (2009). Denitrification capacity of bioreactors filled with refuse at different landfill ages. *Journal and Hazardous Materials*, 172: 159- 165.
- Cossu R, Lavagnolo M, Littaru P, (2001), Removal of municipal solid waste COD and NH₄-N by phyto-reduction: A laboratory-scale comparison of terrestrial and aquatic species at different organics loads, Elsevier Science.
- Giraldo, E., (1997). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Volumen 2. Páginas 44-55.
- Han, Z., Liu, D., Li, Q., Li, G., Yin, Z., Chen, X., & Chen, J. (2011). A novel technique of semi-aerobic aged refuse biofilter for leachate treatment. *Waste Management*. 31: 1827- 1832.
- Han, Z., Liu, D., Li, & Q. (2013). A removal mechanism for organics and nitrogen in treating leachate using a semi-aerobic aged refuse biofilter. *Journal Environmental Management*, 114: 336-342.
- Li, H., Zhao, Y., Shi, L., & Gu, Y. (2009). Three-stage aged refuse biofilter for the treatment of landfill leachate. *Journal of Environmental Sciences*, 21: 70-75.
- Méndez, R., Castillo E., Sauri M., Quintal C., Jiménez B. (2004). Tratamiento físico químico de los lixiviados de un relleno sanitario, *Ingeniería Revista Académica*, 8(02), 155-163.
- Modin H., Persson K.M., Andersson A., van Praag M., (2011). Removal of metals from landfill leachate by sorption to activated carbón, bone meal and iron fines. *Journal of Hazardous Materials*. 189. 749-754.
- Ntampou, X., Zouboulis, A., Samaras, P. (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere*, 62, 722-730.
- Prant R, Tesar m, Huber-Hunner m, (2006). Changes in carbon and nitrogen pool during in-situ aceration of old landfills under varying conditions, *Waste Management*, 26, 373-380.
- Ubaldo Vázquez, Nájera Aguilar y Gutiérrez Hernández (2014). Evaluación de la remoción de carga orgánica en lixiviados maduros mediante un sistema acoplado: coagulación-floculación-oxidación anódica. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Vol. 7. 170-178.
- Xiaoli, C., & Youcai, Z. (2006). Adsorption of Phenolic compound by aged-refuse. *Journal and Hazardous Materials*, B137: 410-417.
- Xie B., Lv Z., Lv B.Y. & Gu Y.X. (2010). Treatment of mature landfill leachate by biofilters and Fenton oxidation. *Waste Management*. 30. 2108-2112.

- Xie B., Xiong S., Liang S., Hu C., Zhang X. & Lu J. (2012). Performance and bacterial compositions of aged refuse reactors treating mature landfill leachate. *Biosource Technology*, 103, 71-77.
- Ying-xu Chen, Song-wei Wu, Wei-xiang Wu, Hua Sun, Ying Ding. (2009). Denitrification capacity of bioreactors filled with refuse at different landfill ages. *Journal of Hazardous Materials*, 172: 159-165.
- Zhao, Y., Li, H., Wu, J., & Gu, G., (2002). Treatment of leachate by aged refuse-based biofilter. *J. Environ. Eng. ASCE*, 128, 662-668.
- Zhao, Y., Song, L., Huang, R., Song, L., & Li, X. (2007). Recycling of aged refuse from a closed landfill. *Waste Management & Research*, 25: 130-138.
- Zhi-Yong Han, Dan Liu, Qi-Bin Li. (2013). A removal mechanism for organics and nitrogen in treating leachate using a semi-aerobic aged refuse biofilter. *Environmental Management*, 114.

DISEÑO Y CALIBRACIÓN DE UN SIMULADOR AUTOMÁTICO DE LLUVIA

José Luis Carreras Nampulá¹, Carlos Manuel García Lara^{2*},
Eduardo Espinosa Medinilla², Raúl González Herrera²,
Pedro Vera Toledo², Rubén Alejandro Vázquez Sánchez²

¹ Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos.
Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas,
Lib. Norte Poniente 1150, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29000, México.

² Facultad de Ingenierías, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas,
Lib. Norte Poniente 1150, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. C.P. 29000, México.

Email: carlos.garcia@unicach.mx.



Para citar este artículo:

Carreras, J., Espinosa, E., García, C., González, R., Vázquez, R. y Vera, P. (2016) Diseño y calibración de un simulador automático de lluvia. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 23-37. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a02

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó y construyó un simulador de lluvias utilizando materiales de bajo costo y de fácil transporte, el cual permitió controlar variables como intensidad, uniformidad y duración. Se controló el caudal con una electroválvula mediante un detector de cruce por cero, tarjeta de control y una etapa potencia. Los resultados indicaron que el comportamiento en la distribución espacial de la lluvia fue uniforme con un valor superior a 80%, intensidad de lluvia similares a episodios naturales con una energía cinética superior a 27 J/mm m², con un control del caudal de 97% de precisión.

Palabras clave

Simulación de lluvia, tamaño de la gota, energía cinética.

DESIGN AND CALIBRATION OF AN AUTOMATIC RAINFALL SIMULATOR

— *Abstract*—

In this work it was designed and built a rainfall simulator using low cost materials and easy to transport, which allowed control variables such as intensity, consistency and durability. a solenoid valve was controlled by a zero crossing detector, control board and a power stage. The results indicated that the behavior in the spatial distribution of rainfall was consistent with a value greater than 80%, intensity similar rain natural episodes with a kinetic energy greater than 27 J/mm m², with flow control 97% precision.

Keywords

Simulated rain, droplet size, kinetic energy.

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación de los suelos. Su estudio requiere de datos recopilados en periodos largos (5 a 10 años). Los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios naturales. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial y transporte de sedimentos. Lo anterior debido al impacto de las gotas de lluvia en función de la energía cinética (L. Wanga, 2014). Los simuladores permiten controlar la intensidad de la lluvia aplicada, son eficientes en términos de tiempo y mano de obra requerida y pueden adaptarse fácilmente para estudios de laboratorio (A. Moussouni, 2014). Las principales características de la lluvia natural que deben conseguir los simuladores de lluvia son (Sílvia C. P. Carvalho, 2014):

- Distribución aleatoria del tamaño de las gotas de lluvia.
- Velocidad de impacto similar a la velocidad terminal de las gotas de lluvia natural.
- Intensidad de lluvia correspondientes a las condiciones naturales
- Energía cinética similar a la de la lluvia natural.
- Lluvia uniforme y distribución aleatoria de las gotas.

Existen dos tipos de simuladores de lluvia con base en el mecanismo generador de gotas, seleccionados en función de su disponibilidad, costo de construcción y el objetivo experimental.

El Método de goteo, donde la velocidad inicial de las gotas es cero (Ibañez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2012), tiene un costo relativamente bajo pero la velocidad final deseada se consigue a alturas de caída de 12 m y en las gotas de mayor diámetro (Gopinath Kathiravelu, 2016).

El Mecanismo de boquillas pulverizadoras, es aquel en que el agua sale a una velocidad inicial diferente de cero por estar sometida a una presión inicial determinada (Ibañez Asensio, Moreno Ramón, & Gisbert Blanquer, 2012). Este simulador puede proporcionar lluvias de intensidad diferente por lo cual es posible simular las características de la lluvia natural según la zona de estudio (Meyer L. D., 1958), (Benito Rueda & Gomez-Ulla, 1986), (Navas & Alberto, 1990), (Cerdá & Ibañez, 1997), (I. Abudi, 2012). El problema de este simulador es que se requieren intensidades muy elevadas para obtener tamaños de gotas similares a las de una lluvia natural, por lo que requieren de mecanismos que permitan disminuirla conservando las dimensiones de las gotas. Se han utilizado discos giratorios con una muesca radial (Ognjen Gabric, 2014), ubicado una boquilla en un sistema oscilante (G. B. Paige, 2003). En México se han utilizado el simulador de brazos rotativos (Marelli, Mir, Arce, & Lattanzi, 1984) y de movimiento oscilante en

aspersores (Marelli, Arce, J.M., & Masiero, B., 1986) (Marelli, Mir, Arce, & Lattanzi, 1984).

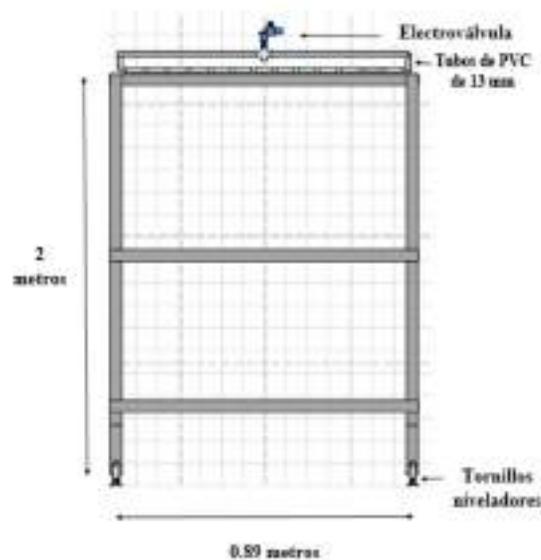
Otra característica importante es el tamaño de la gota de lluvia, ya que ésta influirá en la intensidad de la misma y en la energía cinética final. Existen diferentes técnicas para su medición utilizando papel filtro, relacionando el tamaño de la mancha en el papel con el tamaño de la gota de agua que lo causó (Jau-Yau, Chih-Chiang, Tai-Fang, & Ming-Ming, 2008), mediante fotografía (Salvador, R; Bautista-Capetillo, C; Burguete, J; Zapata, N; Serreta, A; Playán, E, 2009), (Abudi, Carmi, & Berliner, 2012), método de bolitas de harina (Parsakhoo, Lotfalian, Kavian, Hoseini, & Demir, 2012), utilizando espectropluviómetros (Grismer, 2012), entre otros.

En este trabajo se describen las características y el funcionamiento de un simulador de lluvia basado en pequeños orificios practicados en tubos de PVC.

Descripción del simulador

Se diseñó y construyó un modelo de simulador de lluvia, similar al desarrollado por (Carreras Nampulá, García Lara, Espinoza Medinilla, González Herrera, & Medina Sansón, 2015) con modificaciones en la estructura y funcionamiento, considerando las variables de intensidad y duración de las precipitaciones (Figura 1).

Figura 1. Estructura del simulador de lluvias.



Para el manejo del simulador se construyó un dispositivo detector de cruce por cero y una etapa de potencia controlados con una tarjeta Arduino UNO de bajo costo y de fácil integración con diferentes sistemas y software, lo que permitió generar desde gotas hasta un caudal conocido, empleando tubería de pvc de 12.3 mm en tramos de 0.8 m con orificios de aproximadamente 0.8 mm de diámetro separados 2 cm entre sí, formando un total de 481 (Figura 2 y 3).

Figura 2. Estructura del sistema de alimentación por aspersión continua

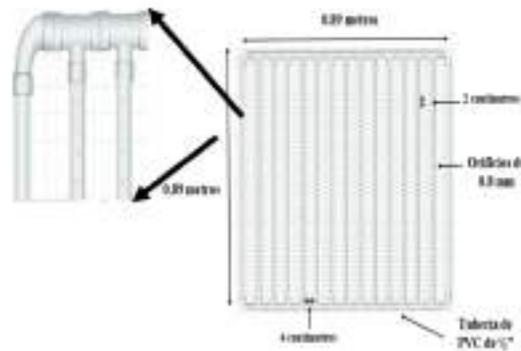


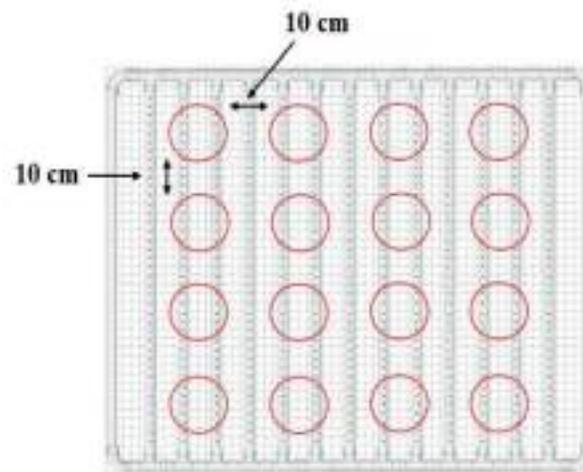
Figura 3. Dimensión de los orificios del sistema automático.



El caudal y formación de gotas se controló utilizando una electro-válvula, que permitió regularlo con un máximo de 1.5 l/s, para presiones de trabajo desde 20 Pa, a diferentes intervalos de tiempo. El suministro de agua se realizó utilizando un contenedor de 750 litros y mediante un sistema de tuberías, lo que permitió el transporte de agua hasta al simulador. Se colocó un protector de viento para evitar interferencias durante el experimento.

Se realizaron 5 ensayos con tres repeticiones, a 2 metros de altura para cinco diferentes caudales; la distribución espacial de la lluvia fue evaluada mediante 16 colectores de 1000 ml, distribuidos en cuatro filas a intervalos de 10 cm entre colectores y lo mismo por cada fila (área de trabajo del simulador), para determinar el volumen de agua acumulado durante 10 segundos (Figura 4). Cabe señalar que el número de repeticiones se consideró suficiente debido a que el volumen medido presentó una desviación estándar pequeña.

Figura 4. Distribución espacial de los recipientes colectores



Diámetro de la gota de lluvia

Debido a la variación natural de las gotas de lluvia, se evaluó el diámetro y volumen para un caudal reducido, empleando una cámara fotográfica marca Sony, modelo Cyber-shot DSC-W510 con una resolución de 12.1 megapíxeles, zoom óptico de 4x y gran angular de 26 mm, obteniéndose imágenes que se procesaron utilizando la técnica de sólidos de revolución para su presentación y análisis. Este método se realizó mediante el manejo de límites de sumas de volúmenes de pequeñas secciones o cortes circulares infinitesi-

males del sólido de revolución. Se utilizó un método de capas cilíndricas, tomando en consideración a los extremos como segmentos esféricos mientras que a las secciones intermedias se evaluaron como segmentos esféricos truncados, el volumen final se determinó por:

$$V = \frac{\pi}{3} h \left(\frac{3}{4} s^2 + h^2 \right) + \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^{n-1} h (3a^2 + 3b^2 + h^2)$$

Donde h es el desplazamiento entre segmentos, s es el diámetro de cada segmento esférico, mientras que a y b son los diámetros por cada desplazamiento del segmento esférico truncado.

La velocidad de la gota de lluvia se determinó utilizando la ecuación propuesta por Gunn & Kinzer (1949), según la cual las gotas producidas por el simulador de lluvia tienen una velocidad terminal:

$$v = 2.9379 \ln(D_g) + 4.393$$

Siendo v , la velocidad (m/s) y D_g , el diámetro en mm de la gota, se debe considerar el valor constante del segundo término como la velocidad inicial de la gota.

Distribución espacial de la lluvia

La energía cinética de gotas de lluvia influye directamente en la separación de contaminantes, particularmente al inicio de un episodio de lluvia (Vaze, 2003). La homogeneidad de las gotas de lluvia, es directamente proporcional a la variabilidad espacial de la intensidad de la lluvia, tiene una influencia directa en la energía de impacto por unidad de área. Por lo anterior un simulador debe reproducir con precisión la energía cinética sobre un área de interés a una intensidad dada, así como con una distribución espacial uniforme. Un número obtenido en estudios previos consideró un coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) de 80% o mayor suficiente para considerar patrones de lluvia como realísticos (Moazed, 2010). El CUC se determinó mediante la expresión:

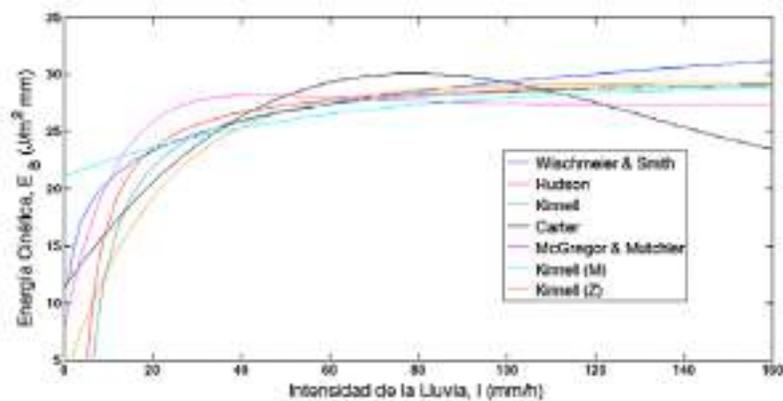
$$CUC (\%) = 100 \left(1 - \frac{\sum x}{m n} \right)$$

Donde m , es el valor medio; n , es el número de observaciones y x , es la desviación estándar de las observaciones individuales respecto de la media.

Energía Cinética

La energía cinética de la lluvia es un parámetro que ha sido utilizado para determinar el índice de erosión definida en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE por sus siglas en inglés), basada en la distribución del tamaño de la gota. En la Figura 5, se presentan diferentes curvas obtenidas a partir de diversas expresiones matemáticas según el autor o la zona de estudio. (Wischmeier, 1958), (Laws, 1943), (Hudson, 1961), (Kinell, 1973) (Carter, Greer, & Braud, 1974).

Figura 5. Comparación de la relación entre energía cinética e intensidad establecida en diferentes países con diferentes condiciones de lluvia.



En sus investigaciones Kinell, en 1973, determinó que la pérdida de suelo puede obtenerse de la energía total de la lluvia a intensidades superiores a la tasa media de aceptación de los suelos, debido a esto, es importante obtener estimaciones de la relación entre la intensidad y la energía cinética de la lluvia por zonas geográficas (Rosewell, 1986). Sin embargo, es posible que las diferencias observadas se deban a las técnicas utilizadas para medir las gotas de lluvia. A continuación, se expresa la ecuación para la energía cinética obtenida por Kinell:

$$Ec_K = e_{m\acute{a}x} [1 - a e^{-bl}]$$

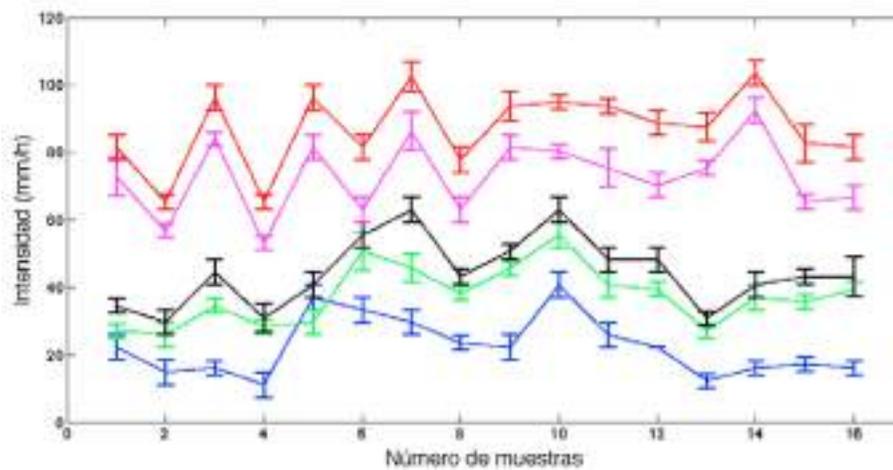
Donde $e_{m\acute{a}x}$, es la energía cinética máxima para una zona geográfica determinada; a y b representan constantes definidas en función de la zona de estudio.

Resultados

Se evaluó el tamaño de las gotas generadas a baja presión, con una velocidad inicial cero, obteniendo una altura de 5.54 mm y un diámetro de 4.55 mm, con lo anterior se determinó un volumen promedio de 75.2 μl , lo cual presenta una masa de 75.2 mg. Con el diámetro anterior y considerando la velocidad inicial de la gota, se determinó que la velocidad media de esta fue de 4.447 m/s.

Para la distribución espacial de la lluvia se utilizaron 16 contenedores vacíos, distribuidos en una malla simétrica ubicados a nivel del suelo. Las dimensiones de la malla fueron de 80 cm \times 80 cm (6400 cm²).

Figura 6. Intensidad de la lluvia obtenida a diferentes intervalos de control sobre la electro-válvula.

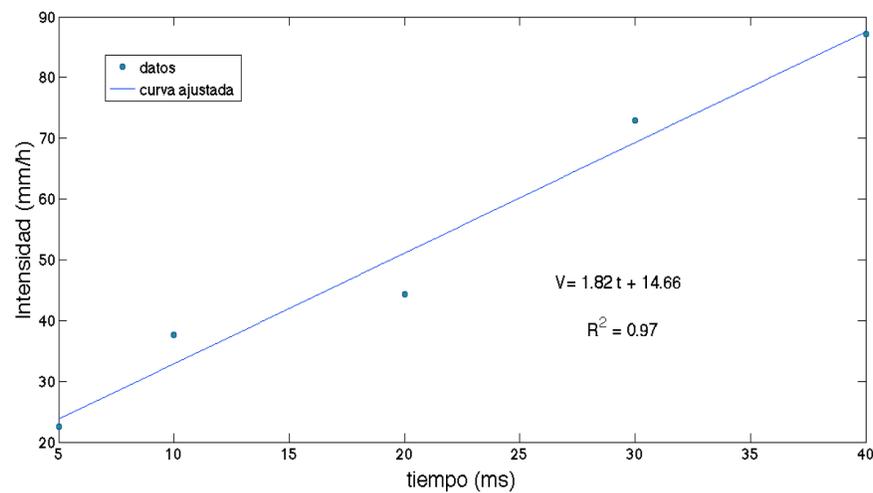


La Figura 6, presenta las mediciones de intensidad realizadas en un tiempo 10 segundos con 5 diferentes tiempos de control sobre la electroválvula (5, 10, 20, 30 y 40 ms), se evaluó el CUC (%) para cada evento obteniéndose los siguientes valores 69.52, 81.72, 82.46, 87.53 y 89.38, lo que representa un buen grado de uniformidad. Lo anterior se logró modificando la estructura, distribuyendo la presión del agua de manera uniforme y evitando holguras en la tubería. Sin embargo, se determinó para la intensidad menor un CUC deficiente, lo cual se debió a la presión mínima utilizada, por otro lado, al aumentarla se determinaron CUC buenos para las otras pruebas, lo que marca una relación clara entre la presión ejercida y la uniformidad de la lluvia simulada, es importante señalar que las variaciones presentes en la intensidad

de salida también están asociadas a imperfecciones en el hueco realizado, a residuos por la perforación y al ángulo de la perforación en la tubería.

Se determinaron las energías cinéticas ($J/mm\ m^2$) para cada intensidad de lluvia simulada siendo 23.83, 25.13, 25.61, 27.09 y 27.59, utilizando el modelo de Kinell utilizando los mismos coeficientes calculados para Florida, debido a la cercanía geográfica con México, estos valores corresponden a lluvias moderadas a intensas lo cual es aceptable debido a la búsqueda de factores que promueven la erosión del suelo.

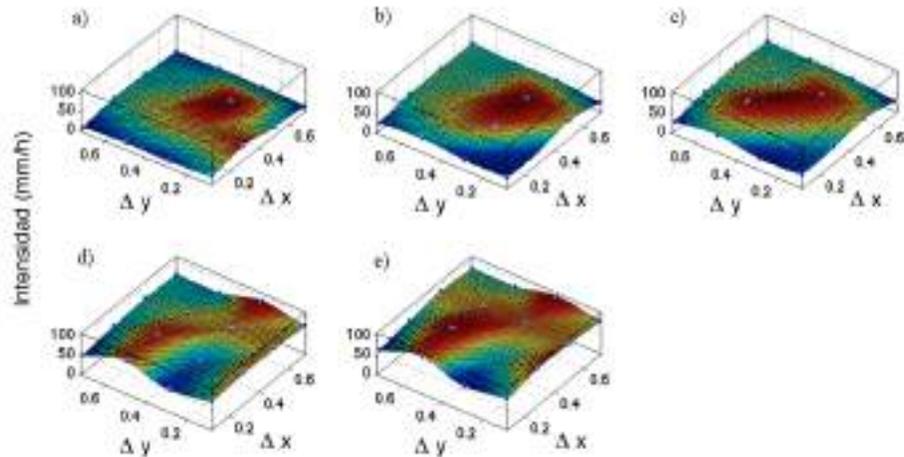
Figura 7. Promedios de Intensidad de la lluvia obtenida a diferentes intervalos de control sobre la electro-válvula con ajuste lineal.



Para el desarrollo del control de la electroválvula se realizó el promedio de la intensidad en cada uno de los tiempos de control efectuados, obteniéndose la gráfica de la Figura 7. En esta se presenta la ecuación lineal obtenida con un ajuste por mínimos cuadrados de 97%, lo cual expresa la precisión en el control de la intensidad del simulador de lluvia, además de la uniformidad en la distribución espacial mostrada anteriormente.

En la Figura 8, se observa la homogeneidad en la distribución espacial obtenida para cinco diferentes intensidades de lluvia. El coeficiente de uniformidad obtenido fue de 82.12% en promedio para los diferentes tiempos de apertura de la electro-válvula, lo cual es considerado como aceptable (Martínez-Mena, Abadía, & Castillo Sánchez, 2001). A pesar de los ajustes mecánicos realizados en el sistema se observa una tendencia a enfocar la intensidad en la parte central del área de impacto, por lo cual se requiere analizar cambios en el diseño para minimizar este efecto.

Figura 8. Distribución espacial de la Intensidad de la lluvia obtenida a cinco diferentes intervalos de control de la electro-válvula
a) 5 ms, b) 10 ms, c) 20 ms, d) 30 ms y e) 40 ms.



Conclusiones

El simulador construido fue de bajo costo y modular, presentó a diferentes tiempos de apertura de la electroválvula un coeficiente de uniformidad superior al 90%. Para una presión de 20 Pa, con un caudal de 1.5 l/s y una altura de 2 metros, se obtuvo un diámetro de gota de 4.5467 mm y una energía cinética de 23.83 para una lluvia de baja intensidad hasta 27.59 J/mm m² que corresponde a una lluvia muy intensa, logrando un coeficiente de uniformidad de 82.12%, lo cual se considera como aceptable, para la simulación de la lluvia se obtuvo un ajuste por mínimos cuadrados de 97% lo cual indica una alta repetitividad del sistema, logrando en conjunto lluvias simuladas comparadas a las presentadas en aquellas naturales. Se desarrolló y evaluó un sistema que pretende estudiar a futuro problemas de erosión en el suelo debido a la precipitación simulando las condiciones reales de una lluvia natural.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Moussouni, L. M. (2014). The Effect of Raindrop Kinetic Energy on Soil Erodibility. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering* , 8 (12), 874-878.
- Abudi, L., Carmi, G., & Berliner, P. (6 de August de 2012). Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology* , 76-81.
- Blanquies, J., Scharff, M., & Hallock, B. (2003). The Design and Construction of a Rainfall Simulator. *International Erosion Control Association (IECA), 34th Annual Conference and Expo., Las Vegas, Nevada, February 24-28, 2003*. Las Vegas, Nevada.
- Benito Rueda, E., & Gomez-Ulla, A. &-F. (1986). Descripción de un simulador de lluvia para estudios de erodabilidad del suelo y estabilidad de los agragados al agua. *Anales de Edafología y Agrobiología* , XLV (9-10), 1115-1126.
- Brandt, C. J. (1989). The size distribution of thoughfall drops under vegetation canopies. *Catena* (16), 507-524.
- Carreras Nampulá, J. L., García Lara, C. M., Espinoza Medinilla, E. E., González Herrera, R., & Medina Sansón, L. (2015). Análisis de la intensidad y duración de la lluvia simulada mediante manipulación manual, para el diseño y construcción de un simulador de lluvias. *Revista de Ciencias de la UNICACH* , 9 (2), 73-78.
- Carter, C. E., Greer, J. D., & Braud, H. J. (1974). Raindrop characteristics in south central United States. *Trans. ASAE* (17), 1033-1037.
- Cerdá, A., & Ibañez, S. &. (1997). Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil Technology* (11), 163-170.
- Chow, W. T. (1965). Raindrop production for laboratory watershed experimentation. *J. Geophys. Res.* , 70 (24), 6111-6119.
- Christian Salles, J. P. (1999). Measurement of Simulated Drop Size Distribution with an Optical Spectro Pluviometer: Sample Size Considerations. *Earth Surf. Process. Landforms* (24), 545-556.
- G. B. Paige, J. J. (2003). The Walnut Gulch Rainfall Simulator: A Computer-Controlled Variable Intensity Rainfall Simulator. *Applied Engineering in Agriculture* , 20 (1), 25-31.
- Gopinath Kathiravelu, T. L. (2016). Rain Drop Measurement Techniques: A Review. *Water* , 8 (29), 20.
- Grismer, M. (2012). Standards vary in studies using rainfall simulators to evaluate erosion. *CALIFORNIA AGRICULTURE* , 66 (3), 102-107.
- Gunn, R. &. (1949). Terminal Velocity of water droplets in stagnat air. *J. Meteorol.* (6), 243-248.

- Hudson, N. W. (1971). *Soil Conservation*. London: B. T. Batsford Ltd.
- Hudson, N. W. (1964). The flour pellet method for measuring the size of raindrops. *Department of conservation and extension. Research Bulletin* (4), 1-28.
- Hudson, N. W. (1961). An introduction to the mechanics of soil erosion under conditions of subtropical rainfall. *Rhod. Sci. Assoc. Proc. Trans.* (159), 14-25.
- I. Abudi, G. C. (2012). Rainfall simulator for field runoff studies. *Journal of Hydrology* , 454-455, 76-81.
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2012). *El uso de un simulador de lluvia*. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.
- Jau-Yau, L., Chih-Chiang, S., Tai-Fang, L., & Ming-Ming, M. (2008). Number and volume raindrop size distributions in Taiwan. *Hydrological Processes* , 22 (13), 2148-2158.
- Kamphorst, A. (1987). A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility. *Netherlands Journal of Agricultural Science* (35), 407-415.
- Kinell, P. I. (1973). The problem of assessing the erosive power of rainfall from meteorological observations. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* (37), 617-621.
- L. Wanga, Z. S. (2014). Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: A case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology* , 512 (6), 168-176.
- Laws, J. O. (1943). The relation of raindrop size to intensity. *Trans. Amer. Geophys. Union* (24), 452-459.
- Marelli, H. J., Mir, B. M., Arce, J., & Lattanzi, A. (1984). *Evaluación de erosión hídrica en suelo labrado* (Vol. 8). Argentina: Suelos y Agroclimatología.
- Marelli, H., Arce, J.M., & Masiero, B. (1986). Simulador de lluvias para investigación básica en conservación de suelos. *Pub. Técn.* No 8 , 15.
- Martínez-Mena, M. D., Abadía, R., & Castillo Sánchez, V. M. (2001). Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta. *C & G* (15(1-2)), 31-43.
- Meyer, L. D. (1958). Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineering* (39), 644-648.
- Meyer, L. D. (1965). The Design and Construction of a Rainfall Simulator. *Trans of the ASAE* , 8.
- Meyer, L. D. (1979). Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sid slopes. *Trans of the ASAE* (22), 100-103.

- Moazed, H., Bavi, A., Boroomand-Nasab, S., & Naseri, A. &. (2010). Effects of climatic and hydraulic parameters on water uniformity coefficient in solid set systems. *Journal of Applied Sciences* (10), 1792-1796.
- Morin, J., & Goldberg, D. &. (1967). A rainfall simulator with a rotating disc. *Trans of the ASAE* , 8 (1), 67-68.
- Multchler, C. K. (1967). Parameters for describing raindrop splash. *Journal of Soil and Water Conservation* , 22 (3), 91-94.
- Navas, A., & Alberto, F. M. (1990). Design and operation of a rainfall simulator for field studies of runoff and soil erosion. *Soil Technology* (3), 385-397.
- Ognjen Gabric, D. P. (2014). Uncertainty assessment of rainfall simulator uniformity coefficient. *Journal of Faculty of Civil Engineering* , 661-667.
- Parsakhoo, A., Lotfalian, M., Kaviani, A., Hoseini, S., & Demir, M. (2012). Calibration of a portable single nozzle rainfall simulator for soil erodibility study in hyrcanian forests. *African Journal of agricultural research*, 7 (27).
- Rosewell, C. J. (1986). Rainfall Kinetic Energy in Eastern Australia. *Journal of Climate and Applied Meteorology* , 25, 1695-1701.
- Rostagno, C. M. (1995). Diseño de un simulador de lluvia para estudios de infiltración y erosión de suelos. *Ciencia del Suelo* , 13, 41-43.
- Salvador, R; Bautista-Capetillo, C; Burguete, J; Zapata, N; Serreta, A; Playán, E. (2009). A photographic method for drop characterization in agricultural sprinklers. *Irrigation Science* , 27 (4), 307-317.
- Sanroque, P., Rubio, J. L., & Sánchez, J. (1984). Simulador de lluvia para el estudio de la erosionabilidad del suelo en el laboratorio. *I Congreso de Geología*, I, 788-794.
- Sílvia C. P. Carvalho, J. L. (2014). Using meshes to change the characteristics of simulated rainfall produced by spray nozzles. *International Soil and Water Conservation Research* , 2 (2), 67-78.
- Wischmeier, W. H. (1958). Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geophys. Union* (39), 285-291.
- Vaze, J. &. (2003). Study of pollutant washoff from small impervious experimental plots. *Water Resources Research* (39), n/a.
- Wiesner, J. (1985). Bietraege zur Kenntniss des tropi Regens. *K. Akad Will Math. Naturw. Klesse* (104), 1397-1434.

REUSO DE DESECHOS DE CONCHAS DE OSTIÓN «*CRASSOSTREA VIRGINICA*» PARA LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMO AGLOMERANTE DE MORTERO A PARTIR DE TRATAMIENTOS DE MOLIENDA Y CALCINACIÓN

Candelario Ramón de los Santos¹, Angélica Silvestre López Rodríguez²,
Pio Sifuentes Gallardo³, Miguel Ángel Hernández Rivera⁴,
José Guadalupe Fabián Rivera Trejo⁵, Laura Lorena Díaz Flores⁶

¹ calen89_teco@hotmail.com, ² angiesilvestre625@yahoo.com,

³ psifuentes1@yahoo.com.mx, ⁴ mahrivera1956@gmail.com,

⁵ jgfabianrivera@gmail.com, ⁶ laura.diaz@ujat.mx

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Av Universidad s/N Zona de la Cultura,
Col Magisterial, CP 86040 Villahermosa Centro Tabasco México.



Para citar este artículo:

Díaz, L., Hernández, M., López, A., Ramón, C., Rivera, J. y Sifuentes, P. (2016) Reúso de desechos de conchas de ostión «*crassostrea virginica*» para la obtención de un material como aglomerante de mortero a partir de tratamientos de molienda y calcinación. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 38-48. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a03

RESUMEN

En la actualidad las conchas de ostión «*Crassostrea virginica*», explotadas comercialmente en Tabasco, representan un problema de contaminación. Debido a que las personas después de consumir la parte comestible del ostión, desechan en las calles o en lugares públicos e incluso en los rellenos sanitarios las conchas, provocando mal aspecto al lugar, mala higiene y propagación de plagas. Por lo anterior, mediante esta investigación se pretende dar una solución a este problema de contaminación y reciclar este desecho para obtener un material con fines ambientales para la construcción. Las conchas fueron recolectadas y seleccionadas en diversos tamaños y sometidas a tratamientos de molienda en grueso con fracturación manual y molienda en seco en un molino de bolas. Posteriormente, estas conchas de ostión fueron tratadas térmicamente para calcinar a 500, 700, 800, 900 y 1000°C. Los polvos obtenidos con los dos tratamientos fueron separados con una mesa vibratoria para realizar el análisis granulométrico. Y mediante el análisis por difracción de rayos x (DRX), se encontró que los polvos están compuestos de CaO , $CaOH$ y $CaCO_3$. Mediante estos resultados, se propone la factibilidad de la utilización de este desecho de conchas de ostión como un material aglomerante para fabricación de mortero utilizado en la construcción.

Palabras clave

Reúso de cochas de ostión; crassostrea virginica; mortero de cemento, calcita.

DESIGN AND CALIBRATION OF AN AUTOMATIC RAINFALL SIMULATOR

— *Abstract*—

Currently oyster shells "*Crassostrea virginica*" commercially exploited in Tabasco, represent a pollution problem. Because people after consuming the edible part of the scallop, discarded on the streets or in public places and even in landfills shells, causing bad aspect to the place, poor hygiene and spread of pests. Therefore, through this research it is to provide a solution to this problem of pollution and recycle this waste material for environmental purposes for construction. The shells were collected and selected in different sizes and subjected to coarse grinding treatments with manual fracturing and dry grinding in a ball mill. Subsequently, these oyster shells were heat treated for calcining at 500, 700, 800, 900 and 1000°C. The powders obtained with the two treatments were separated with a vibrating table to perform the sieve analysis. Through analysis by x-ray diffraction (DRX), it was found that the powders are composed of CaO , CaOH and CaCO_3 . By these results the feasibility of using this waste oyster shells as a material for mortar used in the construction is proposed.

Keywords

Reuse oyster shells; Crassostrea virginica; cement mortar, Calcite.

En la actualidad las conchas de ostión «*Crassostrea virginica*», explotadas comercialmente en Tabasco, representan un problema de contaminación ya que las personas después de consumir la parte comestible del ostión que es el músculo abductor, las vierten en las calles o en lugares públicos provocando mal aspecto al lugar, mala higiene y propagación de plagas. En este proyecto, se pretende dar una solución a este problema de contaminación y reciclar este desecho para obtener un material con fines ambientales para la construcción. En Tabasco como en muchos estados costeros, el consumo de ostiones va en aumento, porque ha sido considerado como producto gourmet por su sabor, palatabilidad, apariencia y secundariamente por algunos mitos sobre sus supuestos poderes «afrodisíacos»; Sin embargo, lo anterior no representa ningún problema para Tabasco ya que es uno de los principales productores ostrícolas y ha contribuido con un alto porcentaje de la producción a nivel nacional. Con datos estadísticos emitidos por SAGARPA CONAPESCA en el 2013 de 15, 402 Ton/año, quedando en segundo lugar solo por debajo de Veracruz quien produce 19,422 Ton/año (CONAPESCA, 2015).

Además, su captura y producción es la principal actividad para los pobladores en las lagunas costeras del estado; el problema subsiste cuando no se sabe qué hacer con la parte no comestible de este producto marino. Esta problemática afecta tanto a los restauranteros, la población civil y autoridades del mismo, puesto que se generan toneladas de ellas y solo una cuarta parte es utilizada para la reproducción del molusco aductor. Lo anterior no es un exclusivo del estado, si no que a nivel nacional otros estados costeros como Tamaulipas, Veracruz y Campeche también se ven afectados por este mismo problema.

El hecho de desechar las conchas en estos lugares genera considerables inconvenientes, principalmente por su insolubilidad en el agua y su resistencia a la biodegradación. Una de las problemáticas que más preocupa a las comunidades, es el crecimiento del mosquito portador del dengue dentro de las conchas de ostión, ya que ésta presenta una forma irregular y asimétrica, cuya cara exterior es áspera y oscura, contrastando con el interior, que representa una superficie lisa en forma cóncava que da pie a que el agua quede retenida en ella.

Se ha comprobado que las conchas contienen altas cantidades de carbonato de calcio, óxido de calcio e hidróxido de calcio, compuestos que en la actualidad por sus propiedades funcionales se utilizan para realizar diversos procesos que son de beneficio para el ser humano, abarcando campos tan variados como el de la alimentación, la medicina (Ronge Xing, Yukun Qin, Xiaohong Guan, Song Liu, Huahua Yu, Pengcheng Li, 2013), la agricultura, la cosmética, el tratamiento de aguas residuales (Yao-Xing Liu, Tong Ou Yang, Dong-Xing Yuan, Xiao-Yun Wu, 2010) y suelos contaminados con

metales pesados, entre otros (Yong Sik Ok, Sang-Eun Oh, Mahtab Ahmad, Seunghun Hyun Kwon-Rae Kim, Deok Hyun Moon, Sang Soo Lee, Kyoung Jae Lim, Weon-Tai Jeon and Jae E. Yang, 2010) (Yao-Xing Liu, Tong Ou Yang, Dong-Xing Yuan, Xiao-Yun Wu, 2011). Este molusco ha sido utilizado por el hombre en su alimentación desde tiempos prehistóricos, como lo revelan los restos de sus conchas que se encuentran en las cuevas y albergues habitados por los pueblos primitivos o en los concheros que han localizado los arqueólogos en diferentes zonas de la costa y que son de tanta importancia en la datación de fechas para esta ciencia. Las conchas fueron un material empleado por las culturas prehispánicas, como se puede observar en el templo de Teotihuacán, en donde aparecen esculpidos en piedra junto con la simbólica serpiente o los mayas quienes en ausencia de la piedra caliza, construyeron y revestían grandes ciudades utilizando las conchas en combinación con otros materiales como la arcilla.

En los últimos años, las publicaciones científicas, patentes y páginas electrónicas de algunos países o empresas realizan estudios y exponen los avances en la producción, caracterización y aplicaciones de los componentes de la concha de ostión (Yang, Yong Sik Ok, Sang-Eun Oh, Mahtab Ahmad, Seunghun Hyun, Kwon-Rae Kim, Deok Hyun Moon, Sang Soo Lee, Kyoung Jae Lim Weon-Tai Jeon, Jae E., 2010) (Shih-Ching Wua, b, Hsueh-Chuan Hsua, b, Yu-Ning Wuc, Wen-Fu Hoc, 2011). Se ha comprobado que los materiales que son producto de especies calcáreas pueden considerarse como materiales híbridos naturales, ya que están constituidos por compuestos orgánicos e inorgánicos. Un ejemplo de material híbrido natural es el hueso, cuya dureza y rigidez no se ha encontrado en ningún material sintético.

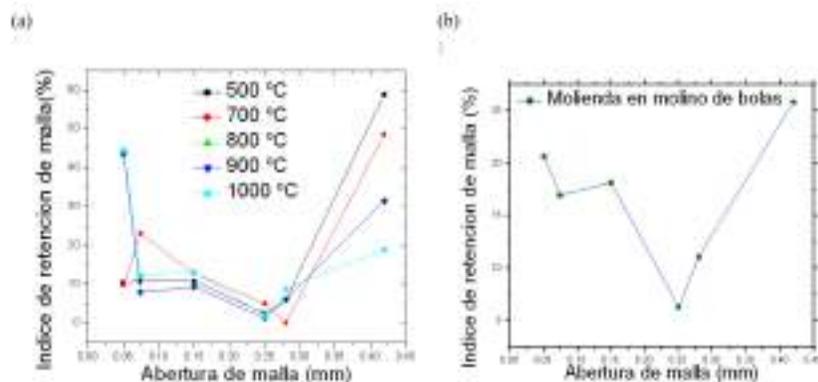
La ventaja que estos materiales porosos ofrecen, es que mediante la eliminación de los componentes orgánicos, el tamaño y forma de los poros pueden controlarse de manera precisa, convirtiéndolos en materiales resistentes al fuego, impermeables en la construcción y para usos ambientales, como el absorber gases contaminantes (Kai-Wen Ma, Hsisheng Teng, 2010). Además forman estructuras muy complejas y ordenadas con buenas propiedades mecánicas y químicas, logrando que estos híbridos sean ideales para aplicaciones en el moderno campo llamado Biotecnología, Informática y Nanotecnología (BIN). La nanotecnología requiere continuamente estructuras auto-ensamblantes, debido a que es muy difícil ensamblar dispositivos formados por unas pocas moléculas. Una forma de aprovechar adecuadamente los desechos de crustáceos, sería la obtención de un material basado en carbonato de calcio, para su utilización en la elaboración de un polvo compuesto de nanopartículas de CaCO_3 .

Materiales y métodos

Se recolectaron conchas de ostión en lugares donde son vertidas como desecho, se lavaron y enjuagaron con agua potable todas las conchas recolectadas para quitarles un poco de suciedad y se seleccionaron en tamaño entre los 7 y 10 cm de longitud. Con trituración manual, se disminuyó el tamaño de las conchas y se dividió en dos grupos de muestras; las muestras para la molienda y las muestras para la calcinación. El primer grupo de conchas de ostión, se sometió a molienda en un molino de bolas durante 30 minutos. Al segundo grupo, se le aplicó tratamiento térmico en una mufla con atmósfera de aire a 500, 700, 800, 900 y 1000 °C. A los polvos obtenidos en los dos tratamientos se les realizó el análisis granulométrico, utilizando mallas con tamaño de abertura de 0.42 mm hasta 0.074 mm, con tiempo de vibración de 20 minutos. La estructura cristalina fue determinada por el análisis de difracción de rayos-x de todos los polvos sometidos a los diversos tratamientos.

Presentación y discusión de resultados Análisis granulométrico de los dos tratamientos

Figura 1. (a) Muestra el porcentaje de retención por malla realizado a las diferentes temperaturas de calcinación. (b) Muestra el porcentaje de retención por malla de las conchas de ostión sometidas a tratamiento mecánico.



En la Figura 1, se presenta el análisis granulométrico, de los tratamientos de calcinación (Figura 1a) y de molienda (Figura 1b) de las conchas de ostión previamente trituradas manualmente. Analizando las gráficas a y b de la Figura 1, se observa que con el tratamiento térmico se obtiene mayor disminución del tamaño de partícula conforme aumenta la temperatura de calcinación se obtiene un polvo muy fino con tamaño de partícula de alrededor

de 74 μm . Este tratamiento favorece la utilización de las conchas de ostión como un aglomerante al mortero utilizado en el proceso de restauración de edificios, ya que se ha reportado que los aglomerantes de los morteros históricos están compuestos de carbonatos y sílice de tamaños pequeños, que le dan el carácter hidráulico y de alta resistencia (Elif Uğurlu Sağın, Hasan Böke, Nadir Aras, Şerife Yalçın, 2012).

Análisis cristalino de los polvos obtenidos

Mediante el análisis estructural, se encontraron las estructuras cristalinas presentes en cada una de las muestras, se analizaron los difractogramas de las Figuras 2 y 3, los cuales corresponden a polvo de concha de ostión con tratamiento de molienda Figura 2, y con tratamientos térmicos (Figura 3). Como puede observarse, todos los materiales analizados son altamente cristalinos y poseen una mayor proporción de picos característicos del CaCO_3 tipo romboédrico, en la fase calcita con señales características en $2\theta = 29,34^\circ$; $39,41^\circ$; $43,16^\circ$; $47,11^\circ$ (según PDF, No. 471743, base de datos JCPDS).

Figura 2. Difractograma de la concha de ostión molidas con molino de bolas.

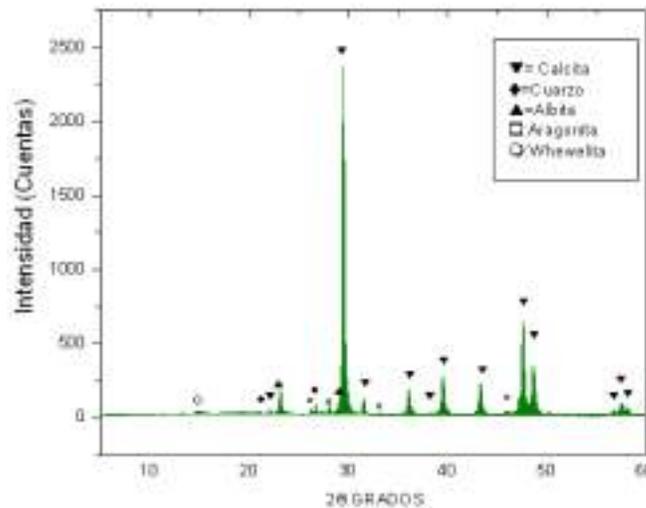
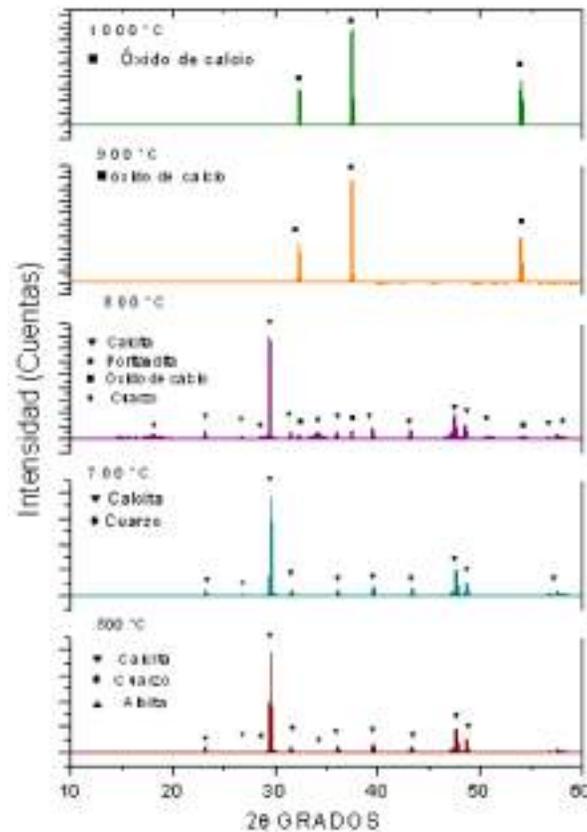
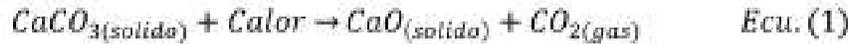


Figura 3. Difractograma de la concha de ostión tratada térmicamente.



Analizando los difractogramas, para el caso de los polvos de las conchas de ostión sin tratamiento y trituradas manualmente (Figura 2), se observa que además del carbonato de calcio en forma de calcita (Shih-Ching Wu, Hsueh-Chuan Hsu, Yu-Ning Wu, Wen-Fu Ho, 2011), también está presente la aragonita, otro tipo de carbonato de calcio pero con diferente estructura cristalina (Zhuona Zhang, Yidong Xie, Xurong Xu, Haihua Pan, Ruikang Tang, 2012). A la aragonita que proviene de la fuente del nácar del mejillón (J. E. Parker, S. P. Thompson, A. R. Lennie, J. Potter and C. C. Tang, 2010) al aplicársele calor cambia su estructura cristalina a calcita. Tal y como puede apreciarse en la gráfica correspondiente a la concha de ostión calcinada a 500°C (Figura 3), en la cual ya no se detecta la presencia de aragonita y solo aparece la calcita. Para el caso de los polvos de la concha de ostión, tratados térmicamente desde 500°C hasta 1000°C (Figura 3) se observa que el CaO ó (cal viva) se obtiene a partir de 800°C. Lo anterior, debido a una reacción de descomposición que ocurre durante el proceso de calcinación.



Esta reacción tiene lugar por encima de la temperatura de descomposición de la concha, es decir, decir una temperatura a la cual el estándar de la energía libre de Gibbs de la reacción es igual a cero. Lo que origina un producto de color blanco o blanco grisáceo (Kai-Wen Ma and Hsisheng Tengw, 2010). Dichas reacciones de calcinación en atmosfera de aire conducen a una pérdida de masa de 45%.

Por otra parte, comparando los dos tipos de tratamientos estudiados, se concluye que con el tratamiento mecánico no hay cambios favorables para la obtención de cal, que pueda utilizarse como aglomerante de mortero. Ya que solo se detecta la presencia de calcita, compuesto presente de manera natural en el polvo de concha de ostión sin ningún tratamiento y en forma de trazas se detecta por un oxalato de calcio monohidratado conocido como whewellita mineral (Figura 2).

Para el caso del polvo tratado térmicamente, se aprecia, la presencia de aragonita, la cual al aplicarle calor cambia su estructura cristalina a calcita, tal y como puede apreciarse en la gráfica correspondiente a la concha de ostión calcinada a 500°C en la cual ya no se detecta la presencia de aragonita y solo aparece la calcita (Figura 3). La temperatura ideal a la cual se puede obtener el óxido de calcio como un material para su uso como aglomerante del mortero es a 900°C, puesto que lo único que se logra calcinando la concha de ostión a temperaturas más altas es el aumento de la alcalinidad del material.

CONCLUSIONES

El tratamiento que favorece la utilización de la concha de ostión como material para agregado de mortero para la restauración de antiguos edificios, es el obtenido mediante el tratamiento térmico a la concha de ostión a 900°C. A esta temperatura se obtiene óxido de calcio, compuesto utilizado en la industria de la construcción. Por otra parte, la concha que se calcina a esta temperatura es más fácil de triturar y presenta un tamaño de partícula de 0.74 μm , que es capaz de adherirse a las paredes húmedas a restaurar. La textura del polvo obtenido con este tratamiento térmico en este trabajo de investigación, es más fino y de color blanco, lo que favorece que reflejen la luz, aumentando la reflectancia de la luz en el rango del visible. Es por estas características, que este material se puede utilizar como mortero para

la restauración de edificios antiguos y zonas arqueológicas, al ser el material utilizado desde la antigüedad y mucho antes del descubrimiento del cemento tipo portland que se utiliza en la actualidad.

Agradecimientos

Al proyecto PFI_UJAT 2015 de la Dra. Angélica Silvestre López Rodríguez, por el apoyo con el molino. Y a los estudiantes Danelly López Dionicio y Javier Lorenzo Vargas Sepúlveda, quienes con sus resultados preliminares en su Tesis, se han podido replicar los experimentos y orientado las diferentes aplicaciones de esta calcita.

BIBLIOGRAFÍA

- CONAPESCA. (2015). *conapesca.gob.mx*. Recuperado el 15 de JUNIO de 2015, de http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/consulta_especifica_por_produccion
- Elif Uğurlu Sağın, Hasan Böke, Nadir Aras, Şerife Yalçın. (2012). Determination of CaCO₃ and SiO₂ content in the binders of historic lime mortars. *Materials and Structures* , 45 (6), 841-849.
- J. E. Parker, S. P. Thompson, A. R. Lennie, J. Potter and C. C. Tang. (2010). A study of the aragonite-calcite transformation using Raman spectroscopy, synchrotron powder diffraction and scanning electron microscopy. *CrystEngComm* , 12, 1590-1599.
- Kai-Wen Ma and Hsisheng Tengw. (2010). CaO Powders from Oyster Shells for Efficient CO₂ Capture in Multiple Carbonation Cycles. *Journal American Ceramic Society* , 93 (1), 221-227.
- Rong Xing, Yukun Qin, Xiaohong Guan, Song Liu, Huahua Yu, Pengcheng Li . (2013). Comparison of antifungal activities of scallop shell oyster shell and their pyrolyzed products. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 39 (2), 83–90.
- Shih-Ching Wu, Hsueh-Chuan Hsu, Yu-Ning Wu, Wen-Fu Ho. (2011). Hydroxyapatite synthesized from oyster shell powders by ball. *Materials Characterization*, 6 (2), 1180-1187.
- Yang, Yong Sik Ok, Sang-Eun Oh, Mahtab Ahmad, Seunghun Hyun, Kwon-Rae Kim, Deok Hyun Moon, Sang Soo Lee, Kyoung Jae Lim Weon-Tai Jeon, Jae E. (2010). Effects of natural and calcined oyster shells on Cd and Pb immobilization in contaminated soils. *Environmental Earth Science* , 61, 1301–1308.
- Yao-Xing Liu, Tong Ou Yang, Dong-Xing Yuan, Xiao-Yun Wu. (2010). Study of municipal wastewater treatment with oyster shell as biological aerated filter medium. *Desalination* , 254, 149–153.
- Yong Sik Ok, Sang-Eun Oh, Mahtab Ahmad, Seunghun Hyun Kwon-Rae Kim, Deok Hyun Moon, Sang Soo Lee, Kyoung Jae Lim, Weon-Tai Jeon and Jae E. Yang. (2010). Effects of natural and calcined oyster shells on Cd and Pb immobilization in contaminated soils. *Environmental Earth Science* , 61, 1301–1308.
- Zhuona Zhang, Yidong Xie, Xurong Xu, Haihua Pan, Ruikang Tang. (2012). Transformation of amorphous calcium carbonate into aragonite. *Journal of Crystal Growth* , 343 (1), 62–67.

BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON ACEITE AUTOMOTRIZ USADOS MEDIANTE SISTEMA DE BIOPILAS

Héctor Guillermo Anza Cruz¹, Paula Deyanira Orantes Calleja¹,
Raúl González Herrera^{1*}, Alejandro Ruíz Marín²,
Eduardo Espinoza Medinilla³, Rebeca Isabel Martínez Salinas³,
Carlos Manuel García Lara¹, Pedro Vera Toledo¹

¹ Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental, UNICACH,

² Laboratorio de biotecnología de la Universidad Autónoma del Carmen, Campeche,

³ Facultad de Ingeniería. Posgrado, UNICACH,

* Autor corresponsal raul.gonzalez@unicach.mx.



Para citar este artículo:

Anza, H., Espinoza, E., García, C., González, R., Martínez, R., Orantes, P., Ruíz, A. y Vera, P. (2016) Biorremediación de suelos contaminados con aceites automotriz usados mediante sistema de biopilas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 49-77. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a04

RESUMEN

En la investigación se realizó la biorremediación de suelo contaminado con aceites usados de talleres de servicio automotriz mediante biopi-las. Se emplearon cuatro muestras de suelo proveniente de la Unidad de Manejo Ambiental (UMA) «La Huella» ejido Pedro Méndez, Chiapa de Corzo, Chiapas, México; las cuales se caracterizaron en laboratorios de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas y El Colegio de la Frontera Sur, analizando humedad, materia orgánica, textura, pH, temperatura, nitrógeno total y fósforo disponible. Se construyeron cuatro biopilas, desarrollando tres tratamientos con tres repeticiones y un testigo, las cuales fueron con-taminadas en concentraciones para el testigo de 30,000 ppm, para primer tratamiento 10,000 ppm, para segundo 30,000 ppm y para tercero de 50,000 ppm de hidrocarburos totales del petróleo (HTP). Las cepas utilizadas fueron *Acinetobacter Sp*, *Sphingobacterium Sp* y *Stenotrophomona Sp*; con concen-tración de 2.25×10^8 UFC para cada tratamiento. Se realizó el recuento de microorganismos el día quince del experimento. Los tratamientos fueron monitoreados tres meses los días 1, 15, 30, 60 y 90 en el laboratorio de bio-tecnología de la Universidad Autónoma del Carmen, Campeche. Se lograron porcentajes de remoción de las fracciones alifática de 93.7 a 87.1% y en la fracción aromática de 0 a 94.8 en 90 días de tratamiento, con aplicación de bacterias biorremediadoras e identificación de cepas bacterianas nativas del suelo que lograron resistir el cambio en su ambiente.

Palabras clave

Biorremediación, Biopilas, Aceites automotrices usados, Acinetobacter Sp, Sphingobacterium Sp y Stenotrophomona Sp.

BIOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH OIL AUTOMOTIVE USED THROUGH SYSTEM BIOCELLS

— Abstract—

In the investigation was made the bioremediation of contaminated soil with waste oils from automobile service by biopiles technique. The study was made taking four samples of soil, from the UMA "La Huella" of Pedro Méndez town in the municipality of Chiapa de Corzo, Chiapas, Mexico; being characterized in laboratories at the Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas and El Colegio de la Frontera Sur, analyzing parameters such as moisture, organic matter, texture, pH, temperature, total nitrogen and available phosphorus. Four biopiles were built, developing three treatments with three replicates and a control, which were contaminated with oils used in different concentrations, 30,000 ppm to biopile witness, for the first treatment, 10,000 ppm, for second 30,000 ppm and 50,000 ppm third of HTP. The strains used were *Acinetobacter Sp*, *Stenotrophomona Sp* and *Sphingobacterium Sp*; each bacterium was inoculated at a concentration of 2.25×10^8 CFU for each of the treatments. Counts of viable microorganisms was performed the fifteenth day during the experiment. Treatments were monitored for three months on days 1, 15, 30, 60 and 90 in the biotechnology laboratory of the Universidad Autónoma del Carmen, Campeche. With this work considerable removal percentages of the fractions were achieved, in the aliphatic removal 93.7 to 87.1% was achieved and the aromatic hydrocarbon fraction, removals from 0 to 94.8 in 90 days of treatment with the application of bioremediation bacteria and identification of bacterial strains native soil, who managed to resist change in their environment.

Keywords

Bioremediation, automobile waste oils, biopiles technique, Acinetobacter Sp, Stenotrophomona Sp and Sphingobacterium Sp.

El manejo inadecuado de los residuos peligrosos ha generado, a escala mundial, un problema de contaminación de suelos, aire y agua. Entre las más severas contaminaciones destacan las que se producen por la extracción y el manejo del petróleo y sus derivados. En México, uno de los países con mayor producción de petróleo a nivel mundial, tiene un número considerable de sitios impactados por estos contaminantes; en el sureste mexicano hay sitios con diferentes niveles de impacto ambiental por la actividad petrolera de aproximadamente cincuenta años (Randy *et al.*, 1999; Roldán e Iturbe, 2005).

Los métodos físico-químicos tradicionales para la remediación de sitios contaminados han sido: la incineración, vertederos, lavado del suelo o algún tratamiento químico. Resultan costosos y pueden producir diferentes tóxicos que son capaces de permanecer en el suelo, migrar hacia las aguas superficiales o subterráneas, o son emitidos a la atmósfera (Eweis *et al.*, 1998; citado por Volke y Velasco, 2002; Ifeanyichukwu, 2011).

De acuerdo con estudios realizados en Estados Unidos y Reino Unido, el mercado de la biorremediación para tratamiento de suelos contaminados se ha incrementado debido a que los costos pueden reducirse entre 65 y 80%, con respecto a los métodos fisicoquímicos (Zechendorf, 1999; citado por Volke y Velasco, 2002). La aceptación de la biorremediación como una estrategia viable depende de sus costos y eficiencia sobre una matriz contaminada (Semple *et al.*, 2001; citado por Volke y Velasco, 2002).

En Estados Unidos alrededor de 3,200 millones de litros de aceite de motor usado se recicla anualmente. En México, el uso y manejo son menos adecuados y se ha convertido en un factor de contaminación (Ifeanyichukwu, 2011).

El presente estudio tiene por objetivo biorremediar suelo contaminado con aceite automotriz mediante *Acinetobacter Sp*, *Sphingobacterium Sp* y *Stenotrophomona Sp* a través de un sistema de biopilas, analizando las características físico-químicas del suelo e identificando la contribución de las bacterias biorremediadoras durante el proceso.

Antecedentes

El concepto de biorremediación describe una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos para remover, degradar o transformar compuestos orgánicos tóxicos en productos metabólicos menos tóxicos o inocuos (Van Deuren *et al.*, 1997). Los procesos biológicos que involucran enzimas como catalizadores pueden modificar moléculas orgánicas produciendo cambios en su estructura y propiedades toxicológicas, dando como resultado la conversión de dichos compuestos en productos inorgánicos como agua, CO₂ o

formas inorgánicas de N, P y S, componentes celulares y productos de las rutas metabólicas (Alexander, 1994; citado por Volke y Velasco, 2002).

Los aceites usados están compuestos por hidrocarburos totales de petróleo (HTP), bifenilos policlorados (PCB), aromáticos policíclicos (HAP), metales y otros contaminantes que ocasionan deterioro en el medio ambiente y salud humana, tóxicos y venenosos, siendo sustancia de difícil degradación (Vásquez *et al.*, 2010) y residuos peligrosos NOM-052-SEMARNAT-2005. El aceite de motor es agente lubricante y combustible auxiliar, refinado e incorporado en asfalto. Muchos componentes del aceite son tóxicos pudiendo ser cancerígenos y disruptores endocrinos. Los componentes alifáticos son eliminados del ambiente a través atenuación natural, sin embargo, las fracciones recalcitrantes siguen persistentes. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) son componentes peligrosos del aceite de motor usado (Ifeanyichukwu, 2011).

En California, se aplicó biorremediación *in situ* en suelos contaminados con aceite diésel mediante microorganismos autóctonos, nutrientes y oxígeno e inoculación de una mezcla enriquecida de consorcios bacterianos extraída del mismo suelo. Permitió encontrar consorcios bacterianos degradadores de hidrocarburos identificados por secuenciación de genes 16S-RNA, con presencia de *Bacillus cereus*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus fusiformis*, *Bacillus pumilus*, *Acinetobacter junii*, y *Pseudomonas Sp* (Volke y Velasco, 2002).

Pérez *et al.* (2007) en Cuba estudiaron la biodegradación por cepas aisladas de suelos contaminados con petróleo, por enriquecimiento secuencial utilizando petróleo como fuente de carbono y energía. Aislaron cepas bacterianas, cinco Gram negativas y cuatro Gram positivas, del Manual Bergey's (1994). Seleccionaron *Pseudomonas aeruginosa*, por su mayor crecimiento con petróleo como fuente de carbono y energía, degradando un 57%.

En un estudio en Colombia, evaluando consorcios microbianos nativos, adicionados a biopilas de lodos deshidratados del tratamiento primario de aguas residuales domésticas, lodos provenientes de lavaderos de carros y lodos de alcantarillado de la zona industrial de Bucaramanga. En dichos ensayos se aislaron, identificaron y conservaron cepas microbianas con capacidad degradadora de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) como *Pseudomonas spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter spp.*, *Enterobacteriaceae*, *Citrobacter spp.*, *Bacillus brevis*, *Micrococcus spp.* y *Nocardia spp.* Se inoculó con una concentración de 3×10^8 UFC/ml de bacterias y microorganismos fúngicos como *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, *Trichoderma spp.*, a una concentración de 1×10^6 esporas/ml. Se obtuvieron porcentajes de remoción hasta 94% de HTP en 120 días y 84% en 40 días (Vásquez *et al.*, 2010).

García *et al.* (2012) en Venezuela, estudiaron la biodegradación de un crudo mediano en dos suelos de diferentes texturas, con y sin la adición de

un agente estructurante (hojarasca). Los suelos ensayados fueron de textura arenosa (cuarzo e ilita), y franco- arcillo- arenoso (cuarzo y caolinita). Se evaluaron cuatro tratamientos por triplicado en microcosmos con un contenido de crudo inicial de 5% (m/m) y se añadieron fertilizantes para obtener las relaciones C/N=60 y C/P= 800, se airearon las pilas y se mantuvo la humedad entre 40 y 60%. La concentración de hidrocarburos totales se determinó a 1, 15, 30, 45 y 90 días. La textura franco- arcillo- arenosa favoreció el proceso de biodegradación de los hidrocarburos totales en los componentes saturados. El agente estructurante influyó en la biodegradación.

Acuña *et al.* (2012), trabajaron con humedades de 3, 10, 15 y 20% y temperaturas de 5, 15, 28 y 37°C, dieron seguimiento de mineralización de hidrocarburos. Para optimizar la relación de nutrientes se diseñaron microcosmos monitoreados por consumo de oxígeno y cromatografía gaseosa. Los resultados indican que la mineralización de hidrocarburos fue óptima para humedades de 10 a 20% y temperaturas de 25 a 37°C con valores de producción de CO₂ de 3,000 a 4,500 mgCO₂kg⁻¹. La relación óptima C:N:P fue de 100:1:0,1 en la que se observó el mayor consumo de oxígeno y la remoción de 83% de los hidrocarburos totales, con 78 y 89% de eliminación de los hidrocarburos n-alcanos y poliaromáticos.

Fundamento bioquímico de la biorremediación

Se basa en reacciones óxido-reducción que se producen en la cadena respiratoria, o transportadora de electrones de las células. La cadena la inicia un sustrato orgánico externo a la célula que actúa como dador de electrones, donde la actividad metabólica de la célula degrada y consume la sustancia. Los aceptores utilizados por microorganismos son oxígeno, nitratos, hierro (III), sulfatos y dióxido de carbono (Maroto y Rogel, 2013).

La biodegradabilidad depende de los factores:

Humedad (depende de la textura y porosidad del suelo).

El nitrógeno es necesario para la síntesis de proteínas y la pared celular y puede perderse por lixiviación de amonio y nitratos y por desnitrificación del suelo. El fósforo es útil para formar ácidos nucleicos y el ATP y está limitado por baja solubilidad y disponibilidad. La presencia de cantidades mínimas de nitrógeno y fósforo permite la biodegradación a velocidades bajas (Roldán e Iturbe, 2005).

Actividad de microorganismos y suministro de oxígeno.

Cuando los poros del suelo se encuentran ocupados por agua, el oxígeno es menor y se presentan condiciones anóxicas. Para degradación aerobia es necesario 10% de poros libres (Roldán e Iturbe, 2005).

El pH afecta la actividad microbiana, cuanto mayor sea la diversidad de microorganismos, mayor tolerancia. El crecimiento de la mayor parte de microorganismos es máximo en pH entre 6 y 8 (Dibble y Bartha, 1979; citado por Torres y Zuluaga, 2009).

La temperatura en condiciones mesófilas entre 20 y 30°C permite crecimiento de bacterias, decreciendo a temperaturas superiores a 40°C e inhibiéndose a inferiores a 0°C (Torres y Zuluaga, 2009).

Los contaminantes orgánicos son fuente de carbono que los microorganismos requieren para biodegradación. Cuando las condiciones ambientales y las unidades formadoras de colonias (UFC) no estén en cantidades adecuadas, se establecen mediante procesos ingenieriles. En altas concentraciones de contaminante, existe toxicidad sobre población microbiana e insuficiencia de nutrientes (Roldán e Iturbe, 2005).

Entre las tecnologías de biorremediación se encuentran:

- Bioestimulación: adición de oxígeno y/o nutrientes para estimular la actividad de microorganismos autóctonos y biodegradación de contaminantes (Van Deuren *et al.*, 1997; Manacorda y Cuadros, 2005).
- Bioaumentación: adición de microorganismos para degradar el contaminante (Riser y Roberts, 1998; Manacorda y Cuadros, 2005).
- Biolabranza: mezcla con agentes volúmenes y nutrientes, se labra para favorecer aireación, mezclando suelo limpio con contaminado (Van Deuren *et al.*, 1997; citado por Volke y Velasco, 2002).
- Bioventeo: estimular la biodegradación de un contaminante por suministro de aire. La aireación favorece la degradación por: volatilización, migración de la fase volátil de contaminantes y biodegradación, estimula la actividad bacteriana (Maroto y Rogel, 2013; Manacorda y Cuadros, 2005).
- Fitorremediación: utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes en suelos (Van Deuren *et al.*, 1997; citado por Volke y Velasco, 2002; Manacorda y Cuadros, 2005).

Las biopilas

Las biopilas son biorremediación *ex situ* en condiciones no saturadas, consiste en reducción de concentración de contaminantes derivados del petróleo de suelos (Benavides *et al.*, 2006). La elección de biopilas depende de condiciones climáticas y estructura de compuestos orgánicos volátiles del suelo. Las biopilas se diseñan como sistemas cerrados para mantener la temperatura, evitar la saturación de agua de lluvias y disminuir evaporación de agua y compuestos orgánicos volátiles (Eweis *et al.*, 1998; citado por Volke y Velasco, 2002).

Criterios para el diseño de biopilas:

- Extensión del suelo contaminado (volumen y datos del sitio) (Roldán e Iturbe, 2005).
- HTP en concentraciones menores a las 50,000 ppm y mayores a las 10,000 ppm (Vásquez *et al.*, 2010; Roldán e Iturbe, 2005; Benavides *et al.*, 2006).
- Bacterias heterótrofas en concentración mayor a 1 000 UFC/lg en suelo seco (Roldán e Iturbe, 2005).
- pH entre 6 y 9 (Roldán e Iturbe, 2005).
- Contenido de humedad entre 70 y 95% de capacidad de campo.
- Bajo contenido de arcilla y/o limo (Roldán e Iturbe, 2005).
- C, N, P y K aproximadamente de 100:15:1:1 (Roldán e Iturbe, 2005).
- Metales tóxicos menores a 2,500 mg/Kg (Roldán e Iturbe, 2005).

De acuerdo con las características del proceso de composteo, en etapa inicial es necesaria una aireación debido a una acelerada actividad microbiana. Este aumento en la actividad provoca un incremento de calor metabólico, produciéndose temperaturas en rango termofílico (50 a 60°C) (EPA, 1998; citado por Volke y Velasco, 2002).

Después disminuye la actividad microbiana debido a que los componentes biodegradables son consumidos. En esta etapa el requerimiento de oxígeno y temperatura disminuyen, por lo que la composta requiere menor aireación. Una vez que la pila se enfría y la temperatura se aproxima a la ambiente, el periodo de composteo se considera completo, lo que incluye cambio de textura y olor. Dependiendo de la cantidad de material orgánico mezclado con suelo la masa se reduce 40% (Eweis *et al.*, 1998; citado por Volke y Velasco, 2002).

Las condiciones óptimas de composteo dependen de parámetros en tres categorías: características del suelo, condiciones climáticas y características de los contaminantes. Un factor clave radica en la selección de aditivos, lo

cual conlleva un aumento en la velocidad de biodegradación de contaminantes (Eweis *et al.*, 1998; citado por Volke y Velasco, 2002).

Regiones con clima cálido entre 20 y 40°C son más eficientes para biorremediación. La temperatura de operación de una biopila es entre 30 y 40°C (etapa mesofílica) y depende principalmente del calor generado por la actividad metabólica de los microorganismos en la composta y por las condiciones climáticas del lugar (Volke y Velasco, 2002).

México es una región idónea para estas tecnologías ya que el 50.9% del territorio presenta climas con temperaturas entre los 18 a 26°C. En costas y regiones bajas (Chiapas, Oaxaca, Tampico, Hidalgo, etc.) las temperaturas medias oscilan entre 25 a 28°C (máxima 41°C), regiones donde se localiza la mayoría de los sitios contaminados por hidrocarburos (PEMEX, 2001; citado por Volke y Velasco, 2002).

Bacterias biorremediadoras

La biorremediación acelera procesos biodegradativos que de forma natural ocurren en ecosistemas contaminados, donde las comunidades microbianas suelen ser dominadas por microorganismos adaptados, capaces de utilizar compuestos tóxicos del espacio contaminado. En ambientes contaminados por hidrocarburos es frecuente que bacterias Gram negativas dominen el sistema (Pérez *et al.*, 2007; Manacorda y Cuadros, 2005).

Si los contaminantes son sintéticos y nuevos en el medio ambiente, los microorganismos no tienen la capacidad de degradarlos, ya que los genes biodegradativos no han evolucionado. Incluso si los genes están presentes, la expresión funcional de los genes es esencial para que las enzimas degradativas apropiadas puedan ser producidas (Daubaras y Chakrabarty, 1992).

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del suelo

En el laboratorio de Ingeniería Ambiental de UNICACH se evaluaron los parámetros: textura empleando tamices 4, 8, 10, 20, 50, 100 y 200; para una muestra de 400 g de suelo seco. El pH considerando la NOM-021-SEMARNAT-2000, utilizando un potenciómetro. La capacidad de campo se realizó saturándolo y dejando escurrir durante doce horas, posteriormente pesado, secado al horno y pesado sin humedad. El porcentaje de materia orgánica se obtuvo mediante diferencia de pesos.

Nitrógeno total, se utilizó el método de Micro Kjeldahl y fósforo disponible, método de Olsen; realizados por el laboratorio de Análisis de Suelos

y Plantas en El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000. Temperatura, se realizó con un termómetro digital Taylor modelo 9842.

Preparación del inóculo

Se emplearon cepas *Stenotrophomonas* sp, *Sphingobacterium* sp y *Acinetobacter* sp, que fueron aisladas de un suelo contaminado con hidrocarburos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (16°45'43.92''N; 93°10'36.86''W), identificadas en Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (Cisneros, 2011). Las cepas se mantuvieron en tubos eppendorf de 1.6 ml con medio LB y glicerol al 30% a -20°C.

Las bacterias se transfirieron a tubos de ensayo con aproximadamente 3 ml de caldo Luria y fueron incubadas a temperatura de 37°C durante 72 horas. Se sembraron en nueve cajas Petri estériles, tres para cada bacteria, se les agregó medio de cultivo Agar Infusión Cerebro Corazón y se incubaron a 37°C durante 24 horas para identificación.

La cuenta de bacterias se realizó por medio de la escala nefelométrica de MacFarland preparada en Laboratorio Estatal de Salud Pública, para la cual se organizaron tubos de ensayos con tapón de rosca numerados del 0.5 y del 1 al 10. Cada tubo se llenó con cloruro de bario anhidro al 1% en solución acuosa y una solución fría de ácido sulfúrico P.A. al 1% (v/v) en diferentes concentraciones de acuerdo a la turbidez deseada.

Las bacterias se inocularon en cajas petri previamente sembradas en tubo de ensayo con 4 ml de solución salina al 0.9%. La transferencia se realizó con asa bacteriológica tomando porciones del inóculo y mezclando de manera homogénea en tubos de ensayo hasta lograr la turbidez deseada comparada con el tubo 0.5 de la escala, que representa una concentración de 1.5×10^8 UFC/ml.

Análisis genético

Se realizaron dos análisis genéticos, el primero para corroborar las bacterias empleadas y el segundo para conocer que bacterias lograron adaptarse. La extracción del ácido desoxirribonucleico (ADN) se realizó por método de lisis celular/ fenol- cloroformo- alcohol isoamílico (Espinoza y García, 2003). Se colocaron tres inóculos provenientes de un medio de cultivo sólido (agar infusión cerebro corazón), para el primer análisis y 10 para el segundo. Se agregó, a cada tubo 360 µl de EDTA 0.5 M (pH 8.0); 19 µl de SDS al 10%; 25 µl de Tris HCL 0.1 M (pH 8.0) y 25 µl de Proteinasa K (10 mg/ml). Se agitaron

en un vortex durante 20 s y se colocaron a baño maría de 12 a 18 hr a 55°C para disolver tejido.

Las muestras fueron sometidas a un tratamiento de RNAasa. Se retiraron de baño maría y se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 5 minutos. A cada tubo se le agregaron 2.2 µl de RNAasa con concentración de 10 mg/ml y se dejaron a baño maría durante una hora a 37°C. Se retiraron los tubos y dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 5 minutos. Se agregó a cada tubo 400 µl de acetato de amonio y pasaron al vortex durante 20 s. Los tubos se centrifugaron durante 5 minutos a 14,000 rpm.

Se retiró el sobrenadante y colocó en tubos con 600 µl de alcohol a temperatura de -20°C. Las muestras se centrifugaron durante 6 minutos a 14,000 rpm. Se retiró el alcohol de los tubos y añadieron 125 µl de alcohol etílico al 80%. Se dejaron reposar de 1 a 2 minutos para rehidratar el ADN. Se centrifugaron las muestras durante cuatro minutos a 14,000 rpm y se retiró el sobrenadante. Los tubos se dejaron destapados durante 30 minutos y se les agregó 100 µl de agua estéril para hidratar el ADN hasta que desaparezca el botón.

Visualización de ADN

La visualización del ADN extraído se realizó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1% (p/v). Para preparar el gel se disolvieron 0.3 g de agarosa en 38 ml de amortiguador TAE 1X. En un parafilm se colocaron 3 µl de azul 6X por cada muestra, y 5 µl de ADN, resuspendiendo con micropipeta. Posteriormente se colocaron las muestras en los pozos del gel, se conectó la cámara a un voltaje de 120 volts, durante una hora.

Cuando el gel terminó de correr, se retiró de la charola, posteriormente fue teñido con bromuro de etidio (bromuro de 3.8 diamino-6-etil-5-fenilfenantridio, 10 mg/ml por 15 minutos, colorante fluorescente (Valadez y Kahl, 2000) que al intercalarse con las moléculas de ADN emite radiación, al emplear un transiluminador de luz ultravioleta, donde se evidencian las bandas del ADN total. La amplificación del ADN se realizó mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), proceso que consiste en sintetizar un fragmento de ADN con polimerasa a temperaturas elevadas (Espinoza, 2007).

Para preparar las muestras de la reacción en cadena de la Polimerasa (PCR) se utilizó el kit Green Master Mix, colocando en tubos para microcentrífuga 12 µl de master mix, 10 µl de agua para master mix, 1 de cada primer y 1.5 µl de ADN, con un volumen de 25.5 µl, se colocaron en termociclador TECHNE TC-3000, de acuerdo a las siguientes condiciones de temperatura: un ciclo de cuatro minutos a 94°C, seguido de 32 ciclos de 1 minuto a 94°C, un minuto a 53.5°C, un minuto 30 segundos a 72°C y 7 minutos a 72°C.

La visualización de ADN amplificado se llevó a cabo mediante electroforesis en gel de agarosa al 2% (p/v). Para esto se disolvieron 0.6 g de agarosa en 38 ml de TAE 1X en matraz Erlenmeyer. El tapón de carga fue 2 μ l del ADN amplificado y 1 μ l de azul de bromofenol y 1 μ l de ladder (escalera) de 100 pares de bases (pb) de ADN el cual consiste en 11 fragmentos con incrementos exactos de 100 pares de bases que van de 100 a 1500 en donde la banda de 500 pb presenta una triple intensidad comparado con los demás fragmentos. El programa de corrimiento del gel fue de 60 a 120 minutos a 120 volts, para la visualización de la amplificación el gel es teñido con bromuro de etidio y la imagen captada mediante cámara directamente del transluminador de luz ultravioleta, las fotografías se editaron con Picture Manager. La purificación y secuenciación de muestras estuvo a cargo de la compañía MACROGEN en Seúl, Corea con un secuenciador ABIPRISM marca Perkin Elmer.

Preparación de biopilas

Para la construcción de las biopilas se tomaron cuatro muestras de suelo de 0.013 m³ proveniente de la Unidad de Manejo y Conservación de la Vida Silvestre «La Huella» ubicada en el ejido Pedro Méndez en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, México, a una latitud N de 495757 y longitud O de 1840501, con una altura sobre el nivel medio del mar de 420 m, que presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Awo) y temperatura media anual de 26.3°C. Los resultados de la caracterización del suelo indicaron que cuenta con propiedades fisicoquímicas para la biorremediación: pH entre 6 a 8 unidades, bajo contenido de arcilla y/o limo y alto contenido de nutrientes, se espera una temperatura entre 25 a 35°C durante el tratamiento (Roldán e Iturbe, 2005).

Se construyeron cuatro cajas de madera de 35 cm de largo por 25 cm de ancho y 15 cm de alto, diseñadas calculando que la cantidad de suelo sería la adecuada para realizar los análisis durante el proceso. Las cajas fueron diseñadas con pendiente del 2 al 3% para permitir escurrimiento de lixiviados (Roldan e Iturbe, 2005). Se forraron con una capa plástica para evitar absorción de lixiviados y permitir su escurrimiento.

En caso de que se generen lixiviados, estos se recolectarían en una base impermeable colocada en la parte baja.

Contaminación y acondicionamiento

Se pesaron 5 kg de suelo seco, posteriormente fue contaminado por aceite automotriz en tres diferentes concentraciones de 10,000 a 50,000 ppm de HTP (Vásquez *et al.*, 2010; Roldán e Iturbe, 2005; Benavides *et al.*, 2006). El primer tratamiento se contaminó con 10,000 ppm de HTP, el segundo con

30,000 ppm, el tercero con 50,000 ppm y la biopila testigo con 30,000 ppm. Las cantidades de aceite se midieron en una probeta graduada. Finalmente se revolvió de manera manual el suelo con el aceite.

Los tratamientos fueron etiquetados: biopila testigo c_1 ; biopila con concentración de 10,000 ppm, c_2 ; concentración de 30,000 ppm, c_3 y concentración de 50,000 ppm c_4 . El acondicionamiento de la biopila se realizó adicionando agua hasta alcanzar una humedad del 60 al 70% de la capacidad de campo (Vásquez *et al.*, 2010), se verificó que el pH se encontrara entre 6 y 8. Se inocularon las bacterias a una concentración de 1.5×10^8 UFC/ml comparada con la escala de MacFarland, se agregaron 1.5 ml de solución salina inoculada por cada bacteria (Roldán e Iturbe, 2005) inoculando una concentración mayor de 1000 UFC/g de suelo seco, se aireó por medio de volteos manuales, se tomó la temperatura y se controló la humedad con método del puño cada dos días y humedad en el horno y pH cada 15 días. Se cubrió con una capa plástica para evitar erosión y escurrimiento por lluvias.

Identificación de niveles de remoción

Se tomaron tres muestras de suelo del fondo de cada biopila, seccionando la caja en tres a lo largo, por caja para cada tratamiento y el testigo. Las muestras se colocaron en tubos de plástico de 120 ml con tapa de rosca y boca ancha llenándolos por completo y finalmente se congelaron para preservarlas para su análisis. Las muestras tomadas fueron secadas al horno a 60°C, durante 72 horas, se homogenizó el sedimento revolviendo las tres muestras simples de los muestreos de cada tratamiento y el testigo, teniendo así cuatro muestras que analizar por cada muestreo, se pasaron por un tamiz de 0.5 μm .

Para extraer el hidrocarburo se pesó una submuestra de 20 g de sedimento y el blanco, para el cual se usa arena, en un dedal de extracción. Se agregaron 200 ml de cloruro de metileno a un matraz de fondo redondo de 250 ml y se adicionaron cuerpos de ebullición. Posteriormente se ensambló el soxhlet y se llevó a reflujo durante 8 a 12 horas. Se evaporó la fracción de cloruro de metileno en baño maría, utilizando un rotavapor, se agregó hexano tres veces hasta ir sustituyendo el solvente sin permitir que la muestra se seque. La muestra se almacenó en los matraces para pasar por cromatografía en columna.

Cromatografía en columna

Para la preparación de la muestra se empacaron columnas cromatográficas de vidrio con llave de teflón con tapón de lana de vidrio. Se pesaron 10 g de alúmina y 20 g de gel de sílice parcialmente desactivados en vasos de

precipitados de 50 ml. Se agregó 1 cm de sulfato de sodio parcialmente desactivado y alúmina vía seca, usando embudo. Se agregaron 20 g de gel de sílice y sulfato de sodio (1 cm). Después fueron vertidos 30 ml de cloruro de metileno mediante embudo y manteniendo la llave abierta, se dejó que escurriera hasta que quedara el nivel por encima del sulfato de sodio con el fin de agregar 1 cm de polvo de cobre para que tuviera contacto con el cloruro de metileno.

Cuando el nivel del solvente se encontró en la superficie del polvo de cobre, se agregó la muestra junto con tres enjuagues del matraz con 0.5 ml de hexano. Se abrió la llave para que penetrara la muestra y se inició la elución, para la fracción 1 hidrocarburos alifáticos, con 100 ml de hexano y para la fracción 2 hidrocarburos aromáticos, con 100 ml de hexano y 100 de cloruro de metileno mezclados. Se evaporaron las fracciones, utilizando rotavapor hasta un volumen de 1 ml. La muestra se trasvasó a un tubo graduado, junto con dos enjuagues de 2 ml de hexano, y se concentró mediante flujo de nitrógeno hasta 2 ml. Se trasvasaron cuantitativamente a viales de 2 ml.

La fracción 1 de hidrocarburos alifáticos saturados, se analizó por cromatografía de gases utilizando detector de ionización de flama. La fracción 2 de hidrocarburos aromáticos y plaguicidas policlorobifenilos agregados antes de inyectarse estándares de TCMX (100 μ l a cada muestra) y O-terfenil (5 μ l a cada muestra), se analizó por cromatografía de gases utilizando detector de ionización de flama y de captura de electrones para cada grupo.

Las biopilas fueron monitoreadas según Benavides *et al.* (2006) y Roldan e Iturbe (2005), mediante cinco parámetros: aireación, temperatura, contenido de humedad, relación carbono/nitrógeno (C/N) y pH. El recuento de células viables se realizó para conocer la actividad microbiana y asegurarse que las condiciones fueron las adecuadas.

Recuento de células viables

El recuento de células viables se llevó a cabo, el día 15 del tratamiento (Vásquez *et al.*, 2010), se preparó de acuerdo a Ruíz *et al.* (2013) a un medio mineral se agregaron compuestos con cantidades en agua destilada: 0.15 g/L de fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4); 1.156 g/L de cloruro de amonio (NH_4Cl); 0.02 g/L de sulfato de magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); 0.04 g/L de cloruro de calcio (CaCl_2); 0.07 g/L de cloruro de sodio (NaCl); 1 ml/L de solución con metales traza; 2 g/L de peptona y 2 g/L de dextrosa. Los compuestos fueron agregados en 1 L de agua destilada, esta mezcla se repartió en ocho matraces de 125 ml cada uno, mismos que fueron esterilizados en la autoclave. Cada mezcla fue etiquetada por duplicado como C1, C2, C3 y C4, de acuerdo a las etiquetas de cada tratamiento, y se le agregó

a las primeras cuatro bajo condiciones estériles, aproximadamente 2 g de suelo extraídos previamente de los tratamientos al medio correspondiente.

El medio mineral inoculado se dejó reposando 24 h, con el fin de que las bacterias se desarrollaran. Pasadas las 24 h las bacterias que crecieron en el medio se pasaron mediante el uso de un asa bacteriológica a los cuatro matraces restantes, dejando reposar para su crecimiento 24 h más. Pasado el tiempo se realizó la cuenta bacteriana colocando 1 μ l de medio inoculado en un portaobjetos mediante el uso de una micropipeta. El portaobjetos se colocó en un contador de células automático marca BIO-RAD (TC20).

La temperatura fue monitoreada cada dos días durante los tres meses de tratamiento (García *et al.*, 2012). El horario de toma de temperatura no fue definido, se procuró que se realizara en las tardes. La humedad fue monitoreada con método del puño cada dos días y en laboratorio cada quince días para mantener nivel de humedad de 60 a 70% (Vásquez *et al.*, 2010). Se realizaron análisis de pH en el laboratorio cada quince días. Cada dos días se aireó manualmente cada tratamiento para facilitar transferencia de oxígeno (García *et al.*, 2012).

Aislamiento de bacterias del suelo al final del tratamiento

El aislamiento de las bacterias se realizó el día 80 del tratamiento para identificar los organismos existentes al finalizar el proceso. Para esto se agregó un gramo de suelo de cada tratamiento a 5 ml de agua destilada en tubos de ensaye etiquetados de acuerdo al tratamiento y previamente esterilizados. Posteriormente los tubos se agitaron en un vortex durante 10 s y se dejaron reposar durante 30 minutos. Se realizaron diluciones, tomando una alícuota de 5 ml de la mezcla original para verterla después en un tubo de ensaye con 4.5 ml de agua destilada, obteniendo así una dilución 1/10, este paso se repitió hasta lograr diluciones 1/10,000,000. Se tomaron las diluciones 1/1,000; 1/100,000; 1/10,000,000 para agregar 5 ml del sobrenadante de agua destilada de cada uno de los tubos y colocarlos en cajas Petri con medio de cultivo agar infusión cerebro corazón. Los medios inoculados se incubaron a 27°C durante 24 hrs. Las colonias de bacterias que se identificaron se colocaron en tubos de Eppendorf de 1.5 ml para su posterior análisis genético. Las muestras de los tratamientos fueron etiquetadas con un total de 10 muestras para su análisis C1 (C101), C2 (C201, C202, C203), C3 (C301, C302, C303) y C4 (C401, C402, C403).

Resultados

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (sucs), el suelo pertenece a suelos de partículas gruesas, ubicado dentro de las arenas lim-

pías, con amplia gama en tamaños intermedios, ubicándose en el grupo sw denominado arenas bien graduadas, arenas con grava con pocos finos, permeables en estado compactado, excelente resistencia al corte y despreciable compresibilidad.

El pH del suelo es de 7.6 unidades, al encontrarse en el rango de 7.4 a 8.5, se considera un suelo con pH medianamente alcalino. La humedad que presenta el suelo semisaturado es de 30.67%. Por cada 3.5321 g sería necesario agregar 1.5629 g de agua para lograr su saturación. El 75% de la capacidad de campo necesario para lograr una buena biorremediación equivaldría a agregar por cada 3.5321 g de suelo, 1.1721 g de agua.

La materia orgánica fue de 7.45%, según Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, se considera muy alta (mayor de 6.0). El nitrógeno total fue de 0.46%, según Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 se considera con muy alto contenido de nitrógeno (mayor de 0.26). Se obtuvo un fósforo disponible de 19.5 mg/kg, según Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 el contenido es alto (mayor de 11.1 mg/kg).

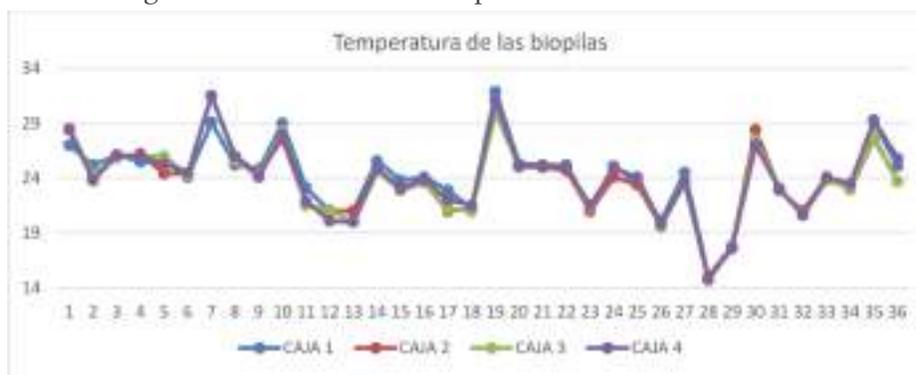
Durante el monitoreo de biopilas los porcentajes de humedad se registraron cada quince días. El porcentaje de humedad con respecto a la capacidad de campo se expresa en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentajes de humedad durante en el proceso de biorremediación.

Muestras Tratamientos	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
C1	63.06	51.45	73.39	80.99	89.63	74.50	88.52
C2	56.18	50.93	83.76	86.01	80.93	75.38	94.59
C3	64.43	42.06	87.35	84.02	88.52	75.51	86.86
C4	60.45	51.71	76.72	79.49	73.85	70.59	81.48

Las humedades oscilaron entre los 50 y 90%, siendo solo en el segundo muestreo donde la humedad fue baja con un promedio de 49.04%, mientras que la mayor registrada se presentó en la caja 2 con un 94.59%. En promedio el porcentaje de humedad con respecto a la capacidad de campo es de 74.01% (Figura 1).

Figura 1. Monitoreo de temperatura en el tratamiento



El registro del pH se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de pH obtenidos en cada muestreo, durante la biorremediación.

Fechas de muestreos		Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 4
M1	14/10/13	6.98	6.65	7.4	7.37
M2	20/11/13	7.01	7.08	7.08	7.2
M3	05/12/13	7.8	7.93	7.89	7.95
M4	18/12/13	7.84	7.71	7.9	7.88
M5	08/01/14	7.72	7.85	7.65	7.66
M6	17/01/14	7.39	7.42	7.58	7.61
M7	31/01/14	7.03	7.35	7.56	7.63

El contador de bacterias arrojó que la cantidad de células para biopila testigo (C1) fue de 5.98×10^5 células/ml, para tratamiento 1 (C2) de 5.93×10^5 células/ml, para tratamiento 2 (C3) 2.29×10^5 células/ml y para tratamiento 3 (C4) 4.93×10^5 células/ml. En la Tabla 3 se muestran las concentraciones iniciales y finales de las fracciones de hidrocarburos.

Tabla 3. Concentraciones iniciales y finales de hidrocarburos en el proceso de biorremediación.

Tratamientos	Fracción aromática		Fracción alifática	
	Inicial ppm	Final ppm	Inicial ppm	Final ppm
C1	15387.2	35476.3	22221.8	1417.98
C2	9985.5	519.3	15471.9	1481
C3	21049.1	12885.2	17922.2	1997.85
C4	48092.3	8642	19135.2	2469

De igual forma podemos observar el porcentaje final de remoción de hidrocarburos que se obtuvo durante el tratamiento en las fracciones alifáticas y aromáticas (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentajes de remoción en las fracciones de hidrocarburos en el proceso de biorremediación.

Tratamientos	Fracción aromática	Fracción alifática
	% Remoción	% Remoción
C1	0	93.62
C2	94.8	90.43
C3	38.79	88.86
C4	82.04	87.1

Se logró la extracción y amplificación de ADN genómico de 13 muestras en total. Tres corresponden a las bacterias inoculadas al inicio del tratamiento y 10 restantes a las bacterias aisladas al finalizar. Se logró la purificación y secuenciación de ADN genómico de 13 secuencias con un total de 400 pares de bases cada una.

Se obtuvieron dos árboles filogenético generados mediante algoritmo del vecino más cercano y UPGMA respectivamente con programa MEGA. Dentro del algoritmo UPGMA se muestran cuatro clados denominados grupo I, II, III y IV (Figuras 2 y 3). El primer grupo está compuesto por C302 no identificada, C403 *Burkholderia* y C401 *Mycobacterium*. El segundo está constituido por los individuos inoculados inicialmente, que corresponden a OTEC 01, 02 y 03 denominados *Acinetobacter Sp*, *Sphingobacterium Sp* y *Stenotrophomonas Sp*. El tercer grupo está conformado por C203 *Pseudomonas*, C201, C301, C101 y C202 no identificadas y por último el cuarto grupo se compone por C303 *Streptomyces* y C402 *Bacteroides*. El árbol generado mediante el algoritmo vecino más cercano, está conformado por tres clados denominados grupo I, II y III. El primer grupo está compuesto por C101, C202, C301, C201, C203, C303 y C404. El segundo grupo está compuesto por C302, C403 y C401 y el grupo III por OTEC 01, 02 y 03 como podemos observar en la Figura 2.

Figura 2. Cladograma del algoritmo UPGMA programa MEGA a través de p-distance. El número en los nodos corresponde a los valores de soporte bootstrap con 100 repeticiones.

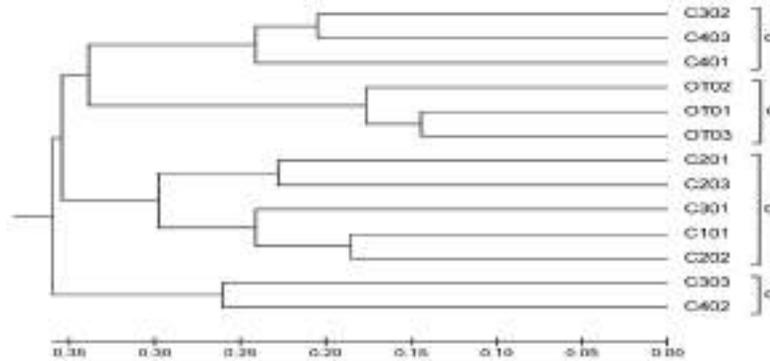
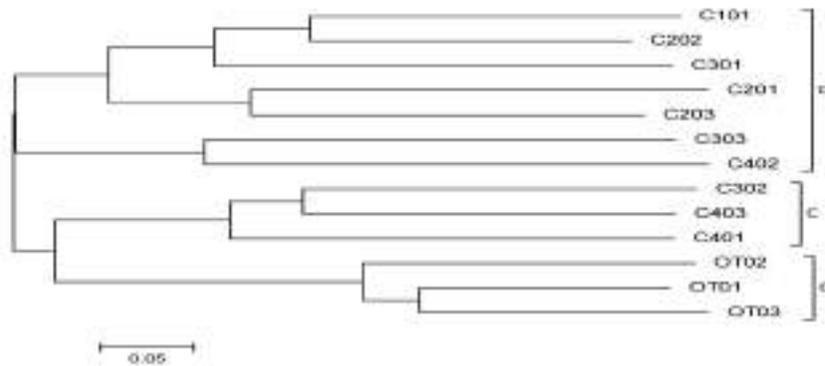


Figura 3. Cladograma del algoritmo del vecino más cercano programa MEGA a través de p-distance. El número de nodos corresponde a soporte bootstrap con 100 repeticiones.



Discusión de resultados

El suelo proveniente de la UMA La Huella, tiene un alto contenido de arena, grupo sw de sucs, suelo poroso, presenta limos y arcillas, supone la presencia de nutrientes, los cuales dieron como resultado: 7.45% de carbono, 0.46% de nitrógeno y 19.5 mg/kg de fósforo, con muy alto contenido los primeros dos y alto el fósforo. No fue posible conocer la biodisponibilidad de los nutrientes en el suelo, sin embargo, los resultados de la degradación del hidrocarburo suponen que los microorganismos existentes durante el tratamiento

lograron desarrollarse en el ambiente, proceso para el que es necesaria la presencia de nutrientes biodisponibles. Acuña *et al.* (2012) mencionan que la baja concentración de nutrientes biodisponibles (nitrato, nitrito, amonio y fosfato) es desfavorable para el proceso de biorremediación que podría ser solucionado con bioestimulación.

La arena prevaleció en este suelo, lo que permitió que el oxígeno penetrara en los poros consiguiendo así una adecuada oxigenación, las partículas finas presentes favorecerían la retención del agua incorporada en el suelo, condiciones necesarias para un correcto desarrollo microbiano (Acuña *et al.*, 2012). Al respecto García *et al.* (2012), resaltan que la disponibilidad y el contacto microorganismo hidrocarburo es clave para la biorremediación, los suelos del grupo sw pueden ser una opción viable para la aplicación de esta técnica. Aunado, a las características anteriores, un pH neutro es indispensable para un correcto desarrollo de la macro y microfauna en un tratamiento con biopilas (Acuña *et al.*, 2012).

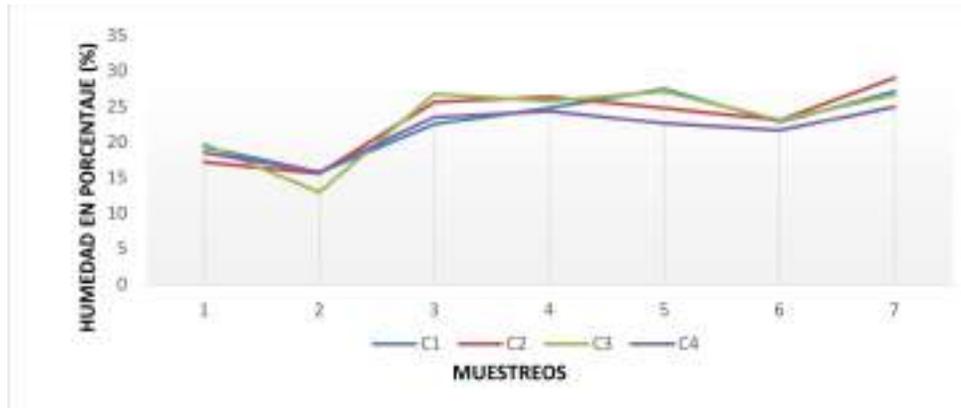
En el momento en que ocurre un derrame de hidrocarburos en suelos, como en el experimento, da como resultado una serie de procesos que impactan negativamente, las bacterias que se encuentran al ser modificado el ambiente al que estaban aclimatadas, crecen lentamente o mueren (Manacorda y Cuadros, 2005) y algunas logran adaptarse. Daubaras y Chakrabarty (1992) mencionan que si los contaminantes son sintéticos y nuevos en el medio ambiente, los microorganismos no tienen la capacidad de degradar los contaminantes ya que los genes biodegradativos adecuados no pueden haber evolucionado e incluso si los genes están presentes, la expresión funcional de los genes es esencial para producir las enzimas de degradación apropiadas. La cantidad de oxígeno disminuye debido a que los espacios del suelo se llenan con hidrocarburo (Restrepo, 2002) y los nutrientes fósforo y nitrógeno que los microorganismos usan para desarrollo generalmente se limitan en el medio por el exceso de carbono generado en el derrame de hidrocarburos (Tyagi *et al.*, 2011).

Las bacterias usadas en los tratamientos, *Acinetobacter Sp*, *Sphingobacterium Sp* y *Stenotrophomona Sp*, al haber sido extraídas de un suelo contaminado de manera crónica por hidrocarburos, de un lugar donde se usan sustancias como el aceite lubricante, son consideradas bacterias aptas para la degradación del contaminante usado, puesto que al haber estado presentes en el sitio afectado durante un largo período lograron adaptarse a este y desarrollar el sistema que les permite degradar contaminantes orgánicos derivados de las actividades humanas (Ruíz *et al.*, 2013). Al respecto Manacorda y Cuadros (2005) resaltan la importancia de microorganismos indígenas, ya que son los principales descomponedores del ecosistema puesto que esta actividad existía naturalmente en el ambiente

con anterioridad a la disposición del xenobiótico en él (Benavides *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2011).

Posterior al derrame, se dieron las condiciones aeróbicas adecuadas al suelo para que las bacterias realizaran sus funciones y se reprodujeran a una mayor velocidad y degradaran el contaminante. Los factores que se controlaron durante el tratamiento fueron: humedad, temperatura, pH y oxígeno, mismos que se monitorearon a lo largo del proceso. La Figura 4 indica las humedades registradas cada quince días durante el tratamiento.

Figura 4. Porcentajes de humedad registrada durante el tratamiento.



De acuerdo a los resultados expresados podemos observar que las biopilas tuvieron la misma humedad, aunque no fue constante durante el tratamiento. En la Tabla 5 se presenta el porcentaje de humedad expresado en relación con la capacidad de campo. Podemos observar que en ocasiones se elevó llegando a 94.59%, correspondiente al muestreo 7 del tratamiento 1 (C2). Según Roldán e Iturbe (2005), humedades excesivas son indeseables para la biorremediación con biopilas, puesto que los espacios en el suelo son ocupados por agua provocando una deficiencia en aireación. El exceso de agua incrementa la generación de lixiviados, tanto de hidrocarburos como de nutrientes. Debido al tamaño y cantidad de suelo manejado la lixiviación fue casi imperceptible en las biopilas.

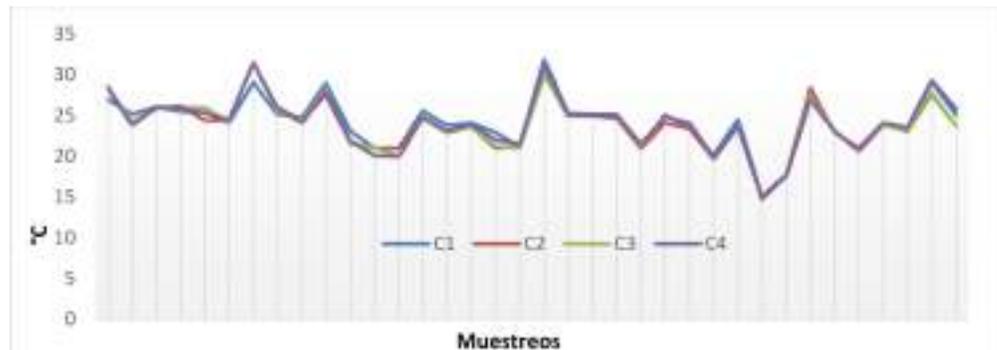
Los rangos óptimos de humedad de 40 a 85% (Volke y Velasco, 2012), de 70 a 95% de la capacidad de campo (Roldán e Iturbe, 2005); humedades altas pueden ser usadas en el proceso sin generar problemas en la degradación del hidrocarburo. En momentos la humedad fue menor que la establecida en el diseño experimental (60 al 70%), durante segundo muestreo con 51.45%, la biopila testigo (C1); 50.93%, el tratamiento 1 (C2); 42.06%, el tratamiento 2 (C3) y 51.71%, el tratamiento 3 (C4) y el tratamiento 1 (C2)

del primer muestreo con 56.18%. La humedad es necesaria para el transporte de nutrientes, los procesos metabólicos y mantener la estructura de la célula (Roldán e Iturbe, 2005). García et al. (2012) ajustaron el valor de la humedad entre 40 y 60% de la capacidad de campo, lo que indica que aun con las humedades bajas registradas se lograron condiciones que aceleraran el proceso de degradación. La Figura 5 representa el comportamiento de la temperatura en el suelo registrada cada dos días durante el tratamiento.

Tabla 5. Porcentaje de humedad registrada en relación con la capacidad de campo.

Muestras tratamientos	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)
C1	63.06	51.45	73.39	80.99	89.63	74.50	88.52
C2	56.18	50.93	83.76	86.01	80.93	75.38	94.59
C3	64.43	42.06	87.35	84.02	88.52	75.51	86.86
C4	60.45	51.71	76.72	79.49	73.85	70.59	81.48

Figura 5. Temperaturas registradas durante el tratamiento.

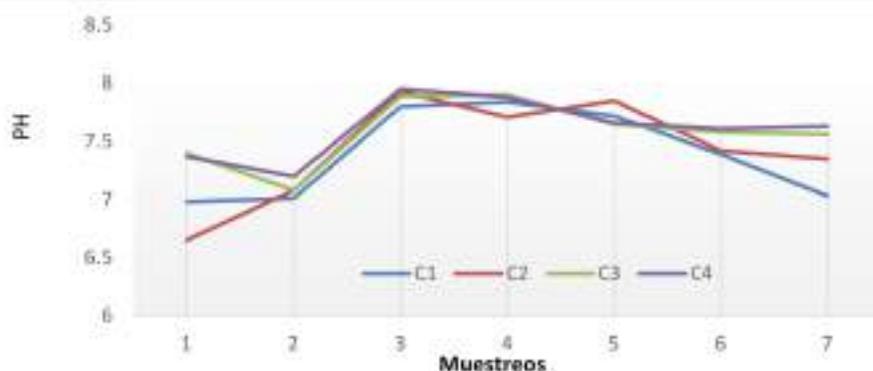


Las temperaturas variaron a lo largo del tratamiento con picos superiores a 30°C y menores a 20°C. Las biopilas presentaron temperaturas similares durante el procedimiento, lo cual indica que el experimento fue controlado adecuadamente. Volke y Velasco (2012) mencionan la temperatura ideal entre 25 y 35°C. Acuña *et al.* (2012) resaltan la importancia de temperatura para el desarrollo de microorganismos.

La Figura 6 presenta el pH registrado cada quince días a lo largo del procedimiento. El pH según Roldán e Iturbe (2005) y Volke y Velasco (2012) debe estar en un rango de 6 a 9 y de 6 a 8, respectivamente, con pH óptimo

de 7. Los resultados se mantuvieron en rango neutro durante el tratamiento, lo cual favoreció la biorremediación (Acuña *et al.*, 2012).

Figura 6. pH registrado en el proceso de biorremediación.



Roldán e Iturbe (2005) proponen niveles de hidrocarburos menores a 50,000 ppm. Vásquez *et al.* (2010) removieron el 70 al 90% en diferentes tiempos con concentraciones entre 10,000 y 50,000 ppm. Las concentraciones usadas en este estudio (10,000, 30,000 y 50,000 ppm) y los niveles de remoción alcanzados 63.82% a 92.61% son similares a lo reportado en la literatura. En la Tabla 6 se observan las especies bacterianas aisladas del suelo al finalizar el tratamiento.

Tabla 6. Especies aisladas del suelo contaminado al término del tratamiento.

Biopila	Muestra	Bacteria o especie	Porcentaje Identificación	Plataforma	Observaciones
C1	C101	No identificado	-----	Todas	No se encontró ninguna especie de bacteria en la base de datos del genbank
C2	C201	No identificado	-----	Todas	No se encontró ninguna especie de bacteria en la base de datos del genbank
	C202	No identificado	-----	Todas	No se encontró ninguna especie de bacteria en la base de datos del genbank
	C203	<i>Pseudomonas</i>	33%	blast-blastx ¹	Productoras de biosurfactantes involucrados en la remoción de aceite

C3	C301	No identificado	-----	Todas	No se encontró ninguna especie de bacteria en la base de datos del genbank
	C302	No identificado	-----	Todas	No se encontró ninguna especie de bacteria en la base de datos del genbank
	C303	<i>Streptomyces</i>	41%	blast-blastx ¹	Se encuentran en suelos y en la vegetación descompuesta y produce numerosos antibióticos de uso clínico
C4	C401	<i>Mycobacterium</i>	84%	blast-blastx ¹	Degradan hidrocarburos aromáticos policíclicos en especial pyreno, benzo (a) pyreno es altamente cancerígeno
	C402	<i>Bacteroides</i>	37%	blast-blastx ¹	Son candidatos para el tratamiento de terrenos contaminados con htp
	C403	<i>Burkholderia</i>	75%	blast-tblastx ²	Es excelente degradadora de hidrocarburos aromáticos

- 1) Búsqueda de proteínas utilizando una base de nucleótidos.
- 2) Búsqueda de base de datos de nucleótidos utilizando una consulta de nucleótidos traducida.

Se puede observar que las bacterias inoculadas inicialmente no se lograron aislar de las muestras obtenidas, respecto a esto Tyagi *et al.* (2011) mencionan que los microorganismos autóctonos tienen más probabilidades de sobrevivir y desarrollarse cuando se reintroducen en el sitio en comparación con las cepas transitorias o ajenas a este hábitat. Al finalizar el tratamiento se obtuvieron cepas bacterianas degradadoras de hidrocarburos, que lograron sobrevivir al entorno recién contaminado. Las cepas liberadas pudieron haber transferido plásmidos catabólicos a los microorganismos autóctonos, de la misma forma el ambiente en el que se encuentran modula el reclutamiento y la evolución de los genes de la vía de degradación en las bacterias (Cisneros, 2011; Daubaras y Chakrabarty, 1992), lo que explica su sobrevivencia y aparición al finalizar el tratamiento. Los porcentajes de remoción promedio del contaminante a 90 días por biopila se expresan en la Tabla 7.

Tabla 7. Porcentaje de remoción final de hidrocarburos totales por tratamiento.

Tratamiento	Porcentajes de remoción (%)
C1	46.81
C2	92.61
C3	63.82
C4	84.56

La biopila que logró la mayor cantidad de remoción fue la que tuvo la menor concentración de hidrocarburo al inicio del tratamiento (10,000 ppm), condición que influyó para que las bacterias lograran degradar el contaminante. En esta biopila se identificó el género *Pseudomonas*, bacterias reconocidas por su capacidad de biorremediación, siendo capaz de degradar hidrocarburos aromáticos: benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, naftaleno y fenantreno; además produce biosurfactantes extracelulares. El tratamiento con la concentración media (30,000 ppm), logró una remoción menor; la presencia de la especie bacteriana identificada como no degradadora de hidrocarburos, supone una competencia con las bacterias inoculadas y pueden causar incremento en el periodo de aclimatación previo a la degradación de los compuestos (Steffensen y Alexander, 1995; citado por Cineros, 2011).

El tratamiento con mayor concentración del contaminante (50,000 ppm), logró remociones por encima del tratamiento con concentración media. En la Tabla 8, se observa que aparte de las cepas biorremediadoras inoculadas, existió presencia de otros microorganismos biorremediadores como es el caso de *Mycobacterium*, la cual es capaz de degradar hidrocarburos aromáticos policíclicos en especial pyreno, benzo (a) pyreno el cual es altamente cancerígeno, *Bacteroides* género candidato en el tratamiento de terrenos contaminados con HTP y *Burkholderia*, excelente degradadora de hidrocarburos aromáticos (Benavides et al., 2006; Tyagi et al., 2011), esa biopila presentó más especies bacterianas biorremediadoras, lo que explica el alto porcentaje de remoción.

La biopila testigo tuvo la menor remoción, lo que prueba la importancia de agregar bacterias que estén adecuadas a un medio contaminado y hayan desarrollado la capacidad de degradar dicho contaminante. Daubaras y Chakrabarty (1992), mencionan que para degradar un compuesto sintético y nuevo en el ambiente, un microorganismo debe evolucionar los genes que codifican enzimas que tienen afinidad por el compuesto químico, razón por la que se reduce o detiene la tasa de crecimiento bacteriano; lo que explica la ausencia de microorganismos al finalizar el tratamiento.

En las Figuras 7 y 8 se observa la reducción de hidrocarburos en las fracciones analizadas. En el caso de la biopila testigo, la reducción solo se observó para la fracción alifática (Ifeanyichukwu, 2011), es normal encontrar niveles de degradación similares tanto en los tratamientos como en la biopila testigo. Los HAP's, que constituyen la fracción más recalcitrante y peligrosa del aceite de motor, son más difíciles de degradar (Cerniglia, 1992) lo que explica un menor porcentaje de remoción.

Figura 7. Concentración de hidrocarburos alifático durante el proceso de biorremediación.

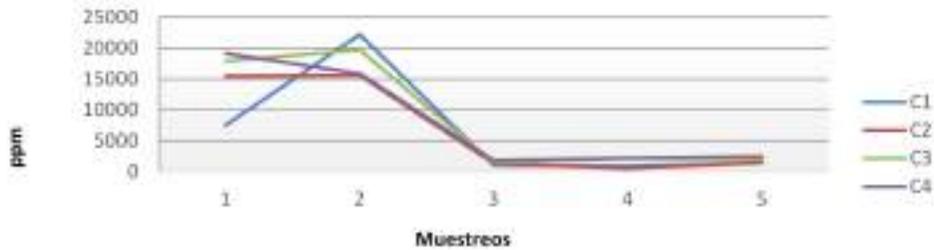


Figura 8. Concentración de hidrocarburos fracción aromática durante el tratamiento.



Se registraron porcentajes de remoción para la fracción alifática (Tabla 8), con estabilización del contaminante en el ambiente en el día 60. Los hidrocarburos fracción aromática tuvieron un comportamiento diferente a la fracción alifática (Tabla 8). Se observó un aumento del 30.56% para la C1, lo que indica que el proceso de degradación en la biopila testigo fue lento. Durante el tratamiento se observaron en C3 y C4 picos elevados alrededor del día 30, que representan un aumento en la concentración de los hidrocarburos en esta fracción que también presentó la biopila testigo el día 60 y al finalizar el tratamiento. Esto se deba al desdoblamiento de las moléculas provocado por la actividad de las bacterias degradadoras, tal como explica Cerniglia (1992), las bacterias usan enzimas para romper las cadenas de hidrocarburos y de esta manera ser metabolizadas. Por otro lado un mismo microorganismo, puede presentar diferentes porcentajes de degradación ante crudos de diferente procedencia o composición química en iguales condiciones experimentales (Ortiz *et al.*, 2005).

Tabla 8. Porcentajes de remoción de hidrocarburos durante el tratamiento.

Tratamiento	Día 1		Día 15		Día 30		Día 60		Día 90	
	Aromáticos	Alifáticos								
C1	0.00	0.00	0.00	0.00	-73.93	-95.50	216.96	-95.79	130.56	-93.62
C2	0.00	0.00	10.85	0.74	-99.98	-91.43	-21.33	-97.14	-94.80	-90.43
C3	0.00	0.00	-30.08	9.97	270.64	-92.03	37.27	-88.16	-38.79	-88.85
C4	0.00	0.00	237.49	-17.04	56.26	-90.66	-77.89	-88.63	-82.03	-87.10

CONCLUSIONES

De acuerdo con los parámetros físico-químicos analizados el suelo resultó ser apto para tratamiento con biopilas. En C1 para la fracción alifática se logró una remoción de 93.7%, para C2 de 90.4%, C3 de 88.8% y C4 de 87.1%. Respecto a los hidrocarburos fracción aromática se lograron remociones de 0 para C1, 94.8 para C2, 38.8 para C3 y de 82.0 para C4 en 90 días de tratamiento, con aplicación de bacterias biorremediadoras y la identificación de cepas bacterianas nativas que lograron resistir el cambio en su ambiente.

Se comprobó que se puede utilizar la biorremediación para el tratamiento de residuos característicos aceitosos de los hidrocarburos pesados ya que redujeron las concentraciones de hidrocarburos, en sus fracciones alifáticas y aromáticas. La degradación de la fracción aromática fue notoria en los tratamientos a los que se les inoculó las bacterias.

Es recomendable usar microorganismos nativos y bacterias externas para permitir la adaptación de bacterias nativas y lograr reducir los niveles de hidrocarburos. En conjunto las bacterias nativas y externas fueron capaces de utilizar el aceite usado de motor como fuente de carbono y energía.

Con los resultados de esta investigación, se sustenta que la presencia de bacterias externas y nativas, la adición de agua y la oxigenación, tiene efectos positivos en la reducción de concentraciones de hidrocarburos totales para suelos contaminados por aceites usados. Como parte de una caracterización inicial del contaminante, es importante determinar la concentración de metales, puesto que una cantidad por encima de las 2,500 ppm podría ser perjudicial para el proceso de biorremediación (Roldán e Iturbe, 2005).

REFERENCIAS

- Benavides, J., Quintero, G., Guevara, A. L., Jaimes, D. C., Gutiérrez, S. M., Miranda, J.** 2006. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *Nova*, 4 (5), 82-90.
- Cisneros Pérez, Crhistian.** 2011. Identificación y caracterización de cepas degradadoras de fenol. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Daubaras, D. y Chakrabarty, A.M.** 1992. The environment, microbes and bioremediation: microbial activities modulated by the environment. *Biodegradation*, 3, 125-135.
- Espinoza M.E. y García D.M.** 2003. Manual de laboratorio de genética. ECOSUR, San Cristóbal de las Casas, Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur.
- García, M. G., Infante, C., López, L.** 2012. Biodegradación de un crudo mediano en suelos de diferente textura con y sin agente estructurante. *Bioagro* 24 (2), 93-102.
- Ifeanyiichukwu A. H.** 2011. The Potential of *Chromolaena Odorata*(L) to Decontaminate Used Engine Oil Impacted Soil Under Greenhouse Conditions. *International Journal of Phytoremediation*, 13, 627-641.
- Manacorda, A. M., Cuadros, D.** 2005. Técnicas de Remediación Biológicas. Escuela Superior de Salud; Microbiología Ambiental.
- Maroto, M. E. y Rogel, J. M.** 2013. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. GEOCISA. Div. Protección Ambiental de Suelos, 297-305. Consultada en agosto, <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdflib15/028.pdf>.
- Martínez Prado, A., Pérez López, M. E., Pinto Espinoza, J., Gurrola Nevárez, B. A. y Osorio Rodríguez, A.L.** 2011. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3) 241-252.
- NOM-052-SEMARNAT-2005.** Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. México: Diario Oficial de la Federación.
- Ortiz, E., Núñez, R., Fonseca, E., Oramas, J., Almazán, V., Cabranes, Y., Miranda, A., Barbán, O., Martínez, C., Díaz, Y. y Borges, G.** (2005). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. *Revista Contribución a la Educación y la Protección del Medio Ambiente*. 6, 51-60.
- Pérez Silva, R. M., Camacho Pozo M. I., Gómez Montes de Oca J. M., Ábalos Rodríguez A., Viñas M. y Cantero Moreno D.** 2007. Aislamiento y

- selección de una cepa bacteriana degradadora de hidrocarburos a partir de suelos contaminados con petróleo. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 39(1), 44- 51.
- Randy Schroeder, H., Domínguez Rodríguez V. I, García Hernández L.** 1999. Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe*. 17 (002), 159-174.
- Restrepo, R.** 2002. Derrame de hidrocarburos. Impacto en los ecosistemas tropicales. *ECOPETROL Instituto Colombiano de Petróleo, Colombia*.
- Roldán M. A. e Iturbe Arguelles R.** 2005. Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas. *Instituto de Ingeniería, UNAM. Cd. Universitaria*.
- Ruíz Marín A., Zavala Loria J. C., Canedo López Y. y Cordova Quiroz A. V.** 2013. Aislamiento de bacterias tropicales en suelo de mangle contaminado por hidrocarburos: biorremediación por atenuación natural y bioaumentación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 12 (03), 1-8.
- SEMARNAT.** 2013. Acciones y Medidas de Descontaminación. Consultada en agosto, <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/GTZ/B-Acciones%20y%20medidas%20de%20descontaminacion.pdf>.T
- Torres Delgado, K. Zuluaga Montoya, T.** 2009. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. Trabajo de grado. *Universidad Nacional de Colombia. Colombia*.
- Tyagi, Meenu, da Fonseca, Manuela R., de Carvalho, Carla.** 2011. Bioaugmentation and biostimulation strategies to improve the effectiveness of bioremediation processes. *Springer*. (2011). 22:231–241.
- Vásquez M. C., Guerrero Figueroa, J. T., del Pilar Quintero, A.** 2010. Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Revista Colombiana Biotecnológica*. 12 (1), 141- 157.
- Valadez, M. H. y Kahl G.** 2000. Huellas del ADN en el genoma de las plantas. *Editorial Mundi Prensa. México D.F.* 19 pp.
- Volke Sepúlveda, T. L. y Velazco, J. A.** 2002. El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Gaceta Ecológica*, 66, 41- 53.

EVALUACIÓN DE UN BIORREACTOR DE MANTO DE LODO ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE PARA EL TRATAMIENTO DE VINAZAS

Abumalé, Cruz-Salomón¹, Rocío, Meza-Gordillo²,
Arnulfo, Rosales-Quintero³, Cristina, Ventura-Canseco⁴,
Edna Iris, Ríos-Valdovinos⁵

¹ dr.abumale@gmail.com, ² romego71@yahoo.com.mx,

³ arnol122@gmail.com, ⁴ lcanseco66@hotmail.com,

⁵ edna.riosv@gmail.com

^{1,5} Facultad de Ingeniería. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas,

^{2,3,4} Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.



Para citar este artículo:

Cruz, A., Meza, R., Ríos, E., Rosales, A. y Ventura, C. (2016) Evaluación de un biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de vinazas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 78-89. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a05

RESUMEN

En esta investigación se presenta la evaluación de un biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente (UASB) de 4.4 L durante un periodo de 90 días, el cual fue alimentado con vinazas de una empresa de bebidas fermentadas provenientes de Comitán, Chiapas. Se investigó principalmente la eficiencia de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) y la estabilidad del reactor con respecto al factor alfa (α) y potencial de hidrógeno (pH). La eficiencia de remoción de la DQO fue de 90 %. Durante el estudio, se mantuvo un sistema estable con $\alpha = 0.28$ y pH=7.1.

Palabras clave

Aguas residuales, vinazas, UASB, DQO.

EVALUATION OF AN UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET
BIOREACTOR FOR THE TREATMENT OF VINASSE

— *Abstract*—

In this research the evaluation of a type bioreactor "upflow anaerobic sludge blanket reactor" (UASB) of 4.4 L occurs during a period of 90 days, which was fed with wastewater (vinasse) of a fermented beverage company from Comitán, Chiapas. The removal efficiency of chemical oxygen demand (COD), stability with respect to reactor factor alpha (α) and hydrogen potential (pH) were mainly investigated. The removal efficiency of COD was 90 %. During the study, the α factor (0.28) and pH (7.1) remained stable in the system.

Keywords

Wastewater, Vinasse, UASB, COD.

La tecnología para el tratamiento anaerobio de aguas residuales ha sido aplicada en el tratamiento de aguas residuales provenientes de diferentes industrias tales como: destilerías, tenerías, textil, de la pulpa y el papel y procesadoras de alimentos (Buzzini *et al.*, 2002; Kasum *et al.*, 2002; Ramasamy *et al.*, 2004; Chavez *et al.*, 2005). Para tal propósito, se han desarrollado diversas configuraciones de reactores tales como el reactor anaerobio por contacto (Nahale, 1991), reactor de lecho fluidizado (Iza, 1991), reactor anaerobio de película fija (AFFR) (Rao *et al.*, 2005) y el reactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente, conocido comúnmente como UASB, desarrollado entre los años 1976-1980 por el Profesor Gae Lettinga de la Universidad de Wageningen en Holanda (Iñiguez-Covarrubias y Camacho-López, 2011). El primer reactor UASB se aplicó para el tratamiento de agua residual de refinería de azúcar de remolacha en Holanda (Lettinga, 1980). Después de que el primer reactor UASB a escala piloto fuera operado con éxito, se utilizaron muchos reactores de este tipo a escala real para tratar diferentes tipos de aguas residuales industriales. Actualmente este reactor se aplica de forma extensiva debido a su efectividad en aguas residuales con una alta carga orgánica y a sus ventajas económicas (Lettinga *et al.*, 1997; Buzzini *et al.*, 2002; Kusum *et al.*, 2002; Mahmoud *et al.*, 2003; Chavez *et al.*, 2005).

El estado de Chiapas, en particular en la región de la meseta comiteca, se encuentran cultivos de *Agave americana* L. y *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck los cuales son utilizados para obtener una bebida alcohólica (bebida espirituosa) típica de la región llamada Comiteco (Reynoso-Santos *et al.*, 2012). Actualmente el proceso de elaboración se lleva a cabo de manera artesanal en donde se obtienen 0.85 L de residuo/L mosto proveniente del proceso de destilación, que son arrojados a los cuerpos de agua superficiales o utilizados como agua de riego generando eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, lixiviación de nitratos a las aguas subterráneas y reducción de los niveles del oxígeno disuelto (Vlyssides *et al.*, 1997). En suelo, puede ser una amenaza para la fertilidad debido al desequilibrio de los nutrientes o incluso a concentraciones nocivas de los mismos (Kannabiran y Pragasam, 1993). Por tal razón el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar un biorreactor UASB para tratar las vinazas provenientes de la destilación alcohólica del Comiteco.

METODOLOGÍA

Obtención de la materia prima

Las vinazas utilizadas fueron proporcionadas por la Empresa Balún Canán, S.A. de C.V. establecida en el municipio de Comitán de Domínguez, Chiapas, producto de un lote de destilación, las cuales fueron almacenadas a 4°C hasta su utilización.

Análisis fisicoquímicos

Los sólidos sedimentables (ss, mL/L) se determinaron según a la norma mexicana NMX-004 (2000), sólidos suspendidos totales (SST, mg/L), sólidos totales volátiles (STV, mg/L) y sólidos disueltos totales (SDT, mg/L) se llevaron a cabo siguiendo la norma mexicana NMX-034 (2001). El pH de las muestras se determinó con un potenciómetro marca HACH modelo SenSion 3 (influentes y efluentes), la acidez se determinó siguiendo la norma NMX-036 (2001). El análisis de la demanda química de oxígeno (DQO, mg O₂/L) se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-030 (2001) mediante la técnica de reflujó cerrado/espectrofotométrico (influentes y efluentes). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-028 (2001).

Descripción y preparación del biorreactor

En la Figura 1 se indican las condiciones de diseño del biorreactor, éste fue construido en fibra de vidrio con un volumen de 4.4 L, con forma cilíndrica en virtud de las ventajas hidrodinámicas y la menor posibilidad de formación de zonas muertas. El biorreactor operó a un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 24 h y se inoculó con 2 L de complejo microbiano anaerobio (obtenido de una planta de tratamiento de agua residual de una empresa embotelladora) previamente adaptado, con un contenido de 2.5 gST/mL.

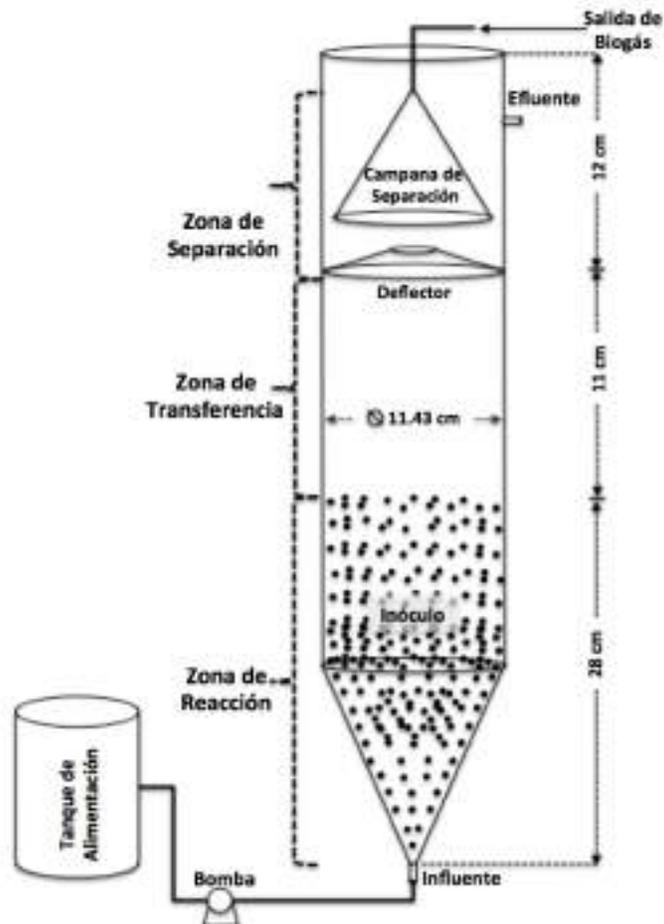
Seguimiento del Biorreactor

Durante el periodo de evaluación del biorreactor se monitoreó la DQO. Los parámetros de control fueron temperatura, pH y factor alfa (α) el cual se obtiene de acuerdo al siguiente procedimiento (Speece, 1996): se tomaron 10 mL de muestra y se acidificó con HCl 0.1N hasta alcanzar un pH de 5.75 registrando los mL de HCl requeridos (V₁) este volumen corresponde a la

alcalinidad bicarbonática. Posteriormente, esta muestra se llevó a pH 4.3 (V_2). El factor alfa se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

Figura 1. Biorreactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente
Fuente: Esta Investigación.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características fisicoquímicas de las vinazas (influentes) en términos del DQO, DBO₅, SST, SVT, SDT y SS así como temperatura y pH se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de las vinazas.

Parámetro	Valores obtenidos
pH	3.9 ± 0.013
Acidez (mg CaCO ₃ /L)	79.3 ± 4.9
dqo (mg O ₂ /L)	120,221 ± 18,447
dbo5 (mg O ₂ /L)	102,180 ± 15,320
ss (mL/L)	100 ± 14.1
st (mg/L)	71,691.42 ± 186.6
svt (mg/L)	62,890.47 ± 172.6
sst (mg/L)	9,190 ± 95.8
sdt (mg/L)	62,501.42 ± 93

Elaboración propia

Como se puede ver en la **Tabla 1**, las vinazas tienen un pH por debajo del rango permisible indicado por la NOM-001-ECOL-1996 (5-10 unidades), por tal razón las vinazas al ser vertidas a un cuerpo de agua superficial se considera como un agente contaminante; debido a su bajo pH estas pueden causar acidificación (Lükewille *et al.*, 1997). Por otro lado, la concentración de materia orgánica medida como DBO₅ y DQO presentes en las vinazas son 1000 veces mayor que el límite máximo permitido por la NOM-001-ECOL-1996 (30-200 mg O₂/L). Esta carga orgánica es debido a la presencia de sólidos disueltos y azúcares reductores, compuestos no volátiles procedentes del caldo de fermentación (alcohol), ácido acético, láctico, glicerol, melanoidinas y compuestos fenólicos y polifenólicos (Capasso *et al.*, 1992; Sangave *et al.*, 2007; Robles-González *et al.*, 2010). Por tal razón es de vital importancia dar un tratamiento a estos efluentes agroindustriales, que por su índice de biodegradabilidad (0.85, obtenido de la relación DBO₅/DQO) y materia orgánica, es factible un tratamiento biológico anaerobio como el que se lleva a cabo en los reactores UASB.

En la **Figura 2**, se observa el comportamiento del biorreactor con base en sus parámetros de control (pH y α) durante los 90 días de evaluación. Como se puede observar el pH en el biorreactor se mantuvo estable en el rango óptimo (6.8-7.4) para las Archaea metanogénicas reportado por Speece, (1996). Por otro lado el factor alfa (α) es usualmente empleado

para el control de la estabilidad del proceso anaerobio (Speece, 1996) y para medir la capacidad tampón del biorreactor. Como se puede ver, el biorreactor operó de manera adecuada debido a que su índice alfa se encontró dentro del rango óptimo de operación (0.2-0.4) reportado por Rojas, (2004).

Figura 2. Parámetros de Control del UASB

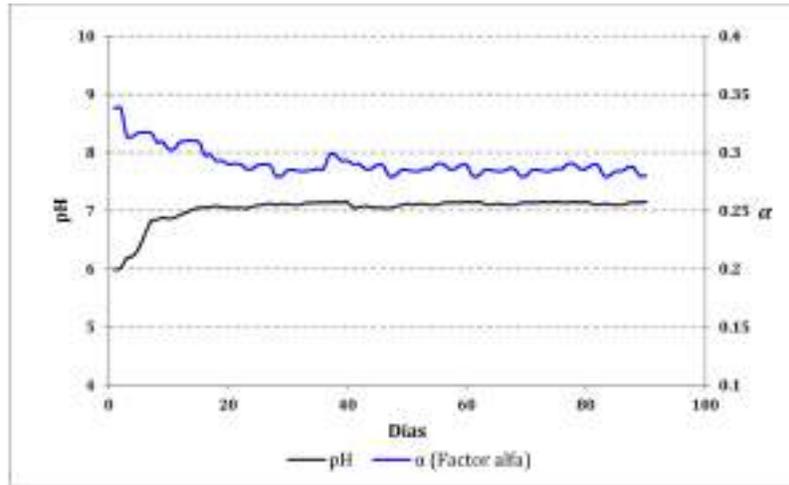
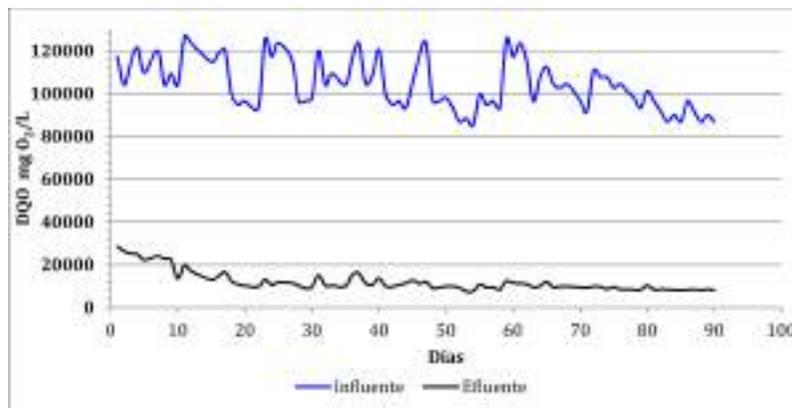


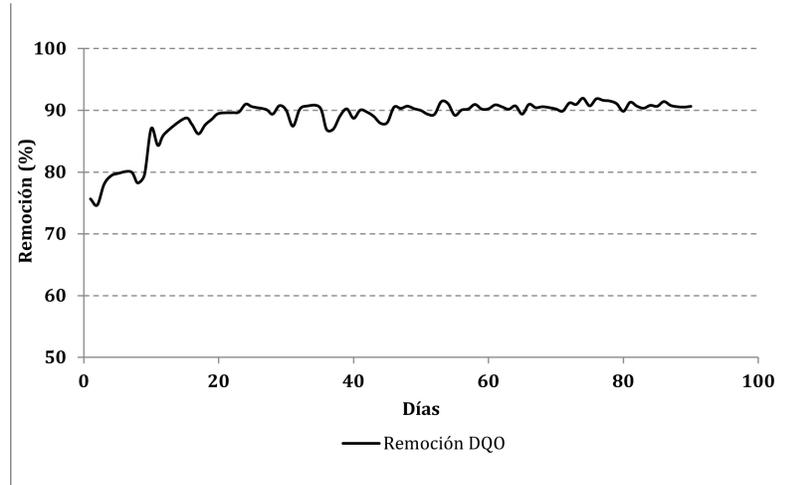
Figura 3. Evaluación del biorreactor UASB.



El análisis de la DQO en la **Figura 3** y **Figura 4** muestra el comportamiento del biorreactor UASB durante el periodo de evaluación de 90 días, en donde se puede observar que el biorreactor operó de manera estable durante todo el periodo de evaluación, alcanzando un porcentaje de remoción mayor al 90%. Sin embargo aun cuando el porcentaje de remoción fue alto, se generaron efluentes con una DQO de 6500 mgO₂/L, los cuales presentan

aun gran cantidad de materia orgánica biodegradable la cual puede ser utilizada como materia prima de procesos de oxidación avanzada, filtros percoladores, biodiscos o un segundo tratamiento anaerobio como lo reporta Robles-Gonzales *et al.* (2010).

Figura 4. Porcentaje de Remoción.



CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados de este estudio se concluye que un tratamiento biológico anaerobio como el proporcionado por el reactor de manto de lodo anaerobio de flujo ascendente es una tecnología eficaz para llevar a cabo el tratamiento de vinazas de la bebida fermentada producida en Comitán, Chiapas, esto por su alto desempeño medido en términos de porcentaje de remoción de DQO mayor a 90%, alcanzando un perfil similar a los tratamientos aerobios. Por tal razón se recomienda el uso de este tipo de biorreactores debido a su ahorro económico en los gastos de energía en la operación de aireación de los procesos aerobios.

REFERENCIAS

- Buzzini** A.P., Pires E.C. (2002). Cellulose Pulp Mill Effluent Treatment in an Up flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Process Biochem.* (38): 707-713.
- Capasso**, R.; Cristinzio, G.; Evidente, A. (1992). Isolation, spectroscopy and selective phytotoxic effects of polyphenols from vegetable wastewaters. *Phytochemistry.* (31): 4125-4128.
- Chavez** P.C., Castillo L.R., Dendooven L., Escamilla-Silva E.M. (2005). Poultry Slaughter Wastewater Treatment with an up Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor. *Bioresour. Technol.* (96):1730-1736.
- Iñiguez-Covarrubias** G. y Camacho-López A. (2011). Evaluation of an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) with Changes in the Upflow Velocity. *Ingeniería Investigación y Tecnología.* Vol. XII, Núm. 1, 199-208.
- Iza** J. (1991). Fluidized-Bed Reactors for Wastewater Treatment. *Water Sci. Technol.* (24): 109-132.
- Kannabiran**, B. y Pragasam, A. (1993). Effect of distillery effluent on seed germination, seedling growth and pigment content of *Vigna mungo* (L.) Hepper (CVT9). *Geobioscience* 20, 108-112.
- Kasum** L., Kansal A., Balakrishnan M. Rajeswari K.V., Kishore V.V.N. (2002). Assessment of Biomethanation Potential of Selected Industrial Organic Effluents in India. *Resour. Conserv. Recycl.* (35): 141-161.
- Lettinga** G, van Nelsen AFM, Hobma SW, de Zeeuw W, Klapwijk A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnol Bioeng.* 22(4): 699-734.
- Lettinga** G., Field J., Vanlier J., Zeeman G., Hulshoff-Pol L.W. (1997). Advanced Anaerobic Wastewater Treatment in the Near Future. *Water Sci. Technol.* 35(10): 5-12.
- Lim** S.J., Tak-Hyun, K. (2014). Applicability and trends of anaerobic granular sludge treatment processes, a Review. *Biomass and bioenergy.* 60:189-202.
- Lükewille** A.; D. Jeffries, M.; Johannessen, G.; Raddum, J.; Stoddard y T. Traaen. (1997). Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes. The nine year report: acidification of surface water in Europe and North America – Long-term developments (1980s and 1990s). NIVA-report n° 3637-97:168.

- Mahmoud N., Zeeman G., Gijzen H., Lettinga G. (2003).** Solids Removal in Upflow Anaerobic Reactors, a Review. *Bioresour. Technol.* (90):1-19.
- Nahale C. (1991).** The Contact Process for the Anaerobic Treatment of Wastewater: Technology, Design and Experience. *Water Sci. Technol.* (24):179-191.
- Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI.** Análisis de agua-determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Diario Oficial de la Federación. 18 de diciembre del 2000. México, DF.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI.** Análisis de agua-determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Diario Oficial de la Federación. 1 de agosto del 2001. México, DF.
- Norma Mexicana. NMX-AA-030-SCFI.** Análisis de agua- determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril del 2001. México, DF.
- Ramasamy E.V., Gajalakshmi S., Sanjeevi R., Jithesh M.N., Abbasi S.A. (2004).** Feasibility Studies on the Treatment of Dairy Wastewaters with up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors. *Bioresour. Technol.* (93):209-212.
- Rao G.A., Venkata-Naidu G., Krishna-Prasad K., Chandrasekhar- Rao N., Venkata- Mohan S., Annapurna J., Sarna P.N. (2005).** Anaerobic Treatment of Wastewater with High Suspended Solids from a Bulk Drug Industry Using Fixed Film Reactor (AFFR). *Bioresour. Technol.* (96): 87-93.
- Reynoso-Santos, R.; García-Mendoza, J.A.; López-Báez, W. Y López-Luna, A. (2012).** Identificación taxonómica de las especies agave utilizadas para la elaboración del licor comiteco en Chiapas, México. *Agroproductividad* 5(4):9-17.
- Robles-González, V.; López-López, E.; Martínez-Jerónimo, F.; Ortega-Clemente, A.; Ruiz-Ordaz, N.; Galíndez-Mayer, J.; Rinderknecht- Seijas, N.; Poggi-Varaldo, H. (2010).** Combined treatment of mezcal vinasses by ozonation and aerobic biological post-treatment. *Proceedings of 14th International Biotechnology Symposium. Rimini, Italy, 14-18 September 2010 in CD ROM.*
- Rojas, CH. O. (2004).** La alcalinidad como parámetro de control de los ácidos grasos volátiles en digestores UASB. 101-105.

- Sangave, P.C.; Gogatea, P.R.; Pandit, A.B. (2007).** Ultrasound and ozone assisted biological degradation of thermally pretreated and anaerobically pretreated distillery wastewater. *Chemosphere* 68 (1): 42–50.
- Speece, R.E. (1996).** Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments. Archae Press. Nashville. TN, USA.
- Vlyssides, A.G., Israilides, C.J., Loizidou, M., Karvouni, G., Mourafeti, V., 1997.** Electrochemical treatment of vinasse from beet molasses. *Water Sci. Technol.* 36 (2–3), 271–278.

Recepción: Abril 30, 2016 | Aceptación: Julio 29, 2016

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS EN UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR

—

Pedro Vera Toledo ¹, Hugo Alejandro Nájera Aguilar,
Carlos Manuel García Lara, Magnolia Solís López

¹ caachis1@hotmail.com, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.



Para citar este artículo:

García, c., Nájera, H., Solís, M. y Vera, P. (2016) Manejo de residuos sólidos no peligrosos en una institución de educación superior. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 90-103. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a06

RESUMEN

En general las instituciones de educación superior congregan una gran cantidad de personas, por ello son consideradas como fuentes de alta tasa de generación de residuos sólidos, por lo que requieren de contar con estrategias y protocolos perfectamente establecidos que garanticen el manejo correcto de los residuos sólidos, para evitar la problemática que generan y los riesgos que representan tanto a la salud pública como al medio ambiente. En la Ciudad Universitaria (CU), de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; se realizó un estudio para conocer el manejo de residuos sólidos, que incluyó la generación, la recolección, el almacenamiento, el equipo y la infraestructura, además de la caracterización, los aspectos económicos y la aplicación de un instrumento para conocer sobre la educación ambiental enfocada a los residuos sólidos. Los resultados muestran que se generan 677,6 kg/día de residuos sólidos, con 0.143 kg/persona-día, el manejo tiene un costo de \$7.00/kg. En cuanto a su composición, se identificaron 10 fracciones, cuatro de las cuales potencialmente pueden aprovecharse, estimándose una reducción de hasta el 63% de la cantidad generada. La educación se convierte en una necesidad para alcanzar esta reducción.

Palabras clave

Residuos sólidos, Instituciones de educación superior, Manejo de residuos.

MANAGEMENT OF NON-HAZARDOUS SOLID WASTE IN
AN INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION

— Abstract—

In general, the higher education institutions gather many people, so they are considered as sources of high rate of solid waste generation, thus requiring for strategies and well-established protocols to ensure the proper management of solid waste to avoid the problems generated and the risks posed to both public health and the environment. In University City (CU), an institution of higher education in the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas, Mexico. A study was conducted to determine the solid waste management, which included the generation, collection, storage, equipment and infrastructure, in addition to the characterization, economic aspects and implementation of a tool to learn about environmental education focused to solid waste. The results show that 677,6 kg / day of solid waste is generated, with 0.143 kg/person-day, management has a cost of \$7.00/kg and 10 fractions which potentially can be exploited at least four of them, hoping for a reduction of up to 63% of the generation were identified. Education becomes a necessity to achieve this reduction.

Keywords

Solid Waste, Institutions of Higher Education, Waste Management.

El manejo de residuos sólidos involucra aspectos que van desde su generación, manejo, tratamiento y disposición final con el fin de minimizar el impacto hacia el medio ambiente. Los residuos se pueden clasificar según el estado físico en que se encuentre (sólidos, líquidos y gaseosos), por sus características químicas (orgánicos e inorgánicos), por el grado de degradación en el ambiente (biodegradable y no biodegradable), por sus características físicas (inertes y combustibles), por la actividad que lo origina (municipales, industriales, mineros, hospitalarios, etc.) y por su tipo de manejo (peligroso, potencialmente peligrosos, no peligroso, especiales y peligrosos biológicos infecciosos) (Buenrostro, 2001).

Han sido ampliamente documentados los problemas que generan el manejo inadecuado de los residuos sólidos, poniendo en riesgos a la salud pública de la población circundante. Este riesgo incrementa y se asocia a la cercanía de sitios de disposición final, en el bajo índice de crecimiento (Ocampo *et al.*, 2008) y en otros casos desde asma hasta cáncer, que finalizan con la muerte de menores (Paschkes y Palermo, 2010).

Por otro lado, algunos de los problemas ocasionados por el mal manejo pero sobre todo la inadecuada disposición, son: bloqueo de corrientes de agua, deterioro de lugares de recreación, contaminación de acuíferos y cuerpos de agua superficial, salinización de suelos, proliferación de fauna nociva y generación de malos olores (Cortinas, 2001). Cuando se quema basura, se emiten partículas y todo tipo de sustancias, que incluyen a las dioxinas; compuestos clorados, de gran toxicidad (Cortinas, 2003), capaces de causar una variedad de efectos negativos en animales como: pérdida de peso y problemas en el hígado, alteraciones en la función reproductiva, en la respuesta inmune y defectos en las crías (Olea *et al.*, 2002; Armengi *et al.*, 2005).

El manejo adecuado de los residuos sólidos representa un compromiso para las instituciones de educación superior que tienen un mayor compromiso con los retos sociales, fortaleciendo la responsabilidad social de los universitarios y fomentando una universidad comprometida con la sociedad que la rodea. A nivel mundial se han realizado estudios enfocados a conocer el manejo de residuos sólidos, en instituciones de educación superior, como el reportado por Espinosa *et al.* (2003), en la Universidad de Granada, España, cuya finalidad fue de conocer el impacto ambiental que generan las actividades de sus centros universitarios y definir las estrategias a seguir en la gestión ambiental. Como resultado, en el año de 1998 implementó un plan en el que se incluyen los principios que constituyen el marco institucional de la gestión ambiental de esta universidad; el documento remarca la importancia de la participación conjunta de profesores, investigadores, personal administrativo y estudiantes.

En América, un estudio de composición de los residuos sólidos, llevado a cabo en la universidad de Brown, Estados Unidos realizado en 1992, reveló que el 45% de los residuos generados en esta institución, eran reciclables. Esta universidad, cuenta con un programa de reciclaje desde 1972 y en al 2004 reciclaba el 31% de sus residuos (Brown Programs, 2004). Se debe considerar que en los Estados Unidos de Norteamérica es obligatorio para las escuelas y universidades contar con programas de reducción y reciclaje de residuos.

En México se ha trabajado en diversas instituciones de educación superior, La Universidad Autónoma del Estado de Morelos ha establecido el Programa de Gestión Ambiental Universitario, y el caso más conocido es el que integra a once instituciones de educación superior en una organización denominada Consorcio Mexicano de Programas Ambientales Universitarios para el Desarrollo Sustentable (COMPLEXUS), cuyo objetivo principal es la colaboración y coordinación de programas ambientales universitarios, comprometidos con la incorporación de la dimensión ambiental en los quehaceres sustantivos de sus instituciones (Bravo, 2003).

Para el estado de Chiapas, específicamente en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH) se han realizado esfuerzos incipientes en relación al manejo de los residuos, el primero con la creación del Programa Ambiental Universitario y en segundo un estudio enfocado a la educación ambiental de exclusivo a la población estudiantil respecto de la generación de los residuos sólidos que arrojaron no profundizan en temas de manejo.

Desde la planeación, la universidad cuenta con dos instrumentos que observan este rubro:

- 1) La Política de Calidad: *«que establece la incorporación transversal, de su compromiso con el desarrollo sustentable, en la calidad y mejora continua de sus procesos administrativos y de servicios; promueve la cultura de prevención de la contaminación y preservación del medio ambiente en la comunidad universitaria e integra la suma de esfuerzos orientados a aumentar la profesionalización en el cumplimiento del marco legal y normativo».* y
- 2) El Programa Ambiental Universitario (PAU), que tiene como objetivo: *«Promover la incorporación de acciones ambientales y de sustentabilidad dentro de las funciones sustantivas, investigación, docencia y extensión, que se realizan en los diversos programas educativos de la UNICACH, así como el fomento de una cultura ambiental en la comunidad universitaria y en la entidad».*

Que refuerzan la idea de conocer el estado que guarda el manejo de los residuos por ello el presente trabajo se realizó en Ciudad Universitaria (CU) de la UNICACH, en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México; con el propósito de tener un acercamiento del manejo de residuos sólidos. Se realizó un diagnóstico de la generación, recolección, manejo, equipo, infraestructura, caracterización y finalmente la aplicación de una encuesta sobre educación ambiental enfocada al conocimiento y manejo de los residuos sólidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para conocer el manejo de residuos sólidos dentro de las instalaciones se llevó a cabo un estudio dividido en tres etapas.

Primera etapa

Orientada a conocer el equipamiento, infraestructura y aspectos económicos, para ello se realizó una entrevista al jefe del Departamento de Servicios Generales de CU, responsable del manejo de los residuos, para conocer los aspectos económicos en términos de gastos y el manejo durante el día que se observa en los residuos sólidos por el personal asignado para ese fin. Además se llevó a cabo un recorrido a las instalaciones de CU para recopilar y confrontar la información sobre número y tipo de equipos e infraestructura como contenedores, botes, almacén general, etc.

Segunda Etapa

Se determinó la generación y caracterización de los residuos sólidos al interior de CU durante ocho días, tomando como referencia y adaptando las normas técnicas mexicanas tales como las relacionadas con el método del cuarteo (SECOFI, 1985a), la selección y cuantificación de subproductos (SECOFI, 1985b) y la determinación de la generación (SECOFI, 1985c).

Los residuos se recolectaron en bolsas plásticas, tomando aleatoriamente un 10% del total acumulado en el día (Ruíz, 2012). Con el fin de homogenizar la muestra, los residuos fueron mezclados y posteriormente divididos en cuatro partes iguales, eliminando dos cuartos opuestos y aceptando los dos restantes.

De una de las dos partes aceptadas, se determinó la generación por persona por día, pesando con una báscula marca Nuevo León, capacidad 500 kg, sensibilidad de 10 g el acumulado de los RS y dividiendo entre el número de personas.

De la última parte se separaron las fracciones identificadas y se clasificaron, para posteriormente pesarlo por separado. El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Ecuación 1: } PC=(G_1/G)*100$$

Donde:

PC = Porcentaje del componente considerado.

G₁ = Peso del subproducto considerado, en Kg.

G = Peso total de la muestra, en Kg.

Tercera etapa

Para conocer sobre la educación y conocimiento del manejo de los residuos sólidos en CU, se diseñó un instrumento de tipo descriptivo con preguntas semicerradas evaluadas con la escala de Licker. Se realizó la prueba piloto para verificar su validez, aplicando la prueba estadística de Alfa de Cronbach al 3% de la muestra para conocer la fiabilidad, la cual arrojó el 0.070, posteriormente, se aplicó al 20% de la población la muestra fue estratificada (programa, grupos, carreras y semestres), realizándola a un total de 945 individuos de los cuales 856 eran alumnos, 80 profesores y 13 administrativos.

RESULTADOS

Equipamiento e Infraestructura

Para el almacenamiento de los RS en los edificios e instalaciones, se cuenta con 42 contenedores metálicos de capacidad 20 l, fijos al piso por pares, uno para la fracción inorgánica y otro para los orgánicos; su distribución se muestra en la Tabla 1.

Además del equipamiento listado en la Tabla 1, se cuenta con otros contenedores de material plástico, de aproximadamente 15 l de capacidad, uno en cada aula y en general en todos los espacios, como oficinas, laboratorios y cubículos, aunado a esto, se cuenta con 4 contenedores de capacidad aproximada de 1 m³, donde únicamente se recibe PET (número 1), ubicados en los edificios de Topografía, Ingeniería Ambiental, Biología y Ciencias de la Tierra.

Tabla 1. Número de contenedores y distribución en CU

Facultades y/o escuelas	Contenedores (Orgánica)	Contenedores (Inorgánica)	Total por Facultad
Ing. Ambiental	3	3	6
Alimentos, Nutrición y Gastronomía	2	2	4
Energías Renovables	1	1	2
Centro de Lenguas	1	1	2
Ciencias de la Tierra	1	1	2
Biología-Laboratorios	1	1	2
Psicología	2	2	4
Facultad de Topografía e Hidrología	2	2	4
Odontología	1	1	2
Consultorios de Odontología y Nutrición	1	1	2
Biblioteca Central	3	3	6
Auditorio	3	3	6
Total			42

En lo relativo a infraestructura, básicamente consiste en un almacén temporal para los residuos sólidos de dimensiones de 9 × 9 m, techado y cercado que evita el ingreso de fauna pero que a su vez tiene suficiente ventilación, con piso firme que impide la infiltración de lixiviados al subsuelo, con acceso y vías de circulación. Los residuos provenientes de las diferentes áreas de C.U., son almacenados sin más tratamiento durante seis días y recolectados cada miércoles por el servicio de limpia de la ciudad.

En señalización se cuenta con cartel que indica que los residuos deben depositarse en el fondo del almacén. Finalmente, no presenta medidas de seguridad contra incendios ni su correspondiente señalización, no se realiza ninguna otra actividad.

Análisis económico del manejo de residuos sólidos

No se incluyeron los costos del equipamiento e infraestructura. Únicamente se detectaron dos rubros donde se invierten recursos económicos, uno son 40 trabajadores de limpieza que entre sus actividades incluyen el barrido y recolectan diariamente los residuos sólidos de los contenedores, de las áreas comunes y salones, con un salario nominal por trabajador de \$ 3,800.00/mes.

Dos: todos los contenedores se abastecen con una bolsa plástica que facilita el manejo de los mismos, para este rubro se asignan \$2,300/mes.

Con estos costos el total suma \$5,143.33/día y \$ 7.00/kg., manejado en CU sin incluir recolección, transporte y disposición final.

Los ingresos generados a partir de los residuos sólidos, por venta del PET que se recolecta en contenedores, se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Venta de PET recuperado en CU promedio mensual.

PET en Kg	Ingreso en \$	Ubicación	PET en Kg	Ingreso en \$	Ubicación
33	66	Ing. Ambiental y Topografía	8.3	20.8	Biología y Ciencias de la Tierra

El promedio del total de entradas mensuales es de \$ 86.80, este monto no se ingresa a la Universidad. La disminución promedio de residuos sólidos específicamente para la fracción de PET, es de 41.30 kg/mes equivalente a 1.37 kg/día, no se ha incluido en el estudio de generación, sin embargo, como no hay datos para un comparativo, se hace evidente la necesidad de desarrollar índices económicos específicos y así contar con referencias sólidas para un manejo exitoso de los residuos (Acquatella, 2002).

Generación

Para calcular la generación *per cápita* se consideró una población total de 4 728 personas que incluye profesores tanto de tiempo completo como de asignatura, empleados administrativos y de servicio, población estudiantil de licenciatura y posgrado.

El estudio se llevó a cabo a medio semestre del periodo enero-junio 2015, cuando se tiene la mayor afluencia de personas en CU, por lo tanto corresponde a una generación denominada típica máxima (Ruiz, 2012) tomando la muestra directamente del almacén. Con los pesos de las muestra se proyectó el total generado por día y el promedio total, los datos se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Generación de residuos sólidos por día en CU

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	Promedio
Peso Total generado en kg.	634,42	585,08	715,5	809,81	240,05	809,92	805,67	730,6	677,6

Por lo tanto, teniendo en cuenta la población total y el promedio total de RS, la generación corresponde a 0.143 kg/persona-día, valor inferior a los 0.33 kg/persona-día reportado por Ruiz (2012) en un estudio realizado en la Universidad Iberoamericana, pero muy cercano a los 0.132 kg/persona-día reportado por Cruz, et al. (s/F) en un estudio realizado para un plantel del CONALEP, de la capital del estado de Puebla.

Caracterización

Se identificaron 10 diferentes fracciones o componentes y su cantidad diaria, así como el promedio de los 8 días consecutivos, varianza y desviación estándar. Estos datos se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Composición de los residuos sólidos

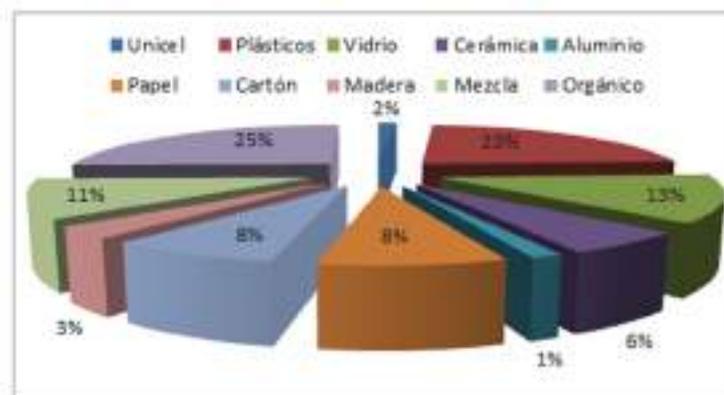
Componentes	Día								Prom.	Varianza	Des. Están.
	1	2	3	4	5	6	7	8			
Unicel	22,11	6,83	32,8	0	0,86	3,81	5,29	6,05	9,72	116,94	10,81
Plásticos	18,72	127,41	136,9	346,66	93,76	106,77	180,21	217,9	153,5	8380,27	91,54
Vidrio	30,19	141,12	11,1	53,66	2,01	259,48	82,75	56,96	89,45	6445,56	80,28
Cerámica	81,71	8,47	0	0	0	0	229,86	0	40,01	5847,59	76,47
Aluminio	8,33	7,22	13,8	20,47	0,83	14,78	6,67	4,98	9,64	34,59	5,88
Papel	35,73	29,4	75,4	44,48	3,87	85,01	114,93	56,39	55,65	1082,32	32,90
Cartón	6,74	95,39	73,1	19,77	57	133,59	4,37	29,89	52,48	1856,59	43,09
Madera	164,2	0	0	0	0	9,38	0	0	21,7	2910,42	53,95
Mezcla	188,5	61,72	0	188,51	30,72	34,42	0	89,36	74,15	5125,13	71,59
Orgánico	78,19	107,52	383,5	136,26	51	162,68	181,59	269,1	171,2	10402,36	101,99
Total:	634,42	585,08	715,5	809,81	240,05	809,92	805,67	730,6	677,6	32063,52	179,06

Las varianzas reflejan una enorme dispersión en la generación tanto de los totales como de las fracciones identificadas, lo que se reflejaría en el momento de realizar las propuestas para contenedores y equipamiento orientado a su manejo. Las fracciones que tienen potencial económico en los mercados locales son: papel, cartón, aluminio y plásticos, de esta última se separa y comercializa una fracción. Los porcentajes de cada componente respecto del total se presentan en la Figura 1.

En la Figura 1 se observa que el componente mayor es la materia orgánica con 23%, valor muy cercano al 26 y 28 % reportado por Buenrostro (2010) y Goya-García (2001), respectivamente. Los siguientes componentes de mayor generación fueron los plásticos con un 23%, y vidrio con 13%. El papel y cartón 8% para cada uno, cercano a lo reportado en el estudio realizado por Maldonado (2006). Los componentes con menos porcentajes

fueron residuos como aluminio (1%), unice (1.5%) y madera (3%). Con estos datos y de acuerdo a las condiciones de la universidad, se estima que puede alcanzar a disminuirse alrededor de un 67% (Maldonado, 2006) o hasta un 80%, siempre y cuando se separen los residuos en sus componentes (Armijo et al, 2006).

Figura 1. Porcentaje de los componentes de los RSU generados en CU



Las fracciones detectadas invariablemente se encuentran mezcladas, lo que dificulta la separación manual, y refleja el 11% de los componentes mezclados encontrados en el estudio de composición. En un estudio realizado por Hilerio (2005), se reportaba que para ese año, únicamente en la Facultad de Biología de la UNICACH se llevaba a cabo un proceso de separación, esto reflejó la poca sensibilización de la población universitaria.

Educación ambiental

En la encuesta aplicada sobre educación ambiental, se obtuvieron como principales resultados los siguientes: el 39% dice saber lo suficiente sobre lo relacionado a residuos sólidos y el 33.9% dice saber poco; sólo el 5.9% ha participado en una capacitación para el manejo de los residuos sólidos, mientras que el 35.6% conocen suficiente sobre los residuos orgánicos e inorgánicos. El 22.9% siempre separa los residuos sólidos al depositarlos en los contenedores mientras que el 9.3% nunca lo hace, el 35.6% dijo que no conoce el plan de manejo de residuos sólidos en la Institución y sólo el 11.8% lo conoce. Finalmente, el 85% de los encuestados comentaron que si la universidad implementara cursos para el plan de manejo de los residuos sólidos, sí participarían.

Los resultados reflejan que es necesario continuar con las actividades de educación ambiental, tal como reporta Hilerio (2005).

Se ha reconocido que la educación ambiental es la herramienta más poderosa para motivar nuevos hábitos, actitudes y valores en la población; así como detonadora de la corresponsabilidad social en la solución de los problemas ambientales (SEMARNAT, 2005) que en el caso de las Instituciones de Educación Superior adquieren una dimensión mayor.

Como un ejemplo de la importancia que puede tener la educación ambiental en los centros educativos, Barrientos (2010) reporta que en una universidad de Costa Rica, la educación y las mejoras en la organización y rotulación aumentaron la separación de las fracciones.

CONCLUSIONES

Hacer un comparativo sobre el manejo de residuos sólidos no peligrosos en CU de la UNICACH con otras universidades ya sean nacionales o extranjeras cuando no se poseen datos y protocolos de trabajo, es difícil, considerando que cada Institución de educación posee su propio manejo y gestión ambiental y suelen ser diferentes entre sí.

El estudio arroja una generación de 0.14 kg/persona-día, la recolección se realiza de forma manual y no existe separación, en el almacenamiento se presentan muchas áreas de oportunidad y la caracterización presenta fracciones que pueden fácilmente ser aprovechadas, como el aluminio, la materia orgánica, el papel, el cartón y los plásticos. Lo que se traduce en que potencialmente se puede disminuir lo generado hasta en un 63%, pero es necesario establecer y operar un sistema que incluya la educación ambiental para asegurar la separación de los residuos.

Se derogan en CU de la UNICACH la suma \$5,143.33/día y \$ 7.00/ kg, por las actividades de barrido recolección y almacenamiento de los residuos sólidos, sin que se ingrese monto alguno por la recuperación de PET, sin embargo, como no hay datos para un comparativo, se hace necesario desarrollar índices económicos específicos para contar con referencias claras sobre el manejo de los residuos sólidos.

REFERENCIAS

- Acquatella, J.** (2002). *Desafíos y propuestas para la implementación más efectiva de instrumentos económicos en la gestión ambiental de América Latina y el Caribe*. Disponible en <http://www.cepal.org/cgibin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/8/11048/P11048.xml&xsl=/dmaah/tpl/p9f.xsl&base=/tpl/imprimir.xsl>.
- Argemi F., N. Cianni, A. Porta.** (2005) Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública, *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 39 (3): 291-300.
- Barrientos Zaidett,** (2010). *Generación y gestión de residuos sólidos ordinarios en la Universidad Nacional de Costa Rica: patrones cuantitativos y sociológicos*. Cuadernos de Investigación UNED 2(2): 133-145, (Edición en Línea)
- Armijo de Vega, C., Ojeda-Benítez, S., Ramírez-Barreto, E. y Quintanilla-Montoya, A.** (2006). Potencial de reciclaje de los residuos de una institución de educación superior: el caso de la Universidad Autónoma de Baja California. Ingeniería, *Revista Académica de la FI-UADY*, 10(3): 13-21
- Brown University.** (2004). *Brown Recycling Program. Brown is Green*. http://www.brown.edu/Departments/Brown_Is_Green/waste/recysum.html
- Bravo M. y Santa M. O.** (2003). El desafío ambiental, orientador de los nuevos rasgos de la educación superior en México. *Revista Agua y Desarrollo Sustentable*. 8, 22-24. Disponible en línea en: <http://www.anea.org.mx/docs/Bravo-LasIESseorganizan.pdf>
- Buenrostro Delgado, O.** (2001). *Los residuos sólidos municipales: perspectivas desde la investigación multidisciplinaria*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Secretaría de Difusión Cultural y Extensión Universitaria. México. pp.200.
- Buenrostro, O.** (2010). *El Plan de Manejo de los Residuos Sólidos de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*. Morevallado Editores. México. (p.62)
- Cortinas, de N., C.** 2001. *Hacia un México sin basura, bases e implicaciones de las legislaciones sobre residuos*. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, México D. F.
- Cortinas, de N. C.,** (2003) *Los Contaminantes Orgánicos Persistentes: Una visión regional*. Talleres Gráficos de la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México D. F.
- Cruz Quintero B., Ma. Maura M. Teutli L., Martha P. González A., Gabriel Jiménez S., Alejandro César Ruíz.** (S/F). *Manejo de residuos sólidos en instituciones educativas*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Edificio 123, Cd Universitaria, Puebla, Pue.
- Espinosa H. P., Cárdenas P. C., Peinado M. A. y Puga S. J.L.** (2003). *Gestión Ambiental en la Universidad de Granada*. <http://www.ugr.es/~gabpca/>

- Goya-García, M.** 2001. *La ambientalización de la Universidad. Un estudio sobre la formación ambiental de los estudiantes de la Universidad de Santiago de Compostela y la Política Ambiental de la Institución.* Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/12810522026706051321435/005343_4.pdf
- Maldonado L.** (2006). Reducción y reciclaje de residuos sólidos urbanos en centros de educación superior: Estudio de caso. *Revista Ingeniería*, 10 (1) 59-68.
- Hilerio, Magaly.** (2005). *Análisis de la educación ambiental en la UNICACH.* Nas Jomé. 2 (3) 13-15.
- Ocampo C. E., Pradilla A., Méndez F.,** (2008) *Impact of a waste disposal site on children physical growth, Colombia Médica.* 39 (3) 260–265.
- Olea N., M. F. Fernández, P. Araque, F. Olea-Serrano** (2002). *Perspectivas en disrupción endocrina, Laboratorio de Investigaciones Médicas. Hospital Clínico. Universidad de Granada, Gac Sanit;* 16(3): 250-6
- Paschkes Ronis, M., Palermo, M. C.,** (2010). La relación sociedad - naturaleza en la sociedad del riesgo: el caso del relleno sanitario “Villa Domínico” *Scripta Ethnologica*, 32 (2010) 45-58.
- Ruíz Morales Mariana,** (2012). Caracterización de residuos sólidos en la Universidad Iberoamericana, ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 28 (1) 93-97.
- SEMARNAT** (2005). *Manual de manejo adecuado de residuos sólidos.* Escuela limpia en el Distrito Federal. (p.86)
- SECOFI** (1985a). Norma Mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Muestreo – Método de Cuarteo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación, México*, 18 marzo de 1985.
- SECOFI** (1985b). Norma Mexicana NMX-AA-022-1985. Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Selección y Cuantificación de Subproductos. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación, México*, 18 marzo de 1985.
- SECOFI** (1985c). Norma Mexicana NMX-AA-61-1985. Protección al Ambiente – Contaminación del Suelo – Residuos Sólidos Municipales – Determinación de la Generación. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. *Diario Oficial de la Federación, México*, 8 de agosto de 1985.

REACTOR AEROBIO CON MEDIO DE SOPORTE FIJO UTILIZANDO BOTELLAS DE PET

—

María Yesenia Mendoza Burguete ¹, José Alberto Rodríguez Morales ²

¹ Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto, Santiago de Querétaro, Querétaro, C. P. 76010, México 442.311.72.51. Correo electrónico men_bur@hotmail.com

² Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto, Santiago de Querétaro, Querétaro, C. P. 76010, México 442.237.69.16. Correo electrónico josealberto970@hotmail.com



Para citar este artículo:

Mendoza, M. y Rodríguez, J. (2016) Reactor aerobio con medio de soporte fijo utilizando botellas de pet. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 104-115. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a07

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales, ha sido utilizado en muchas partes del mundo con diferentes sistemas de depuración de contaminantes. Sin embargo se ha comprobado que muchos de estos contaminantes representan un peligro para la salud del hombre y seres vivos. Debido a lo anterior el objetivo de esta investigación fue implementar un reactor biológico rec-tangular de 90 litros de capacidad, aireado y conteniendo en su interior botellas plásticas de PET (polietileno tereftalato) como medio de soporte para la producción de una biopelícula para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Durante el experimento se monitoreó el influente y efluente donde se obtuvo una remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) de 97.6% y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 97.7%, como parámetros indicadores de la calidad del agua residual tratada con un tiempo promedio de tratamiento de 2.72 horas.

Palabras clave

Biopelícula, tratamiento de aguas domésticas, polietileno tereftalato.

AEROBIC REACTOR USING FIXED SUPPORT WITH PET BOTTLES

— *Abstract*—

The wastewater treatment is implemented worldwide using variety of systems to remove pollution because they are harmful to living beings. Therefore, the objective of this study was to construct and use a 90 liter rectangular biological reactor with aeration that contained PET (polyethylene terephthalate) plastic bottles. Inside the reactor the surface of these bottles were used as means for the production of a biofilm to be later used for treatment of domestic wastewater. During the experiment, influent and effluent water was monitored. In order to evaluate the quality of the mechanism, the removal of the Biochemical Demand of Oxygen (DBO_5) and Chemical Demand of Oxygen (DQO) were measured. The biochemical demand of oxygen was 97.7% and the chemical demand of oxygen was 97.6%. The average treatment time was 2.72 hours.

Keywords

Biofilm, domestic water treatment, polyethylene terephthalate.

La biopelícula ha sido utilizada con éxito en el tratamiento de aguas durante más de un siglo (Atkinson, 1975), sin embargo, las ventajas de este tipo de procesos se hicieron de interés para un número considerable de investigadores en la década de los 80s, no sólo en el ámbito de tratamiento de aguas residuales, sino también en muchas otras áreas relacionadas con la biotecnología (Adler, 1987; Yang *et al.*, 2013). Un gran número de proyectos de investigación actualmente se está llevando a cabo en reactores de biopelícula para la producción de sustancias bioactivas, para cultivos de plantas y células animales, producción de agua potable y tratamiento de aguas residuales (Castro *et al.*, 2016; McNaught & Wert, 2015; Hu *et al.*, 2013; Vendramel *et al.*, 2015, Gu *et al.*, 2014).

Una ventaja clave de procesos utilizando biopelícula es la influencia positiva de superficies sólidas sobre las bacterias. Esta actividad se observó hace más de 50 años, (ZoBell, 1943) y confirmada recientemente por otros investigadores (Bassin *et al.*, 2012; Mohan *et al.*, 2013; Dong *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2010; Dvořák *et al.*, 2014). Existe un considerable debate sobre el mecanismo que induce una mayor actividad de la biomasa fija, (Rusten *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2006). Algunos autores (Zhan *et al.*, 2006; Hibiya *et al.*, 2004; Jorgensen *et al.*, 2004; Yan *et al.*, 2009) atribuyen este fenómeno a modificaciones fisiológicas de células unidas. Se ha demostrado que los procesos de biomasa con medios de soporte fijos están menos afectados que los lodos en suspensión por los cambios en las condiciones ambientales como temperatura, pH, concentraciones de nutrientes, metabólicos productos y sustancias tóxicas (Tansel *et al.*, 2006; Utgikar *et al.*, 2002).

La actividad de la biopelícula no es proporcional a la cantidad de biomasa, pero aumenta con el espesor de la biopelícula hasta un nivel determinado, conocido como el "espesor activo" (Remoundaki *et al.*, 2008). Por encima de este nivel, la difusión de nutrientes se convierte en un factor limitante, diferenciando así una biopelícula "activa" de una biopelícula "inactiva". Por consiguiente, una biopelícula estable, delgada y activa ofrece numerosas ventajas en el agua y en el tratamiento de aguas residuales. Con el fin de lograr este objetivo, es importante desarrollar métodos para la actividad de la biomasa fija, estimación que no sólo es simple y rápida, sino también sensible, precisa y representativa.

En la presente investigación se analizó y evaluó la eficiencia de un sistema biológico aerobio utilizando botellas de polietileno tereftalato (PET) como medio de soporte para facilitar la producción de biopelícula para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

MATERIALES Y METODOS

Construcción del sistema biológico aerobio y preparación del medio de soporte

Se construyó el reactor rectangular de vidrio de 50 cm de ancho, 61 cm de largo y 31 cm de alto, con adaptaciones de PVC para facilitar la aireación, alimentación y salida del agua tratada como se muestra en la Figura 1. En el interior contiene botellas de PET (Polietileno tereftalato) geoméricamente ordenadas con pequeñas incisiones en las paredes del medio de soporte para permitir el flujo del agua.

Figura 1. Reactor aerobio con botellas de PET como medio de soporte.



Aclimatación de la biomasa

Se vació dentro del reactor biológico aerobio, 50 litros de lodo activado procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales, de la Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Aeropuerto ubicado en la Carretera a Chichimequillas, Ejido Bolaños, Querétaro, Qro. C.P. 76140, tal y como se muestra en la Figura 2 y se alimentó con 40 litros de agua residual proveniente de la Facultad de Lenguas y Letras y gastronomía de la misma universidad.

Figura 2. Inoculación de lodo activado al reactor aerobio para la producción de biopelícula.



Producción de biopelícula

Estos 90 litros de lodo activado y agua residual fueron vertidos dentro del reactor para la inoculación, producción y fijación de la biomasa, y comenzar el proceso de adhesión y formación de biopelícula el cual se obtuvo después de tres semanas. Después de este tiempo se realizaron diversos estudios fisicoquímicos a la entrada y salida del sistema para determinar la eficiencia del sistema, incrementando gradualmente la concentración de contaminantes del agua residual. Los análisis diarios indicativos arrojaron un remoción de entre el 70 y 85% en los primeros 25 días.

Análisis fisicoquímico

Diariamente durante 30 días después de haber producido biopelícula, se obtenían 60 litros de agua tratada y se le administraban 60 litros de agua residual; para el fortalecimiento genético de los microorganismos se alimentaron diferentes condiciones de agua residual, tal y como se muestra en la Tabla 1. En esta tabla se observan tres análisis de diferentes aguas de influente y a su vez es comparada con la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Tabla 1. Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del influente del sistema biológico aerobio.

Determinación		Influentes		Max. Perm	Unidades
Demanda Química de Oxígeno	332	409.2	782	N.E.	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	204	219.96	600	20	mg/L
Sólidos Suspendidos Totales	168	298	500	20	mg/L
Grasas y aceites	3	3.2	25	15	mg/L
Coliformes Fecales	23	≥2400000	≥2400000	240	NMP/100 mL
Huevos de Helminetos	Ausente	Ausente	Ausente	≤1	Organismos/L

Máx. Perm. de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-97.
 Resultados según Centro de Servicios Químicos, No. Acreditación: AG-160-027/12
 N. E.: No especificado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

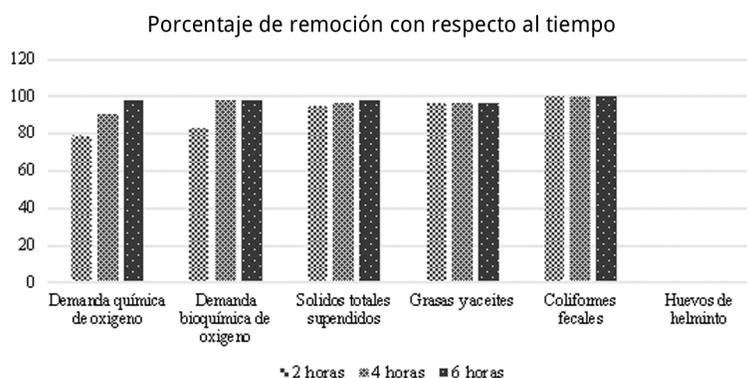
Los medios de soporte sumergidos han demostrado ser altamente eficientes en la eliminación de DQO y DBO₅ en aguas residuales (Osorio y Hontoria, 2001) y los resultados de este estudio lo comprueban. Este sistema puede ser adaptado a plantas construidas o con poca disposición de terreno (Bassin et al., 2012), incluso aumentar el caudal tratado puesto que se mantiene una concentración alta de sólidos dentro del reactor, y que para este estudio el área de contacto superficial de la biopelícula dentro del reactor fue de 5.74 m². Uno de los problemas principales de las plantas de tratamiento convencionales es la variación de caudal y calidad del influente y una solución es la implementación de reactores biológicos aerobios por biopelícula (Tóth & Szilágyi, 2013). En la Tabla 2 y Figura 3 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del agua residual en el cual, pasadas 4 horas de tratamiento se logró cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997, sin embargo pasados 2 horas superaba el 80% de remoción de estos contaminantes.

Tabla 2. Resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del influente y efluente a diferentes tiempos.

Determinación	0 horas	2 horas	4 horas	6 horas	Unidades
Demanda química de oxígeno	782	169.5	74	18	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	600	101.37	15.83	14.66	mg/L
Sólidos suspendidos totales	500	26	20	12	mg/L
Grasas y aceites	25	<1.0	<1.0	<1.0	mg/L
Coliformes fecales	≥2400000	<3	<3	<3	NMP/100 mL
Huevos del Helminto	0	0	0	0	Organisms/L

Máx. Perm. de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-97.
Resultados según Centro de Servicios Químicos, No. Acreditación: AG-160-027/12
N. E. No especificado.

Figura 3. Análisis y comparación de porcentaje de remoción de algunos parámetros a diferentes tiempos, (pH = 7.1 ±1, T = entre 23 y 25°C).



El material de soporte con plástico PET utilizado en este estudio, fue exitoso para el desarrollo de los microorganismos y fijación de biomasa. En general la biopelícula se fija difícilmente (Battin et al., 2007; Mongenroth y Milferstedt, 2009) a pesar de que existen evidencias científicas sobre la adhesión de biopelícula al Polietileno Tereftalato en las aguas marinas, en las que se

obtuvieron resultados satisfactorios y experimentación como medio de soporte para otros tipos de estudios (Hayden et al., 2008; Kishu et al., 2009).

CONCLUSIONES

El sistema biológico aerobio por biopelícula con medio de soporte de botellas de Polietileno Tereftalato, es un sistema simple, fácil de operar, y no necesita grandes espacios para su construcción, el microambiente de la biopelícula ofrece cobijo a muy variadas especies de microorganismos, promoviendo la utilización de una amplia gama de sustratos, soportan variaciones de caudal, entre otras ventajas. Los resultados fisicoquímicos de este sistema en comparación con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997 cumplen en un tiempo promedio de 2.75 horas con un porcentaje de remoción para DQO: 88.86%, BOD₅: 92.69%, SST: 96.13%, Grasas y aceites: 96%, Coliformes fecales: 99.99%, de esto se concluye que el sistema es viable, económico y eficiente para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Agradecimientos

El primer autor agradece el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para desarrollar este estudio, a la Universidad Autónoma de Querétaro por su participación y apoyo al prestar sus instalaciones y equipos y a la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas por el apoyo para concluir esta investigación y aportar ideas para mejoras en el sistema.

REFERENCIAS

- Adler I.** (1987) Proc. Int Eur. Congr. on *Biotechnology*, Vol. 1, p. 1. Amsterdam. The Netherlands.
- Atkinson B.** (1975). *Biochemical Reactors*. Pion Press, London.
- Bassin JP, KleerebezemR, Rosado AS, Van Loosdrecht MCM, Dezotti M** (2012). *Effect of different operational conditions on biofilm development, nitrification, and nitrifying microbial population in moving bed biofilm reactors*. *Environ Sci Technol* 46:1546–1555.
- Battin TJ, Sloan WT, Kjelleberg S, Daims H, Head IM, Curtis TP, Eberl L.** (2007). Microbial landscapes: new paths to biofilm research. *Nat Rev Microbiol* 5:76–81.
- Castro, F. D., Bassin, J. P., & Dezotti, M.** (2016). Treatment of a simulated textile wastewater containing the Reactive Orange 16 azo dye by a combination of ozonation and moving-bed biofilm reactor: evaluating the performance, toxicity, and oxidation by-products. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- Dong B, Chen H, Yang Y, He Q, Dai X** (2014). Treatment of printing and dyeing wastewater using MBBR followed by membrane separation process. *Desalin Water Treat* 52:4562–4567.
- Dvořák L, Lederer T, Jirků V, Masák J, Novák L** (2014). Removal of aniline, cyanides and diphenylguanidine from industrial wastewater using a full-scale moving bed biofilm reactor. *Process Biochem* 49: 102–109.
- Gu, Q., Sun, T., Wu, G., Li, M., & Qiu, W.** (2014). Influence of carrier filling ratio on the performance of moving bed biofilm reactor in treating coking wastewater. *Bioresource technology*, 166, 72-78.
- Hayden K. Webb, Russell J. Crawford, Tomoo Sawabe, and Elena P. Ivanova.** (2008). Poly (ethylene terephthalate) Polymer Surfaces as a Substrate for Bacterial Attachment and Biofilm Formation. *Microbes and Environmental*, 24, 40-42.
- Hibiya K, Nagai J, Tsuneda S, Hirata, A.** (2004). Simple prediction of oxygen penetration depth in biofilms for wastewater treatment. *Biochem Eng J* 19:61–68.
- Hu, X. B., Xu, K., Wang, Z., Ding, L. L., & Ren, H. Q.** (2013). Characteristics of biofilm attaching to carriers in moving bed biofilm reactor used to treat vitamin C wastewater. 35(5), 283-291.
- Jorgensen H, Morkeberg A, Krogh KBR, Olsson L.** (2004). Growth and enzyme production by three *Penicillium* species on monosaccharides. *J Biotechnol* 109:295–299.
- Kishu Phaugat, Manu Bhambi, Renu, C.S. Pundir.** (2009). Polyethylene terephthalate membrane as a support for covalent immobilization of

- uricase and its application in serum urate determination. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymati*, 62, 28-30.
- McNaught**, H., & Wert, E. C. (2015). Evaluation of Chemical and Environmental Methods to Optimize Performance of Fixed Bed Biofilm Reactors to Remove Ozonation By-Products. *Ozone: Science & Engineering*, 37(3), 227-239.
- Mohan** SV, Reddy CN, Kumar AN, Modestra JA (2013). Relative performance of biofilm configuration over suspended growth operation on azo dye based wastewater treatment in periodic discontinuous batch mode operation. *Bioresour Technol* 147:424–433.
- Morgenroth** E, Milferstedt K. (2009). Biofilm engineering: linking biofilm development at different length and time scales. *Rev Environ Sci Biotechnol* 21:3203–3208.
- Osorio**, F., Hontoria, E., (2001). Optimization of bed material height in a submerged biological aerated filter. *J. Environ. Eng.* 127, 974–978.
- Park** HO, Oh S, Bade R, Shin WS (2010). Application of A2O moving bed biofilm reactors for textile dyeing wastewater treatment. *Korean J Chem Eng* 27:893–899.
- Remoundaki** E, Kousi P, Jouliau C, Brunet FB, Hatzikioseyan A, Tsezos M. (2008). Characterization, morphology and composition of biofilm and precipitates from a sulphate-reducing fixed-bed reactor. *J Hazard Mater* 153:514–524.
- Rusten** B, Eikebrokk BJ, Ulgenes Y, Lygren E. (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacult Eng* 34:322–331.
- Tansel** B, Sager J, Garland J, Xu SH, Levine L, Bisbee P. (2006). Deposition of extracellular polymeric substances (EPS) and microtopographical changes on membrane surfaces during intermittent filtration conditions. *J Membr Sci* 285:225–231.
- Tóthy** Szilágyi, (2013). “Full scale application of an FBAS technology –a case study”. 9th International Conference on Biofilm Reactors. Paris, Francia.
- Utgikar** VP, Harmon SM, Chaudhary N, Tabak HH, Govind R, Haines JR. (2002). Inhibition of sulfate-reducing bacteria by metal sulfide formation in bioremediation of acid mine drainage. *Environ Toxicol* 17:40–48.
- Vendramel**, S., Bassin, J. P., Dezotti, M., & Sant'Anna Jr, G. L. (2015). Treatment of petroleum refinery wastewater containing heavily polluting substances in an aerobic submerged fixed-bed reactor. *Environmental technology*, 36(16), 2052-2059.

- Wang XJ**, Xia SQ, Chen L, Zhao JF, Renault NJ, Chovelon JM. (2006). Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. *Process Biochem* 41:824–828.
- Yan DZ**, Bai ZH, Gu R, Mike LK, Ren SM, Yang PL. (2009). Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. *J Environ Sci* 21:834–841.
- Yang, Z. Z.**, Yang, Z. M., Cao, J. G., Jia, Y. Y., & Xu, J. X. (2013). Study on the Combination of Fixed Bed and Moving Bed Biofilm Reactor for Papermaking Terminal Wastewater Treatment. In *Advanced Materials Research* (Vol. 777, pp. 309-313). Trans Tech Publications.
- Zhan XM**, Michael R, O'Reilly Edmond. (2006). Biofilm growth and characteristics in an alternating pumped sequencing batch biofilm reactor (APSBBR). *Water Res* 40:817– 825.
- ZoBell C. E.** (1943). The effect of solid surfaces upon bacterial activity. *J. Bact.* 46, 39 56.

CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS GRAVITACIONALES EN DIFERENTES AMBIENTES GEOLÓGICOS DE CHIAPAS, MÉXICO

Jorge Antonio Paz Tenorio¹, Raúl González Herrera¹,
Mario Gómez Ramírez², José Armando Velasco Herrera¹

¹ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, 1ra norte-poniente No 1460,
Tuxtla Gutiérrez. jorge.paz@unicach.mx.

² Universidad Veracruzana, Av. Xalapa, esq. Ávila Camacho s/n,
Xalapa Enríquez, Veracruz

Para citar este artículo:

Gómez, M., González, R., Paz, J. y Velasco, J. (2016) Caracterización de procesos gravitacionales en diferentes ambientes geológicos de Chiapas, México. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 116-130. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a08

RESUMEN

Los procesos gravitacionales (PG) son fenómenos naturales que generan formas de relieve degradativo en las zonas de desprendimiento de material (por ejemplo, los circos de erosión), algunas veces acumulativos (como los depósitos de talud), por lo que modifican y modelan el entorno geográfico. Ante la falta de estudios integrales previos, así como de una planeación gubernamental, es frecuente que estos procesos afecten asentamientos humanos, en ocasiones con pérdidas de vidas humanas, daños a infraestructura, vías de comunicación y zonas productivas, entre otras.

Existen diferentes tipos de movimiento que varían en su geometría, velocidad y contenido de agua, así mismo, estos procesos cada vez son más frecuentes y varían sus efectos destructivos. Por ende, hoy día se han diseñado métodos de clasificación y estudio para estos procesos, para el año 2006, el Centro Nacional de Prevención de Desastres empleó una propuesta que considera tres tipos y nueve subtipos de PG (Alcántara *et al.* 2006).

Por lo anterior, este trabajo se enfoca a la caracterización de distintos sitios en donde se presentan PG, y se asocian a los ambientes geológicos en los que se localizan como las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, en diferentes zonas del estado de Chiapas.

Factores externos como el intemperismo y la erosión, afectan de manera distinta al tipo de roca, por lo que es importante conocer la clasificación de acuerdo a su origen. Por ejemplo, en calizas predomina el intemperismo químico, cuyo fracturamiento favorece el desprendimiento de bloques. En depósitos de talud se presentan deslizamientos o flujos.

Grandes bloques de origen intrusivo presentan un intemperismo físico-esferoidal, mismos que al ser descubiertos por la erosión, ruedan de las partes altas alcanzando distancias considerables.

El tipo de roca, sumado a otros elementos ambientales y antrópicos mantiene una estrecha relación con la manifestación de los PG. El empleo de cartografía básica y temática, así como otras aplicaciones en línea, brindan información que debe ser complementada con recorridos en campo, para tener mayor certeza en la caracterización del sitio y generar cartografía de amenazas, e inferir los efectos negativos de estos procesos en zonas que presenten condiciones semejantes.

Palabras clave

Amenaza, gestión del riesgo, procesos gravitacionales, vulnerabilidad.

GRAVITATIONAL PROCESSES CHARACTERIZATION OF DIFFERENT GEOLOGICAL ENVIRONMENTS IN CHIAPAS, MEXICO

— *Abstract* —

The gravitational processes (GP) are natural phenomena that generate forms of degradative relief in areas of material removal (for example, the erosion cirques), cumulative sometimes (such as slope deposits), so that change and shape the geographical environment.

In the absence of previous comprehensive studies, as well as a government planning it is common that these processes affecting human settlements, sometimes with loss of life, damage to infrastructure, roads and productive areas, among others.

There are different types of movement that vary in their geometry, speed and water content, likewise, these processes are becoming more frequent and vary their destructive effects. Therefore, today are designed methods of classification and study for these processes, for the year 2006, the National Center of disaster prevention employment a proposal that considers three types and nine subtypes of GP.

Therefore, this work focuses on the characterization of different sites where they occur GP, and are associated with geological environments in which they are located, such as igneous, sedimentary and metamorphic rocks, in different areas of the state of Chiapas.

External factors such as weathering and erosion, affect the type of rock different way, so it is important to know the classification according to their origin. For example, predominantly limestone chemical weathering, which fracturing, favors the rockfall. In deposits of landslides or slope flows are presented.

Large blocks of intrusive origin present a physical-spheroidal weathering, themselves that being discovered by erosion, high and roll the elevations reaching considerable distances.

The type of rock, together with other environmental and anthropic elements has a close relationship with the manifestation of the GP.

The use of basic and thematic mapping, and other online applications, provide information that should be complemented with field trips, in order to have greater certainty in the characterization of the site and generate mapping of threats, and infer the negative effects of these processes areas subject to similar conditions.

Keywords

Hazard, risk management, gravitational processes, vulnerability.

De acuerdo a la Estrategia Internacional para Reducción de Desastres de Naciones Unidas (UNISDR, 2009), la amenaza es «un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales». Las amenazas en general son un problema complejo con dimensiones múltiples.

En cuanto a vulnerabilidad, se define como «las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza» (UNISDR, 2009). Wilchex- Chaux (1993) sugiere que la vulnerabilidad global tiene nueve dimensiones: física, económica, social, educativa, política, institucional, cultural, ambiental e ideológica.

Por otra parte, la Gestión del riesgo se define como «el enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales» (UNISDR, 2009).

Generalmente, en un escenario desastre, estas dimensiones se manifiestan simultáneamente en diferentes grados. Los PG representan una amenaza poco estudiada en el estado de Chiapas, si bien se presentan uno o dos eventos de importancia al año (Paz *et al.*, 2011), en la actualidad la atención se sigue centrando en el desastre. Cuando se presenta, no existen planes de contingencia eficientes que apoyen a la población, a pesar de tener conocimiento de eventos anteriores en la zona. Lo cual, sumado a otras variables socioeconómicas, aumentan peligrosamente su vulnerabilidad en el tiempo, haciendo de la gestión del riesgo una labor ausente o incipiente. Para su estudio, uno de los instrumentos básicos es la integración de un inventario, esto permitirá conocer sitios en donde se han presentado y ofrecerá un referente histórico para el caso de recurrencia.

Dictámenes de desalojo o de cambio de uso del suelo, con las consecuentes restricciones, han sido medidas radicales impuestas que no abonan a una gestión eficiente del riesgo. Una causa es la falta de trabajo inter y multidisciplinario integral, situación en la que la Protección Civil institucionalizada y la labor académica divergen, adicionando un elemento más a esta realidad, de por sí compleja.

En este trabajo, se registran ocho casos sobre Procesos Gravitacionales ocurridos en diferentes ambientes geológicos en la parte norte, centro y centro-sur del estado. Se aborda el aspecto litológico como uno de los condicionantes de estos eventos, y las lluvias y actividad humana como principales detonadores.

IMPORTANCIA DE LA NATURALEZA GEOLÓGICA DEL TERRENO

Como afirman Lugo *et al.*, (2005) «Sharpe (1938), Varnes (1958, 1978), Záruba y Mencl (1969), Crozier (1986) y Dikauet al. (1996), se consideran entre los factores principales la influencia del agua superficial y subterránea, la litología, la estructura geológica y el relieve». Por su parte, Alcántara y Murillo (2008), proponen una metodología para integrar un inventario de PG, en donde la geología del sitio es el segundo factor de importancia, después de la hidrología.

Muñíz y Hernández (2012) colocan a la litología como el primer factor a considerar en la metodología para zonificación de PG en Puerto Vallarta, Jalisco. Además el tipo de roca, el control estructural por planos de estratificación, fallas y diaclasas, son determinantes en el comportamiento de estos movimientos.

FACTORES DETONANTES

Las lluvias, junto con sismos o erupciones volcánicas, se consideran como detonantes de los procesos gravitacionales (Mayorga, 2003; Alcántara *et al.*, 2006) citados por Aristizábal, (2010). En los sitios visitados, se combinan las lluvias con cortes de talud para construcción de carreteras o nivelación de terrenos para edificación de viviendas.

ANTECEDENTES

A partir de recorridos previos durante ocho años, se identificaron sitios de interés para el estudio de los PG. Estos han sido visitados en diferentes ocasiones a partir de 2009 con grupos de estudiantes como parte de prácticas de la materia de Geomorfología o bien para la elaboración de su protocolo de tesis. En mayo de 2013, se propusieron algunos de estos sitios para realizar un recorrido con geólogos del INEGI, encargados de diseñar un Modelo de Susceptibilidad a Movimientos en Masa. En julio del mismo año, como parte del curso Forensic Investigations of Disasters, organizado, entre otras instituciones por el Centro de Investigaciones en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, de la UNICACH, se conoció la metodología de Causas de Fondo (IRD-FORIN, 2011) y se realizó trabajo de campo en la ladera sur de Tuxtla Gutiérrez.

METODOLOGÍA

Con el conocimiento previo de 12 sitios, se eligieron 8 para ser caracterizados en esta investigación, mismos que permiten conocer el complejo comportamiento de los PG en distintos ambientes geológicos y bajo condiciones diversas de ocupación.

La geología se obtuvo a través de la información Geológica de la Serie I en formato digital, elaborada por INEGI (1984), y complementada con las observaciones en campo. El software empleado fue el mapa digital de escritorio ver. 5.1 (INEGI) y ArcMap ver 9.3 (ESRI). Las coordenadas geográficas se registraron en campo con navegador Garmin ETrex Vista, en formato de grados, minutos y segundos. Para estimación de distancias por carretera y a otros puntos de referencia, se utilizó Google Earth ver. 7.1.1.1888.

CASOS

Ocho casos registrados en diferentes condiciones geológicas, principalmente de las zonas norte, centro y centro-sur del estado (Mapa 1), resaltan la importancia de la geología como uno de los elementos determinantes o condicionantes. La mayoría, por sus dimensiones, solo es posible representarlos de manera puntual en las escalas convencionales que genera el INEGI 1:50 000, ya que no cumplen con el área mínima cartografiable (AMC) (Paz, 2012).

Mapa 1. Ubicación de los casos estudiados



Foto 1. Autopista Ocozocoutla-Arriaga. Paz, 2013



Caso 1. Autopista Ocozocoutla-Arriaga (190 D) (Foto 1). Ubicación: km 25 ($16^{\circ}41'54.36''$ N, $93^{\circ}32'32.56''$ W). (Foto 1). La zona corresponde al contacto de dos unidades: lutita-arenisca del Triásico-Jurásico y caliza-lutita del Cretácico inferior.

Se trata de un talud realizado para el paso de la autopista mencionada. A 25 m al norte, y a 20 m sobre este nivel, se encuentra la carretera Panamericana (190) Tuxtla Gutiérrez-Tapanatepec, Oaxaca.

El corte provocó agrietamientos y desniveles en esta última, y desprendimiento de material que invadió el carril sentido Arriaga-Ocozocoutla. Estos fragmentes se adicionaron, otros acarreados por camiones de carga, con la finalidad de estabilizar el PG con el sistema de contrapeso. Sin embargo, esquematizando el movimiento, el sitio ideal para que el contrapeso funcione se encuentra al otro lado de la autopista (Paz, 2014).

A tres años de la activación del movimiento, no se ha controlado adecuadamente. Las medidas correctivas implementadas son bermas, concreto lanzado para evitar filtraciones, el cual presenta agrietamientos, y geomembrana para facilitar la revegetación.

Foto 2. Autopista Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal. Paz, 2013



Caso 2. Autopista Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal (190 D) (Foto 2). Ubicación: km 33 ($16^{\circ}4'41.94''$ N, $92^{\circ}46'25.51''$ W). Calizas del Cretácico superior.

Deslizamiento traslacional facilitado por la disposición de los estratos. Fue provocado por el corte de talud, para la construcción de la autopista.

Las diaclasas permitieron que se deslizaran varios bloques de diferentes tamaños, que invadieron ambos carriles. Conforme el material se acumulaba, era removido.

Se ha perdido la cubierta de suelo, y por lo tanto, la cobertura vegetal, acelerando los procesos de erosión.

Foto 3. Carretera Chicoasén-Copainalá. Paz, 2013



Caso 3. Carretera Chicoasén-Copainalá (102) (Foto 3). Ubicación: km 7.5 ($16^{\circ}59'56.6''$ N, $93^{\circ}08'27.48''$ W). Lutitas-areniscas del Paleoceno que subyacen a algunos bloques de caliza y conglomerados.

El corte favorece el desprendimiento de material intensamente intemperizado, comportándose en presencia de lluvias abundantes como flujo de detritos; esto provoca que los bloques superiores se desestabilicen y se desprendan en un segundo momento, por diferencia en la litología.

En el corte carretero se observan fallas y evidencias de flujos antiguos. Esta carretera anualmente se ve obstruida, afectando al tránsito de personas y mercancías. Se tiene registro de un bloque desprendido que golpeó un vehículo (junio, 2011).

Foto 4. Colonia 6 de junio. Paz, 2013



Caso 4. Colonia 6 de junio 3ra Sección (Foto 4). Ubicación: sur oriente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ($16^{\circ}43'38.44''$ N, $93^{\circ}4'3.74''$ W). Depósitos recientes (coluviones) sobre lutita-arenisca del Eoceno.

Deslizamiento rotacional ocurrido el 9 de septiembre 2013, provocado por diferentes cortes de talud para construcción de viviendas, detonado por saturación de suelo debido a lluvias intensas, además de fugas en los sistemas de drenaje y agua potable, aunado a la carga de las viviendas.

Este aspecto lo aborda Lugo et al, (2005) al mencionar que «las construcciones que se sitúan en zonas peligrosas favorecen o aceleran los pro-

cesos gravitacionales por la deforestación, el peso de las construcciones, el drenaje, la modificación del perfil de las laderas y del régimen hidrológico».

Foto 5. Ladera sur de Tuxtla Gutiérrez. Paz, 2014



Caso 5. Ladera sur Tuxtla Gutiérrez, base del Cristo de Chiapas (Foto 5). Ubicación: sur de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez ($16^{\circ}43'13.55''N$, $93^{\circ}7'13.60''W$). Está constituida por calizas-lutitas del Oligoceno. Aquí se encuentran los circos de erosión (Paz *et al.* 2012), generando caídos o derrumbes, caracterizados por grandes bloques angulosos.

Se trata de la base de un circo de erosión de aproximadamente 70 m de altura, hasta el momento es una zona deshabitada a donde acude la gente de las colonias periféricas como Altos del sur y 7 de abril, a abastecerse de agua en un manantial; en la parte superior y a escasos 10 m del borde se edificó un monumento conocido como Cristo de Chiapas, que tiene una altura de 62 m., del cual no se tiene conocimiento de un estudio previo, por lo que se está ejerciendo una carga en una zona muy susceptible a PG.

Caso 6. Volcán El Chichón, Chapultenango (Foto 6). Ubicación: ladera oriental del volcán El Chichón ($17^{\circ}21'52.20''N$, $93^{\circ}12'32.60''W$). La litología corresponde a brecha volcánica intermedia. Se presentan flujos de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos. Por corresponder a un edificio volcánico, se consideran lahares, al ser flujos de materiales volcánicos transportados por agua de lluvia.

Foto 6. Volcán El Chichón. Paz, 2012



Al ser escasa la vegetación arbórea, y ante el intenso sol que se siente a partir de las 9:00 h, los excursionistas generalmente descansan dentro de los cauces donde se proyectan las sombras de sus márgenes que alcanzan hasta 8 m de altura, existiendo la posibilidad de un desplome.

Para cartografía de laderas de este tipo, en donde se encuentran escurrimientos de primer orden, Srthaler, 1968, citado por Lugo *et al*, (2005), recomienda el método de cabeceras fluviales, monitoreando la erosión remontante.

Foto 7. Cafetal en Cabañas. Paz, 2013



Caso 7. Localidad Cabañas, La Concordia (Foto 7). Ubicación: estribaciones de la sierra madre de Chiapas, municipio de La Concordia ($15^{\circ}45'27.07''N$, $92^{\circ}59'59.31''W$). La litología corresponde al complejo metamórfico (Müllerried, 1957), llamado por INEGI (2015) como Macizo de Chiapas, constituido principalmente por granito y granodiorita del Paleozoico.

Se trata vuelcos de grandes bloques, caracterizados por un intemperismo esferoidal, lo que genera bordes redondeados que facilitan su desplazamiento pendiente abajo. Muy peligrosos cuando se desprenden de las partes altas como en este caso.

La comunidad cultiva café en las laderas de las montañas, además de maíz y frijol en las partes bajas.

Por su topografía, las montañas permanecen poco pobladas siendo escasos los registros de daño a comunidades serranas. Sin embargo, muchas de estas localidades muestran crecimiento rápido y las construcciones avanzan hacia las zonas peligrosas (Lugo *et al*, 2005).

Foto 8. La Candelaria. Paz, 2013



Caso 8. Localidad La Candelaria-Nueva Esperanza, La Concordia (foto 8) Ubicación: 12 km al noroeste de Jaltenango de la Paz ($15^{\circ}58'08.99''N$, $92^{\circ}47'6.59''W$). Predominan limonitas-areniscas del Triásico- Jurásico. Se trata de un flujo de detritos, abundando grandes bloques de caliza y conglomerado, que fueron arrastrados de las partes altas durante el paso del huracán Stan, en octubre de 2005.

Este material se encuentra desordenado e inestable, por lo que es susceptible a otro proceso de remoción. Con una próxima avenida por lluvias

abundantes, «los arroyos pueden recuperar su nivel base, y su propio cauce, si este ha sido modificado» (Lugo *et al*, 2005).

CONCLUSIONES

La revisión de 6 casos en ambientes sedimentarios y 2 en ígneos, es útil para conocer el comportamiento de los PG bajo distintas condiciones geológicas, ya que siendo factores condicionantes, es conveniente considerarlas en el diseño de vías terrestres, asentamientos humanos y áreas destinadas al cultivo, para evitar en lo posible la ruptura del equilibrio de la pendiente natural del terreno, debido a los taludes principalmente.

Chiapas es un estado con sismicidad frecuente y expuesto al embate de ciclones, por lo no se debe descartar que en algunas zonas, los tres factores detonantes: lluvias, sismos, o modificación de la pendiente, pueden actuar simultáneamente, complicando así la atención de la emergencia.

Los eventos registrados hacen patente la necesidad de contar con un inventario de eventos por PG y pone en evidencia falta de estudios previos, reglamentos de construcción y especificaciones técnicas eficientes; lo que fortalecería las labores de gestión del riesgo.

Agradecimientos

Al Proyecto FORIN y al Centro de Investigaciones en Gestión de Riesgos y Cambio Climático (CIGRCC/UNICACH), por la invitación al Curso-Taller Internacional de Investigaciones Forenses de Desastres Relacionados con la Ocurrencia de Deslizamientos junio-julio 2013. Al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por la invitación a participar en el grupo de trabajo para el diseño del Modelo de Susceptibilidad a Movimientos en Masa, en 2013. A la Dra. Silvia Ramos Hernández, Directora del CIGRCC y de la carrera de Licenciatura en Ciencias de la Tierra (UNICACH), por las invitaciones a las excursiones científicas al volcán El Chichón, marzo 2007 y 2012. A la Geógrafa Elisa M. Sandoval Sierra, de la Universidad del Valle (Colombia), por su apoyo en la revisión y sugerencias.

REFERENCIAS

- Alcántara** Ayala, I., Echevarría Luna, A., Gutiérrez Martínez, C., Domínguez Morales, L. y Noriega Rioja, I. (2006). Inestabilidad de Laderas. CENAPRED, Serie fascículos.
- Alcántara** Ayala, I. y Murillo García, F. (2008). Procesos de remoción en masa en México: hacia una propuesta de elaboración de un inventario nacional. Investigaciones Geográficas (Mx), Pp 47-64.
- Aristizábal** E., Martínez, H. y Vélez, J.I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. No.131: Pp209-227.
- Integrated Research on Disaster Risk** (2011). The FORIN Project. China
- Mullerried** F.K.G. (1957). Geología de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez. Gobierno de Chiapas.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (1984). Carta Geológica. Escala 1:250 000, Hoja E15-11 Tuxtla Gutiérrez. México
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía** (2015). Mapa de Susceptibilidad del Fenómeno de Movimiento en Masa del Macizo de Chiapas. Escala 1:500 000 México.
- Lugo** Hubp, J., Zamorano-Orozco, J. J., Capra, L., Inbar, M. y Alcántara Ayala, I. (2005). Los procesos de remoción en masa en la Sierra Norte de Puebla, octubre de 1999: Causas y efectos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22, núm. 2, Pp. 212-228.
- Mayorga**, R. 2003: Desarrollo de una metodología para la determinación de lluvias detonantes de deslizamientos. Estudio de caso. Meteorol. Colomb. Num 7 Pp.73-80.
- Muñiz** Jáuregui, J.A. y Hernández Madrigal, V.M. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 1, 2012, p. 103-114
- 999: Causas y efectos. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 22, núm. 2, Pp. 212-228.
- Paz** Tenorio, J. A., Gómez Ramírez, M., González Herrera, R. y Domínguez Salazar, F.F. (2011). «Los procesos de remoción en masa en Chiapas; una revisión de los últimos cinco años (2006-2011)». Lacandonia Revista de Ciencias de la UNICACH Año 5, vol 5 núm 1 junio. Pp 113-122.
- Paz** Tenorio, J. A., Gómez Ramírez, M., González Herrera, R., Murillo Sánchez, M.E. Domínguez Salazar, F.F. (2012) Mapa de Amenazas por Procesos de Remoción en Masa en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Memorias VIII Reunión Nacional de Geomorfología. Guadalajara, Jal. Septiembre. Pp. 6.

- Paz Tenorio, J.A.** La inestabilidad de laderas y la construcción social del riesgo; tres casos en el sur de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. (Tesis de Maestría) Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Noviembre 2012. Pp. 160.
- Paz Tenorio, J.A.** (2014). Deslizamientos Urbanos; Estudio de Episodios Críticos O Catastróficos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Trabajo final del XLI Curso Internacional de Geografía Aplicada «La Geomorfología y la Gestión de los Riesgos por Deslizamiento en América Latina». (Mimeog,) Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas (CEPEIGE) de Ecuador y el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH). Diciembre. Pp. 35.
- Naciones Unidas** (2009). Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. UNISDR. Ginebra, Suiza.
- Wilches-Chaux, G.** La Vulnerabilidad Global. En: Maskrey, A. Los Desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED). 1993

ESTUDIO DE EGRESADOS DEL PROGRAMA DE MÉDICO CIRUJANO DE LA FACULTAD DE MEDICINA HUMANA, UNACH

Salazar Gómez Carlos Patricio ¹, Jiménez Pirrón Tomasa de los Angeles ²,
Roblero Ochoa Sonia Rosa³, Cuesy Ramírez María de los Angeles⁴,
Soltani Darani Ahmad ⁵, Rosa Martha Velasco Martínez⁶

¹ c_salazar03@msn.com, ² angeles_pirron@hotmail.com, ³ sroblero1504@hotmail.com,
⁴ angelescuesy@yahoo.com.mx, ⁵ soltani@prodigy.net.mx, ⁶ oro_vel@hotmail.com

PTC Facultad de Medicina Humana Dr. Manuel Velasco Suárez de la
Universidad Autónoma de Chiapas

Para citar este artículo:

Cuesy, M., Jiménez, T., Roblero, S., Salazar, C., Soltani, A. y Velasco, R. (2016) Estudio de egresados del programa de médico cirujano de la facultad de medicina humana, UNACH. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo* 5 (12) 131-148. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a09

RESUMEN

El presente trabajo muestra la importancia de la contribución de los estudios de egresados en el diseño curricular de una carrera, a partir de la percepción de los estudiantes que han terminado el Plan de Estudio y de la opinión que tienen los empleadores de ellos.

El objetivo del Programa de Seguimiento de Egresados (PSE) es incorporar sus resultados al Programa Académico de Médico Cirujano. Es un estudio descriptivo y transversal para el que se diseñaron dos encuestas: la primera, exploró el modelo educativo, programas operativos, nexos con empleadores y currículum oculto; la segunda, exploró demanda profesional, datos generales de egresados, razones para dejar de trabajar, desempeño profesional, recomendaciones para mejorar el Perfil Profesional. Ambas se aplicaron mediante entrevista directa a los egresados y jefes inmediatos.

Los resultados del PSE confirmaron las ventajas del sistema modular, una formación básica y clínica identificadas con el entorno, la necesaria flexibilización del currículum, el reforzamiento de las competencias relacionadas con el dominio de una segunda lengua y con aspectos gerenciales. Estos resultados fueron incorporados a la nueva propuesta curricular.

Palabras clave

Estudio de egresados, diseño curricular, opinión de egresados, perfil profesional.

AEROBIC REACTOR USING FIXED SUPPORT WITH PET BOTTLES

— *Abstract*—

This report shows the importance of how graduate studies can contribute in curriculum design based on student's perception who have finished the formal Study Plan and also their employers' opinion.

The objective of the follow-up graduate study (FUGS) is to incorporate its outcome into formal Career Plan of Medical School. It is a descriptive-transversal study. Two different types of questioners were developed. In the first one, educative model, operative programs, links with employees and hidden curriculum were included; the second one explored professional demand, general graduate data, reasons to stop working, professional performance, recommendation to improve professional profile. Both were accomplished by direct interviews to the graduate students and their immediate employee.

The results of the FUGS confirmed the advantages of the modular model, a basic and clinical formation identified with the environment and the need of a flexible curriculum, the reinforcement of competences related to the ability of a second language and management skills.

These results were included into the new curriculum proposal.

Keywords

Graduate study, curricular design, graduate opinion, professional profile.

Los procesos de globalización, de apertura y la consecuente búsqueda de integración de estas, son sin duda prueba de los tiempos actuales, provocando y demandando transformaciones y cambios sociales profundos en todos los ámbitos de la vida social y productiva. El mercado de trabajo actual exige de los egresados una actitud diferente, nuevas formas de pensar, habilidades y competencias profesionales distintas. (Rose, 2012).

Las instituciones de educación superior (IES) hoy en día se enfrentan a nuevos retos ya que constantemente se dan cambios económicos, tecnológicos, sociales y culturales, el más importante, en el caso de los estudios de egresados, es el impacto social que generan los profesionistas en el campo laboral, por ello es importante que las instituciones generen estrategias para conocer la trascendencia de su acción, al tiempo que identifiquen nuevas demandas de formación en cada uno de sus programas académicos, todo ello con la finalidad de responder con pertinencia las necesidades sociales.

Los estudios de egresados permiten conocer los puntos de vista de quienes fueron alumnos y detectan los nichos de oportunidad del programa académico, en este caso, el de Médico Cirujano; también se hace mención especial al vínculo que se establece y mantiene con los egresados, estableciendo una comunicación abierta y cooperativa. (Mendoza R. 2002)

Las primeras instituciones educativas preocupadas por evaluar la relación mundo escolar - mundo del trabajo a través de los estudios de seguimiento de egresados, estuvieron ubicadas en los Estados Unidos de Norteamérica y en algunos países de Europa; dichos estudios se caracterizaron por un predominio en las tendencias operativas y en sus fines informativos para influir en la toma de decisiones. En México, a partir de la década de los setenta, instituciones ubicadas en el centro del país como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco (UAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Escuela Nacional de Estudios Profesionales-Zaragoza (ENEP), y otras como la Universidad Veracruzana (UV) y la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), dan inicio a este tipo de evaluaciones en las instituciones de educación superior (Barrón, 2003).

De acuerdo al último análisis del estado de conocimiento sobre estudios de egresados efectuados en México durante el periodo 1992-2002, llevado a cabo por miembros del Consejo Mexicano de Investigación Educativa (Barrón et al, 2003), los trabajos referidos a esta temática se ubicaron en tres sub-campos bien definidos: 1) evaluación curricular, que describen la inserción y desempeño de los egresados a fin de evaluar y retroalimentar los programas educativos en cuestión, 2) pertinencia de la formación académica recibida, que busca medir la correspondencia del perfil del egresado con las exigencias de su ejercicio profesional y 3) inserción laboral, para identificar la incorporación y destino en el ámbito de trabajo, así como, conocer si

los mecanismos de inserción en el mercado profesional son tradicionales o novedosos. (Alonso, C. 2011)

En lo transcurrido del siglo XXI, la sociedad y los mercados de trabajo se han vuelto más exigentes y resulta obvio que la relación universidad–sociedad se ha convertido en un elemento importante a incluirse en la planeación y al mismo tiempo en una estrategia de evaluación de la educación superior con dos ámbitos de interés:

- A nivel interno, focalizada en analizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, los objetivos del programa educativo, los contenidos y las actividades;
- A nivel externo, el acopio de información a través de dos fuentes principales, el estudio de seguimiento de egresados y el análisis situacional del trabajo.

En el 2008, la Secretaría de Educación Pública definió el concepto de seguimiento de egresados como «Los estudios de seguimiento de egresados no referencian solamente el proceso de inserción de los estudiantes egresados en el campo laboral, ni son sólo indicadores de satisfacción del egresado, son también mecanismos eficaces para promover la reflexión institucional sobre sus fines y sus valores». (SEP, 2010).

La Facultad de Medicina Humana Dr. Manuel Velasco Suárez de la Universidad Autónoma de Chiapas (FMH), en su interés por lograr la formación de médicos con calidad, en los últimos años se ha mantenido en la búsqueda constante de modalidades docentes que mejoren su plan de estudio.

Con este fin en 1993 se puso en marcha la versión modificada del primer plan de estudios, que en términos generales no sustituyó al entonces Plan 74 (Facultad de Medicina Humana, 1974). Posteriormente en 2013 inicia un nuevo plan de estudios, flexible, basado en el desarrollo de competencias, que favorece la movilidad de estudiantes y docentes, se reduce el tiempo de tránsito de los estudiantes, sin menoscabo del perfil que se pretende alcanzar en los egresados y en cuyo diseño se tomaron en cuenta las experiencias obtenidas de los estudios de egresados. (Cuesy, *et al*, 2010)

En 2003 se establecieron las bases para desarrollar un sistema de seguimiento de egresados de la carrera de Médico Cirujano en la FMH (Facultad de Medicina Humana, 1993 y 2013), siguiendo el esquema básico propuesto por la ANUIES (ANUIES. 2003), con el propósito de obtener información oportuna, pertinente y confiable para apoyar la toma de decisiones y la planeación académica, así como valorar el desempeño de los egresados en el ámbito laboral.

Los objetivos de este programa se enfocan en dos aspectos: en primer lugar, conocer la opinión de los egresados, grado de satisfacción respecto al proceso educativo y recoger sistemáticamente sus sugerencias al plan de estudios; además describir las características socioeconómicas de nuestros egresados. (Trujillo, 2005)

En segundo lugar, conocer la coherencia que existe entre el perfil del egresado y los requerimientos formativos actuales en la práctica profesional y contar con información confiable sobre el desempeño profesional de los egresados y de su relación con los aciertos y fallas en su formación a través de la opinión de los empleadores.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el programa educativo de Médico Cirujano a partir de la opinión de los egresados y sus empleadores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Valorar la opinión de los empleadores con relación a los egresados.
- Evaluar el grado de satisfacción de los egresados y empleadores, respecto a la calidad de formación del programa académico de Médico Cirujano.

METODOLOGÍA

Para este estudio se diseñaron dos encuestas en donde se incluyen aspectos fundamentales a evaluar, aplicado a una muestra representativa de 128 egresados del Plan de Estudios 1993 y los respectivos empleadores; dentro de estos aspectos se incluyeron los datos académicos de cada uno de los egresados, el nivel de satisfacción y desempeño académico que recibieron por parte de la Facultad de Medicina Humana Dr. Manuel Velasco Suárez, el desempeño profesional que han tenido en el mercado laboral, la actualización profesional que han adquirido después de haber egresado, el factor socioeconómico durante y después de haber cursado el programa de Médico Cirujano y las propuestas y sugerencias que ellos consideran importantes para lograr la pertinencia en la formación académica y mantener una mejor comunicación entre los egresados y la facultad.

El tipo de estudio fue descriptivo y transversal, la muestra estuvo constituida por 128 egresados del Plan de Estudios 1993 de la Facultad de Medicina Humana de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Las encuestas incluyeron preguntas cerradas y se aplicaron mediante entrevista directa a los egresados y jefes inmediatos, a través del personal de una agencia de consultoría.

Para medir la actitud, grado de conformidad y conocimiento del encuestado se utilizó la escala de Likert, en virtud de que resulta útil emplearla en situaciones que agrupan categorías de respuesta, las cuales sirven para valorar la intensidad de los sentimientos del encuestado hacia un cuestionamiento.

Los resultados fueron sistematizados en una base de datos en Excel y procesados en el paquete estadístico SPSS. Con la finalidad de evitar sesgos en la interpretación de los datos, la agencia contratada para la aplicación de la encuesta, fue la misma que sistematizó los resultados y el grupo de profesores responsables del proyecto hizo la interpretación final de los resultados.

Los cuestionarios se organizaron para explorar las siguientes variables: 1) edad, sexo y estado civil; 2) acceso al mercado laboral, primer empleo y empleo actual: tipo de trabajo, régimen de la empresa, horas de trabajo y salario; 3) calidad de la formación académica: principales limitantes académicas para encontrar trabajo, principales causas de abandono del trabajo y sugerencias de modificación al plan de estudio; 4) valoración de las competencias: habilidad que más desarrolló en su vida académica y en su ejercicio profesional.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los 128 cuestionarios de opinión aplicados. Éstos corresponden a la percepción, valoración y opinión de los egresados de la FMH de las generaciones 2003-2009, los cuales se presentan de manera descriptiva y conforme al orden de las secciones del cuestionario de opinión empleado para la realización del presente estudio.

Datos

En el estudio participaron 128 egresados de la FMH de las generaciones 2003-2009, de los cuales el 55.5% fueron hombres y el 44.5% mujeres. Las edades de los egresados fluctuaron entre los 24 y los 40 años de edad, con una media de 32.59 años.

Referente al estado civil de los egresados, un poco más de la mitad de ellos se encuentran casados ó en unión libre, el 39.4% permanecen soltero/as y el 2.4% son divorciado/as. Las variables de sexo, edad y estado civil se resumen en la Tabla N° 1.

Tabla 1. Sexo, edad, estado civil.

Sexo		Edad	Estado Civil		
Femenino	Masculino		Soltero	Casado	Otro
44.5%	55.5%	Media 32.59 años	39.4%	58.2%	2.4%

Formación continua

La mayoría de los egresado/as cursan eventos de actualización o profesionalización en la modalidad presencial, otras formas son cursos y/o talleres del área médica, diplomados y maestrías presenciales o a distancia; motivados por el propio interés personal, algunos lo hacen por cuestiones laborales (Tabla N° 2).

Tabla 2. Eventos de actualización.

Evento Académico	Realizó	No realizó	Motivo		Modalidad		Semi-presencial
			Personal	Laboral	Presencial	Distancia	
Cursos	90.6	9.4	69.1	30.9	94.2	5.8	0.0
Talleres	64.1	35.9	60.8	39.2	100.0	0.0	0.0
Seminarios	29.7	70.3	72.7	27.3	97.4	2.6	0.0
Diplomado	34.4	65.6	76.0	24.0	86.7	13.3	0.0
Especialidad	39.1	60.9	90.2	9.8	100.0	0.0	0.0
Maestría	12.5	87.5	86.7	13.3	82.3	11.8	5.9
Doctorado	1.6	98.4	100.0	0.0	100.0	0.0	0.0

Se considera importante destacar que un buen porcentaje de los egresados participa en cursos de actualización alrededor de los 12 meses después de su egreso.

Los eventos a los que mayormente asisten los egresados/as son:

- Asistencia a congresos estatales, nacionales e internacionales sobre diferentes tópicos de salud, salud pública, epidemiología y especialidades clínicas.
- Diplomados, cursos y talleres sobre los temas antes referidos, además aspectos de gestión en salud.
- Asistencia a cursos, talleres y seminarios sobre temas de formación para la docencia y cultura general sobre lectura de textos médicos en inglés e interculturalidad en salud.

- Asistencia al curso de preparación para el Examen Nacional de Residencias Médicas (ENARM).

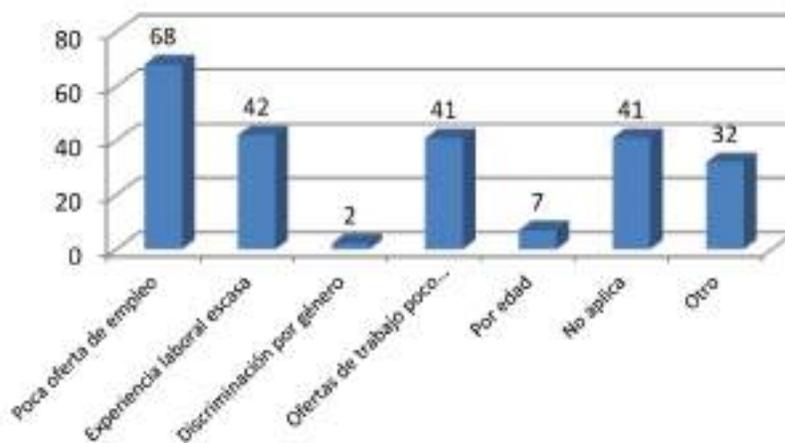
Experiencia laboral

El 79.7% de los egresados tuvo alguna oportunidad para trabajar al concluir el servicio social; de éstos, el 41.2% trabajó en la misma institución donde realizó el servicio social. Es pertinente mencionar que las mujeres tuvieron mayor facilidad de obtener trabajo al concluir el servicio social y los varones tuvieron la oportunidad de trabajar en la misma institución donde realizaron el servicio social.

Los egresado/as obtienen empleo en menos de tres meses de su titulación; esta situación se presenta de manera similar tanto en hombres como en mujeres, siendo éstas últimas las que en mayor medida lo logran.

Las dificultades a las que se enfrentan los egresados al insertarse al mercado son: la escasa experiencia laboral, edad, género, oferta de empleo limitada y poco atractiva; así mismo, el tiempo que tarda el trámite para obtener el título y la cédula profesional. En el caso particular de las mujeres otros factores son la maternidad y la lejanía de la ubicación de los trabajos en relación al lugar donde radican.

Gráfica 1. Factores que influyen en la demora en la consecución de empleo.



El estudio demostró que el 9.4% aceptan trabajos que no corresponden al perfil profesional. Entre los factores que son tomados en cuenta por los empleadores que benefician la aceptación de los egresados en el mercado

laboral son: el prestigio de la Facultad, la pertinencia social del programa de Médico Cirujano, experiencia previa y cumplir con los requisitos que imponen las instituciones para el ingreso.

Los medios que en mayor medida emplean los egresado/as y que han sido efectivos para encontrar su primer empleo una vez concluido los estudios de licenciatura son: la recomendación de un amigo o familiar; la bolsa de trabajo; y recomendaciones de compañeros; el 17.2% utilizan combinaciones de las estrategias antes mencionadas.

Trayectoria laboral

Los egresado/as que participaron en el estudio pertenecen a las generaciones 2003 al 2009; esto significa que han pasado entre 4 y 10 años desde su egreso, lo cual permite obtener elementos suficientes para indagar respecto a la trayectoria ocupacional.

Tasa de empleo

La tasa de empleo se ubica en el 90.6%, los egresado/as que se encuentran trabajando actualmente el 54.3% son hombres y el 45.7% son mujeres.

Movilidad en el mercado laboral

El 79% considera que el puesto que desempeñan actualmente y su percepción salarial es mejor que el desempeñado por primera vez. La percepción de movilidad laboral se da a través de mayores ingresos y puestos o cargos de mayor responsabilidad. Es muy bajo el porcentaje de los egresados que aún continúan ocupando el mismo cargo o situación laboral.

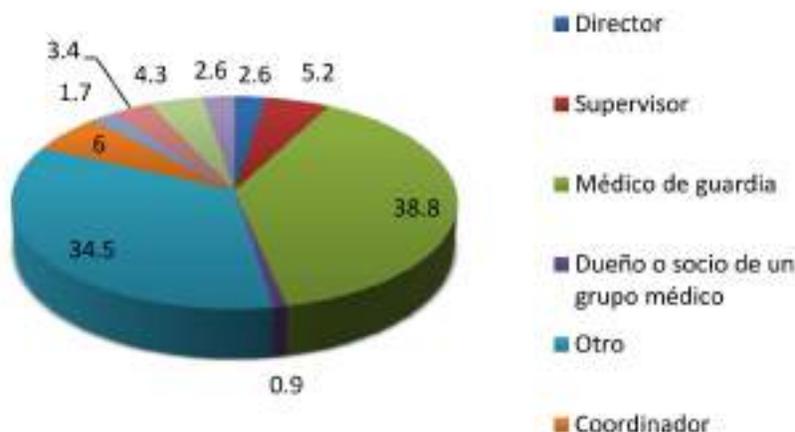
Con relación a la satisfacción con el desempeño laboral, El 73% de los egresados manifestaron estar totalmente satisfechos, en virtud que pudieron responder a problemas de relevancia social, problemas de la práctica médica, aplicar los conocimientos adquiridos en la carrera y el reconocimiento profesional alcanzado.

El 70% de los egresado/as se encuentran laborando en la parte clínica. En el espacio administrativo como son dirección, coordinación ó supervisión trabajan más hombres que mujeres, el área de la docencia es el mercado laboral menos demandado.

Alrededor del 20% de los egresado/as se desempeñan en más de un espacio de trabajo. De éstos, el 74% se desempeña en dos, 9% en tres, el por ciento restante llega a desempeñarse hasta en cuatro áreas de trabajo diferentes, 52% son hombres y el 48% son mujeres.

Del total de los egresados que laboran actualmente, el 14% lo hace exclusivamente en puestos directivos (director, coordinador o supervisor), el 2% son docentes, el 42% ocupan puestos de médicos de guardia o de asistentes médicos y el 5% son dueños o socios de un grupo médico y/o tienen su propio consultorio.

Gráfica 2. Empleo actual de los egresados.



El 71% de los egresado/as se encuentra laborando en empresas de más de 250 empleados. Las microempresas son las fuentes de empleo para los egresado/as que recién inician su experiencia laboral; sin embargo, conforme transcurre el tiempo esta situación se modifica favorablemente.

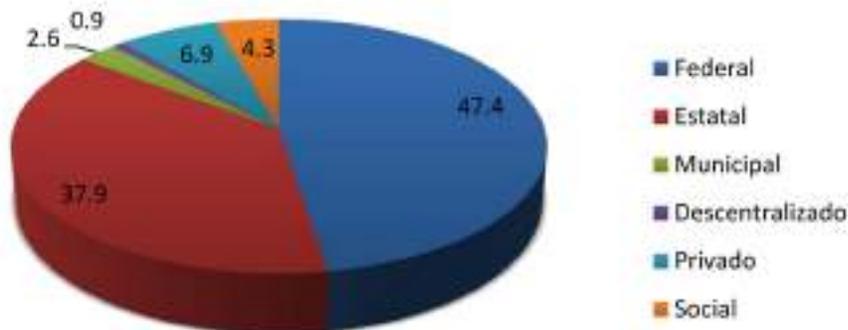
Los egresado/as se encuentran empleados por lo general dentro de las instituciones gubernamentales, particularmente dentro del ámbito federal y estatal. El sector privado no representa un área de oportunidad para ellos.

En la mayoría de los casos los egresado/as perciben un salario que va de \$9,001.00 mensuales en adelante, el 7.8% recibe salario bajo que va de \$1,500.00 a \$5,000.00 mensuales.

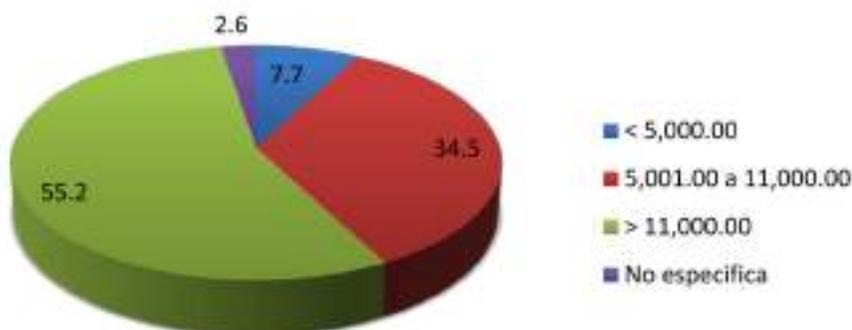
El 62.1% de los egresado/as tienen entre 1 a 5 años de antigüedad en el empleo que desempeñan, 19.8% tiene más de 5 años y 17.2% acaban de incorporarse y aún no cumplen con un año.

El 78% de los egresado/as laboran dentro del de los servicios de salud. Además, algunos prestan sus servicios en otras instituciones como son servicios de gobierno, educación y comercio.

Gráfica 3. Régimen jurídico de las empresas donde prestan servicio los egresados.



Gráfica 4. Ingreso económico mensual de los egresados.



Opinión de los egresados sobre la formación recibida

La opinión de los egresado/as sobre la formación recibida, se evaluó a partir de la pertinencia de los programas académicos en congruencia con el mercado laboral. Para ello, se les preguntó si la formación recibida permite dar respuesta a las exigencias del desempeño profesional al que se enfrentan en el trabajo cotidiano, a) el grado de exigencia en el desempeño profesional; b) de los contenidos del plan de estudios y c) el cumplimiento del perfil de egreso consignado en el programa de estudios, es decir la satisfacción en la adquisición de los conocimientos y habilidades aprendidas.

Grado de exigencia en aspectos del desempeño profesional

El 79% de los egresado/as refieren que los aspectos que son más demandados en su desempeño profesional son:

- **Habilidades** para la aplicación del conocimiento, en las destrezas propias de la Medicina, en la toma de decisiones, idear soluciones, en el proceso y utilización en el manejo de información pertinente y actualizada, para la dirección y coordinación de equipos de trabajo, para la comunicación oral, escrita y gráfica,
- **Actitudes:** razonamiento lógico y analítico, disposición para trabajar en equipo, mantenerse actualizado de manera permanente, disposición en el manejo de riesgos a la salud, puntualidad/formalidad, buena presentación y asumir responsabilidades.

Aunque en general, los egresado/as manifestaron que la toma de decisiones es el aspecto más demandado y con una expectativa muy elevada, en contraste, el aspecto menos exigido es la habilidad de dirección/coordinación y administrativa.

Sugerencia de Modificaciones al Plan de Estudios

Los egresados/as opinaron que en general el Plan de Estudios es pertinente y congruente con las exigencias del mercado laboral; sin embargo consideran que es necesario abordar los contenidos y las prácticas con mayor amplitud, como son: la fase teórica del currículum, las prácticas de laboratorios, la práctica clínica, práctica de campo y desarrollo de habilidades en investigación e informática médica. Así mismo, opinan que los contenidos sobre ética, bioética y deontología deben mantenerse tal como está en el Plan de Estudios.

El 13% expresaron otros aspectos a considerar dentro del Plan de Estudios, como son: la disminución de la duración de la licenciatura, la evaluación del curso preuniversitario y dar mas créditos en el Plan de Estudios a aspectos sobre medicina de urgencias, farmacología e inglés.

PERCEPCIÓN DE LOS EMPLEADORES SOBRE LOS EGRESADOS DE LA FMH

Este apartado tiene como propósito conocer que tan satisfechas están las empresas empleadoras con el desempeño profesional de nuestros egresados, a través de las siguientes áreas:

- Currículo
- Competencias administrativas
- Liderazgo
- Responsabilidad social

Las empresas entrevistadas están satisfechas con el desempeño de los egresados, sólo tres de los doce indicadores de la variable se encontraron por debajo del 50%. El que ocupó el último lugar es el manejo de una segunda lengua, una explicación a esto es que en el plan de estudios que se evaluó, esta materia se lleva únicamente durante los dos primeros módulos.

El Área Curricular comprendió los siguientes aspectos:

1. Rol como médico
2. Búsqueda de información pertinente y actualizada
3. Solución de problemas médicos
4. Disposición para el aprendizaje
5. Comunicación oral, escrita y gráfica
6. Aplicación del conocimiento
7. Proceso de la información
8. Conocimientos generales de la disciplina médica
9. Razonamiento lógico y analítico
10. Manejo de paquetes computacionales
11. Conocimientos especializados
12. Inglés

Con relación a los conocimientos especializados, este es un aspecto que rebaza el ámbito del currículum de médico cirujano, en virtud de que éste corresponde al nivel licenciatura. Esta misma situación invita a reflexionar sobre la diversificación de PE's a nivel licenciatura relacionados con la salud para incluirlos en la oferta educativa de la FMH.

No obstante que el currículum vigente contempla dentro de dos módulos dos talleres de informática, en los cuales se capacita a los alumnos en el manejo de la paquetería básica, parecería ser que es insuficiente, y que este será un aspecto a sopesar a futuro, tanto para el programa de Médico Cirujano y de las nuevas ofertas.

Se considera que la formación para una segunda lengua y el manejo de las tecnologías de la información y comunicación, a partir de este análisis constituyen elementos importantes a considerar en el nuevo diseño curricular.

En términos de conocimientos, aptitudes, actitudes y valores que pretenden desarrollar en los egresados a partir del currículum, la cualificación

obtenida por parte de los empleadores resultó alta. En más de la mitad de los aspectos preguntados fue superior al 60% de muy o totalmente satisfecho.

El Área Administrativa se integró con los siguientes indicadores:

1. Identificación con la institución
2. Presentación
3. Relaciones públicas
4. Puntualidad y formalidad
5. Administración

Sólo uno de los cinco indicadores de la variable se mostró por debajo del 50%, el que se refiere a la administración. No obstante que el currículum de la licenciatura, el décimo módulo contempla contenidos sobre administración, el resultado no es el esperado por los empleadores. Los nuevos paradigmas a los que se enfrenta la salud, requieren de nuevas funciones de parte de los nuevos profesionales.

Tal vez esta situación se deba a la elevada carga de contenidos médicos del programa vigente y a la propia percepción que los alumnos tienen de las funciones de un médico; o bien, influido al concepto que los empleadores tienen sobre lo que es el proceso administrativo. Lo cierto es que, el egresado se enfrenta a nuevas actividades, que tal vez podrían ser responsabilidad de otro tipo de profesional relacionado con la salud.

Las otras funciones de tipo administrativo que realizan los médicos egresados fueron calificadas con un alto grado de satisfacción por parte de sus empleadores sobresaliendo la de identificación con la institución donde laboran.

El Área de Liderazgo estuvo conformada por los siguientes puntos:

1. Creatividad
2. Toma de decisiones
3. Trabajo en equipo
4. Coordinación de un equipo de trabajo
5. Liderazgo
6. Iniciativa

Sólo uno de los seis indicadores de la variable se mostró por debajo del 50%, el relacionado con la iniciativa. Llama la atención que los egresados se encuentran bien cualificados en creatividad y toma de decisiones. Ambas actividades requieren de iniciativa, por lo que resulta paradójico este hallazgo.

Los resultados sobre los otros indicadores fueron sobresalientes. Se llama la atención al trabajo en equipo y a la coordinación de un equipo de trabajo, lo cual es fomentado por el sistema modular. Se puede deducir

entonces que, los egresados de la FMH son eficientes dentro de su desempeño profesional como líderes en sus áreas de trabajo y son percibidos de igual manera por sus empleadores. Para la Facultad, esta situación es un indicador importante para continuar con la propuesta modular, centrada en el estudiante, con el desarrollo de competencias en alumnos y profesores, así como, estructurar la nueva oferta educativa bajo los mismos principios.

Responsabilidad Social contempló dos aspectos:

1. Manejo de riesgos
2. Manejo de problemas de relevancia social

Los dos indicadores considerados en esta variable se encuentran por arriba del 50%, este es un resultado esperado en virtud de que el trabajo de vinculación que se debe desarrollar en cada módulo; a la participación de los estudiantes, asesorados por docentes, en contingencias de salud y ambientales y a los programas de prevención, promoción y educación para la salud que se desarrollan a lo largo de la carrera.

CONCLUSIONES

La intención de este trabajo, fue evaluar el perfil de egreso del programa educativo de Médico Cirujano y realimentar el diseño o rediseño curricular del programa de estudios; un diseño que no pase por alto la influencia de la investigación biomédica y sus avances de diagnóstico y terapéutica; que tome en consideración la opinión de los egresados, de los empleadores y la participación de la diversidad cultural de la sociedad; que promueva los principios éticos y deontológicos y que favorezca la comprensión de la realidad social con sus dinámicas reconfiguraciones actuales.

Otro de los atributos deseables del diseño curricular a adoptar, es un enfoque educativo que conciba al estudiante como sujeto activo productor o constructor de su conocimiento; que desarrolle competencias para actualizarse a ritmo parecido con el que se produce el conocimiento en su disciplina.

A pesar de sus detractores, el enfoque de la educación basada en competencias podría adoptarse a un contexto tan particular como el de Chiapas, en su enorme y rica diversidad.

Es bastante claro que la Facultad de Medicina Humana, con alrededor de 40 años de vida, ha transcurrido por distintas etapas y se ubica en la mejora continua de la calidad; sin embargo, no es posible dejar de mirar en dirección a la pertinencia de su programa educativo de licenciatura; entender la importancia de lograr la participación de toda su comunidad y concientizarla de la necesidad de formar médicos altamente competentes.

Desde esta perspectiva es sumamente deseable que en la formación profesional de los médicos en la Facultad de Medicina Humana Dr. Manuel Velasco Suárez (FMH-UNACH), recupere la concepción del ser humano. En pocas palabras se trata de recuperar la esencia humana en su integridad, relegando la percepción utilitarista que el modelo de desarrollo capitalista ha inducido, devaluando al *homo sapiens* a simple *homo aeconomicus*.

El currículum, visto así, ha de promover el desarrollo humano, con sólidos principios morales, capaces de autogestionar su actualización disciplinaria, con rangos amplios de desempeño en distintos escenarios: desde el más rústico espacio rural con ausencia total de tecnología diagnóstica y terapéutica hasta el más sofisticado hospital de alta especialidad. Después de todo, la sociedad exige que los profesionales de la Medicina se desempeñen a la altura de la problemática de salud.

Si bien hemos aceptado que existen cambios favorables en la vida académica de la facultad, en el devenir histórico de la FMH-UNACH, no podemos negar la persistencia de ciertos atributos que actúan de manera negativa en la formación de los estudiantes de medicina y en general, deterioran la imagen de la institución, sin contar con los daños directos e indirectos a la salud de las personas derivada de la mala *praxis*.

En términos generales a partir de la opinión de los empleadores el perfil del egresado de este currículum cumple con las expectativas del mercado laboral. No obstante, también se identifican algunos aspectos de insatisfacción que deben mejorarse, o bien, la diversificación de la oferta educativa a fin de tener pertinencia con los Objetivos del Milenio y las transiciones epidemiológica y poblacional.

REFERENCIAS

- Alonso, C.** (2011). *Indicadores Básicos de seguimiento de egresados*. Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica.
- ANUIES. (2003). *Esquema básico para estudios de egresados en educación superior*.
- Barrón.** (2003). *Formación de profesionales y política educativa en la década de los noventa*. México: Instituto de Investigación sobre la Universidad y la Educación.
- Cuesy Ramírez, M. d., & Jiménez Pirrón, T. d.** (2010). *Estudio de empleadores, médicos egresados de la UNACH*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: Unidad de Divulgación Científica-UNACH.
- Díaz Barriga, Frida** (1995). *Empleadores de universitarios: un estudio de sus opiniones*. México, CESU-UNAM, Colec.: Problemas educativos de México.
- Facultad de Medicina Humana (1974). *Plan de Estudios de Médico Cirujano*. Universidad Autónoma de Chiapas.
- Facultad de Medicina Humana (1993). *Plan de Estudios de Médico Cirujano*. Universidad Autónoma de Chiapas
- Facultad de Medicina Humana (2013). *Plan de Estudios de Médico Cirujano*. Universidad Autónoma de Chiapas
- Mendoza R. Javier** (2002). *Transición de la educación superior contemporánea en México*. UNAM/Grupo Editorial Porrúa. México.
- Ontiveros, I.** (2006) *Seguimiento de egresados de la Licenciatura en artes visuales de la escuela de pintura, escultura y artesanías de la UJED*. México: UPD
- Rose, P.** (2012). *Los jóvenes y las competencias, trabajar con la educación*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura.
- Rubio, J.** (2006). *La política educativa y la educación superior en México 1995–2006: un balance*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Ruffinelli.** (2009). *Círculo de segmentación del sistema educativo chileno: destino laboral de egresados*. http://www.cned.cl/public/seccionpublicaciones/doc/64/cse_articulo832
- Ruiz, C.** (1997). *El reto de la educación superior en la sociedad del conocimiento*. México: ANUIES.
- SEP (2010). *Hacia la Construcción de un Sistema Nacional de Evaluación de la Educación Superior*. Secretaría de Educación Pública, México
- SEP (2013). *Programa Sectorial de Educación 2013-2018*. Secretaría de Educación Pública, México
- Trujillo Olivera, L. E.** (2005). *Los egresados del plan de estudios 1993 de la facultad de medicina humana de la UNACH*. Tuxtla Gutiérrez.

DOCUMENTOS
ACADÉMICOS

TURISMO CREATIVO

EXPOSICIÓN EN LA CÁTEDRA CHIAPAS DE TURISMO 2015

Mtro. Sergio Molina Espinosa

smolinaespinosa@gmail.com

Centro de Emprendimiento e Innovación de Chile

Para citar este artículo:

Molina, S. (2016) Turismo creativo. Exposición en la cátedra Chiapas de Turismo 2015.

Espacio I+D Innovación más Desarrollo 5 (12) 150-174. Recuperado de http://espacioimasd.unach.mx/suplemento/espacioimasd_espanol_12.pdf



LOS TURISMOS

El turismo como fenómeno social se expresa de diferentes maneras en la realidad. Por lo tanto no existe una categoría única de turismo, no hay una manera única de construirlo y de operarlo sino que es posible concebir distintas estrategias para su instrumentación, que a su vez terminan configurando formas de turismo diferenciadas entre sí. En otras palabras, hay diferentes modelos de turismo que, sin embargo, el colonialismo intelectual trata de ocultar. La idea de la existencia de un solo modelo de turismo, el industrial, es muchas veces autoimpuesta en diversos círculos de los países de América Latina.

Así como hay diferentes modelos de educación, también es preciso reconocer la existencia de los turismos, en plural, lo cual a su vez implica, entonces, la posibilidad de construir y operar diferentes modelos de turismo. Esta construcción no recae en el azar, sino que se deriva de la definición de políticas públicas y privadas deliberadas, que buscan un determinado tipo de resultados: impulsar el crecimiento económico, promover ganancias al capital, movilizar a las comunidades, distribuir o concentrar los beneficios económicos, o explotar recursos naturales de acuerdo al interés privado. Según como se categoricen, ordenen y valoren cada una de estas prioridades, se tendrá un modelo de turismo particular. El modelo de turismo resultante será el reflejo de un mayor o menor grado de democracia, de participación ciudadana y del valor que se le asigna a la comunidad local y a sus recursos.

Por extensión algunos modelos de turismo tendrán una mayor capacidad para impulsar procesos de desarrollo económico y social, y otros, en el extremo opuesto, mostrarán menos incidencia y compromiso con estos procesos, privilegiando, por ejemplo, las ganancias privadas y relegando a los actores locales a papeles secundarios, en el mejor de los casos, o bien excluyéndolos del proyecto de turismo. Hay modelos de turismo que promueven el ejercicio de los derechos de la ciudadanía, y otros, como el industrial imitativo, que aíslan o acotan los derechos políticos, y específicamente la participación social en los procesos de toma de decisiones.

Por lo tanto el reconocimiento de los turismos, o de los diferentes modelos de turismo, se ubica como un concepto central del desarrollo de las sociedades que recurren a él para avanzar hacia niveles más complejos y avanzados en los planos económico y social. Todos los modelos de turismo, independientemente de su tamaño, contienen un proyecto político, aunque se remarque en dimensiones que aparentemente no lo vinculen con esa realidad. Todo modelo de turismo implica un mayor o menor esfuerzo y costo para la sociedad y las comunidades. Mientras más tradicional sea una comunidad con la cual se relaciona un turismo de corte modernizante, mayores serán los desequilibrios, y más altos los costos que tendrá que asumir

esa comunidad. En tanto una comunidad tenga menos participación en las decisiones del turismo, mayores serán los costos que tendrá que absorber.

Cuando se habla de los turismos emerge un conocimiento más profundo y diferenciador de la realidad y de las estrategias de intervención para modelarlo, para construirlo. En este contexto los diferentes modelos de turismo condicionan desde las perspectivas y formas de planeación, hasta los quehaceres y la operación de servicios, y el tipo de vínculos concretos que tendrá con las sociedades y comunidades locales, al igual que las formas en que incorpora, utiliza y retribuye los recursos humanos, naturales y culturales que precisa.

Una primera conclusión consiste en que el turismo, y más precisamente cada uno de sus modelos, pueden instrumentarse con la finalidad de obtener dos categorías básicas de resultados:

- para que efectivamente promueva el desarrollo económico y social. En este caso el turismo se instrumenta como una vía al desarrollo y contempla dimensiones más amplias que el de la oferta de mercancías o productos. Se plantea como una experiencia cognitiva para residentes, visitantes y turistas;
- o bien puede construirse como una plataforma privilegiada de negocios orientada a generar beneficios privados, sin ocuparse mayormente por los efectos que propicia en el bienestar de las comunidades. En este caso el turismo se utiliza como un fin en sí mismo, donde lo importante es la explotación de los recursos a su alcance y el crecimiento de sus variables: número de cuartos hoteleros, número de turistas recibidos, inversión, gasto de los turistas, por ejemplo.

Reconocer la existencia de los turismos implica un avance extraordinario y una comprensión superior en comparación con el concepto o entendimiento de turismo, en singular, que insiste en la idea de que hay una sola forma de estructurar el turismo, con independencia de la realidad en la cual se inserta o pretende insertar. Si el discurso se limita al análisis y comprensión de una sola alternativa para entender la existencia del turismo, entonces una y otra vez tendremos que recurrir a las soluciones que nos ofrece el modelo industrial turístico, una y otra vez tendremos que identificar respuestas en las economías desarrolladas para traerlas a nuestra realidad, una y otra vez caeremos en la imitación. Así es como el desarrollo económico y social pasa a ser un espejismo en el horizonte.

Cuando hablamos de los turismos estamos reconociendo de partida la posibilidad de recurrir a diferentes códigos, paradigmas y caminos respecto del papel de las comunidades locales, de las formas de intervención de las

instituciones públicas y no gubernamentales, del uso de los recursos naturales y culturales, de la elaboración de experiencias para los visitantes y turistas, y también de la planeación y definición de las estrategias de negocios y de prestación de servicios.

Reconocer la existencia de los turismos implica una expansión sapiencial que rebasa las respuestas de la modernidad y del racionalismo para ir al encuentro de lo diverso y lo distinto, no sólo en relación a lo que el turismo es o puede llegar a ser a partir de plataformas técnicas y científicas aplicadas en todas sus dimensiones, sino que también considerando la experiencia concreta en que se encuentran las comunidades en las cuales se va a insertar, o a partir de las cuales se va a construir. Este conocimiento es muy valioso y suele no estar homologado.

Por el contrario, cuando entendemos la existencia del turismo, y más específicamente de la industria turística como posibilidad dominante y única, inevitablemente estamos desconociendo que la realidad se puede manifestar de diferentes maneras. Cada comunidad, cada sistema cultural y cada escenario natural cuenta con una pauta de desarrollo que le es propia, y que por ende es articulada con su entorno y profundamente armónica en sí. Aquí está el primer desafío del turismo creativo: entender las posibilidades de su desarrollo desde la realidad misma y desde la percepción y capacidad de gestión de sus actores. Reconocer lo anterior resulta fundamental para asumir la condición humana de los individuos y sus comunidades, y a partir de esta condición definir expectativas de desarrollo y crecimiento, estrategias, programas y proyectos.

Sin embargo la industria turística se instala con la arrogancia de sus certezas y perspectivas en los más disímiles escenarios económicos y sociales. De esta manera se erige como la única opción, la vía exclusiva y la solución que conduce al desarrollo económico y social. Así es como ministerios, secretarías de Estado y diversos organismos empiezan a imitar, a racionalizar y a adoptar creencias, prácticas, usos y artefactos originados en los países desarrollados, que plantean directrices sobre cómo se debe conducir la política turística, cómo se debe construir un destino turístico, y también aquello que los turistas y las comunidades locales necesitan.

Esta arrogancia suele estar suficientemente acreditada e incluso certificada por instancias internacionales como la Organización Mundial de Turismo o por universidades, centros de investigación y consultorías de prestigio.

El turismo creativo surge como una respuesta propia, originada a partir de un diálogo entre los actores locales, entre éstos y su entorno, y con sus socios estratégicos. Esta red co-creadora conduce a situaciones imprevisibles si nos ubicamos en un punto de partida determinado, pero también atrae y se apropia de lo más importante, de los componentes básicos que debe integrar un auténtico desarrollo. También valora la experiencia y percepción

de las comunidades, sus talentos y capacidades y sus necesidades de desarrollo económico y social. El turismo creativo es el proceso y el resultado que obtiene una comunidad que observa los desafíos que le plantea su propio desarrollo, que con valentía identifica aquello que le hace falta y desecha aquello que es un simple sucedáneo. El turismo creativo es el vehículo para burlar las promesas del falso desarrollo que representa el turismo industrial.

A continuación se incluye un esquema con cuatro tipos básicos de turismo (al cual se le suma el turismo creativo) que se han ido desplegando con el desarrollo de las sociedades.¹

Cada uno de ellos posee características predominantes que lo hace diferenciable de los restantes, pero aun así a veces la frontera entre un modelo y otro se hace un tanto difusa debido a que comparten ciertos rasgos. No existe por lo tanto un modelo que reúna componentes, estructuras, funciones y relaciones con el entorno que sean totalmente excluyentes de los otros, sin embargo un análisis más detenido y reflexivo lleva a detectar las diferencias entre unos y otros.

Lo anterior se explica porque un modelo de turismo representa la plataforma para el desarrollo y expansión de otro más avanzado o acabado. Este sentido de evolución le confiere al turismo un comportamiento dinámico en el tiempo, el cual se va expresando en procesos de convergencia y en síntesis cada vez más complejas e integradoras que se originan en las grandes transformaciones de las sociedades.

Preturismo

Esta etapa de la evolución del turismo se caracteriza porque la prestación de servicios y los niveles de organización de las empresas y los destinos son generalmente artesanales. Mesones y posadas, servicios informales de guía de turistas suelen dominar las prestaciones orientadas a los viajeros. Se aprecian los primeros intentos de organización entre empresas para llevar a cabo labores de promoción. La demanda de servicios asociados al turismo está limitada a sectores minoritarios de la sociedad. El Estado participa en actividades marginales como el registro de entrada y salida de turistas extranjeros, actividades aisladas de promoción y ciertos eventos de capacitación.

Turismo industrial

Su auge inicia en la década de los cincuenta del siglo XX, propiciado por reformas legales que lo favorece, tal es el caso del reconocimiento de las va-

¹ Cada uno de estos modelos de turismo han sido tratados extensamente por el autor en sus diferentes obras.

caciones pagadas y el aumento de las facilidades fronterizas, que tienen lugar en los países desarrollados en primera instancia. En esta etapa el turismo se masifica y globaliza a partir de la aparición de empresas y consorcios integrados verticalmente, y de la intervención del Estado en labores de planificación, fomento, coordinación, promoción y educación. Las principales motivaciones de los turistas se relacionan con el descanso y la diversión. El turismo de sol y playa forma parte de la oferta principal, especialmente en el mar Mediterráneo. Desde allí se extiende a otras latitudes del planeta.

Turismo posindustrial

Representa un desprendimiento del turismo industrial masificado y altamente uniformizado. Se trata de un turismo que retoma prácticas asociadas a la naturaleza y a la cultura. Responde a cambios de vida en la sociedad, a la expansión del ecologismo y la sustentabilidad como valores emergentes, pero también se basa en el asociacionismo y en la búsqueda de una mayor diferenciación de las ofertas. De hecho gran parte de sus ofertas están vinculadas a valores e intereses de las comunidades locales, que en este contexto adquieren un mayor protagonismo relativo. El Estado lo apoya como parte de un turismo alternativo al industrial, puesto que este último sigue ocupando una posición dominante en las políticas públicas y marca los intereses de las iniciativas empresariales.

Posturismo

Es un turismo típico de la cultura posmoderna, que instala y ofrece destinos creados por el hombre, caracterizándose por un fuerte componente tecnológico. A diferencia de todos los modelos de turismo anteriormente mencionados, no mantiene relaciones con los escenarios naturales y la cultura local. Son ejemplos representativos del posturismo las ofertas de entretenimiento en Las Vegas y los parques temáticos que convergen a caracterizar la oferta de ciudades como Orlando, en los Estados Unidos. En este modelo el Estado desempeña un papel subsidiario, puesto que la planeación de las enormes ofertas de equipamiento e infraestructura, y la promoción y desarrollo de mercados recae en corporaciones privadas con fuerte respaldo de capital.

Turismo creativo

Es un turismo basado en la creatividad, la innovación y la participación activa de la comunidad organizada en redes constituidas por actores locales. Las decisiones vinculadas al modelo de turismo se derivan de las

percepciones, conocimiento y experiencias de los actores locales, sus socios estratégicos y partes interesadas.

El turismo creativo responde a los nuevos referentes de la cultura posmoderna, el postracionalismo y el socio constructivismo, que convergen hacia la creación de realidades altamente diferenciadas. La participación del Estado resulta importante, pero la comunidad local es la principal instancia de toma de decisiones en todo lo referente a las estrategias y escenarios a futuro del turismo. El turismo creativo se concibe como un instrumento del desarrollo económico y social, no como un fin en sí mismo. El turismo creativo se basa en procesos no competitivos, que sin embargo rebasan los modelos de competitividad. El turismo creativo está en condiciones de crear condiciones diferenciales en lo humano, económico, social y político.

Conceptos básicos de creatividad e innovación

Crear involucra todas las dimensiones de la persona y de los grupos humanos. Moviliza y organiza la inteligencia racional, post racional y la emocional, ajusta las conductas, reordena los vínculos sociales, le da nuevo significado a la cultura y enriquece las perspectivas éticas y morales de las personas y del grupo que asume un compromiso de transformación de su realidad. Crear es un motor de experiencias significativas en diversos ámbitos; en el caso del turismo la creatividad debe irrumpir para derribar el espejismo del falso desarrollo que promueve la industria turística. Crear permite estructurar conocimiento sinérgico e impulsa mejores prácticas originales, genera beneficios y los distribuye de acuerdo a un concepto más ajustado a lo que se entiende por justicia social. La creatividad, en los términos que plantea el turismo creativo, genera aprendizaje social de valor encaminado a romper el aislamiento que crea la marginación social. También debe prestarse para potenciar y para jugar con lo diferente.

La creatividad debe manifestarse en los espacios cotidianos, en las relaciones de intercambio y en el crecimiento de la autonomía social e individual. Por ello es que la creatividad conlleva a una nueva dimensión ética y no se restringe solamente al establecimiento de una lógica y valores de producción diferente.

Ser creativo es buscar lo divergente, la bifurcación en el camino, es descubrir formas de pensar y de hacer diferentes a las tradicionales, es insertarse o reinsertarse con una nueva perspectiva. Si los poderes fácticos luchan por atajar lo divergente y consolidar el paradigma de la industria turística, la creatividad se afirma en la divergencia para construir una nueva estructura de relaciones políticas, sociales, económicas y personales.

Innovar es también renovar lo existente, es darle una nueva estructura a los productos y servicios, que permita o facilite nuevas funciones y cons-

truya nuevos significados, que facilite el aumento de la productividad, que impulse una planeación dialogante o que esté en condiciones de generar nuevas prestaciones a un determinado grupo de usuarios. En el campo del turismo esta renovación tiene que hacerse de acuerdo con el reconocimiento de las realidades vinculadas a los destinos turísticos, esto es, de acuerdo con las capacidades y talentos disponibles en las comunidades locales, con el patrimonio natural y cultural existente y además congruente con las capacidades institucionales y empresariales, sin olvidar una retribución justa y ética a los actores locales.

Cada uno de estos factores, y las relaciones entre ellos no deben observarse de manera estática o detenidos en el tiempo, sino que bajo una perspectiva dinámica, es decir que se puedan potenciar, mejorar y encauzar hacia un proyecto integralmente innovador y por lo tanto no sujeto a las mareas de los mercados de competencia, a las modas, a las perspectivas de los grupos políticos que eventualmente ocupan el poder y a los intereses empresariales de siempre.

La creatividad es un talento humano que en los mercados de competencia imitativa está bloqueada, puesto que las capacidades humanas se encuentran enfocadas en un esfuerzo de apropiación de lo que pertenece a un competidor líder en el mercado. En este marco las habilidades profesionales y personales se focalizan en descubrir aquello que puede ser útil, esté donde esté, y no en aquello que es resultado de un proceso de creatividad propia.

Crear es, entonces, desarrollar una nueva visión del desarrollo económico y social en cuyo contexto se van a insertar actores y ofertas, roles y beneficios. Crear conduce necesariamente a una diferenciación con respecto de la realidad convencional, o más específicamente de la realidad de mercado generada por los paradigmas de la competitividad industrial turística.

Los mercados de innovación creativa son radicalmente diferentes a los mercados competitivos industriales, y por lo tanto las premisas y reglas que los estructuran son, también, de naturaleza diferente. En consecuencia el turismo creativo no es un turismo alternativo al industrial. Es un modelo en sí mismo, que responde a distintos valores y que ordena actores y recursos en una lógica cualitativamente diferente, más compleja y superior.

Como hemos ido señalando a lo largo del presente texto, todo proceso de desarrollo turístico creativo debe considerar factores o criterios que se valoran como indispensables. Ahora nos vamos a enfocar en algunos de los retos específicos que plantean los procesos que valoran a la creatividad como núcleo central de un modelo de desarrollo. En primera instancia, la creatividad de los actores y sus socios estratégicos debe ser administrada – lo cual no significa que tenga que ser mediada – por instrumentos que promuevan la deliberación, la participación, la autonomía y el consenso.

Esos instrumentos corresponden a las técnicas participativas de planeación, tal como se verá más adelante.

El turismo creativo está en condiciones de movilizar enormes recursos adicionales a costos relativamente bajos, generando transformaciones de gran alcance. Sin embargo, las iniciativas para promover su instalación y desarrollo precisan reconocer la existencia de un conjunto de obstáculos e intereses contrarios que surgirán en el camino de su configuración. Pero también juegan a su favor la naturaleza básica de cualquier sistema en el cual pretenda insertarse, que se sintetiza en las siguientes premisas:

- Todo tipo de limitación o restricción es modificable, esto quiere decir que todas las estructuras, por muy cosificadas que parezcan, están sujetas a transformaciones por acciones derivadas de intervenciones concretas;
- Las restricciones que plantea el turismo industrial son sistémicas, es decir, tienen que ver con el conjunto de variables propias de la actividad, y además con una serie de fuerzas interconectadas que operan desde fuera, desde su entorno. Por ello los esfuerzos de cambio deben abarcar tanto el sistema focal como las variables incidentes que presionan desde el entorno.

La creatividad y la innovación requieren un enfoque sistémico, es decir, la participación e interacción de un amplio conjunto de actores, incluyendo a la comunidad local y a instancias relacionadas directa e indirectamente con ella y con el turismo. Por extensión, para estimular el desarrollo de este modelo se requiere establecer una red de actores y socios estratégicos, que rebasa por mucho los límites sectoriales y las capacidades de las instituciones y organizaciones adscritas al turismo.

El funcionamiento en red brinda grandes ventajas para aumentar la incidencia del turismo en los procesos de desarrollo de la sociedad que lo acoge. En primer lugar en la mayoría de los países de América Latina el turismo suele emprenderse como una actividad con débiles vínculos intersectoriales, de manera que este hecho lleva a un notable desperdicio de capital social ampliamente distribuido en el territorio. Por otra parte el relativo aislamiento del turismo en relación con otros quehaceres dificulta la renovación, produciéndose con ello un continuismo peligroso en términos de políticas y estrategias.

La participación de las universidades y centros de investigación, como productores y distribuidores de conocimiento, puede contribuir de manera significativa a crear decisiones y capacidades diferenciadas. Así se transforman en instancias facilitadoras del cambio en diferentes espacios y ámbitos. Sin los centros educativos y de investigación de nivel superior no es posible

fortalecer la innovación y creatividad. En el marco de la competitividad imitativa el papel que desempeñan estas instituciones es secundario, e incluso comúnmente no se las considera más que como proveedoras de recursos humanos para atender las necesidades de trabajos rutinarios, especialmente en la esfera de los negocios privados. En el modelo de competitividad imitativa los centros de educación superior son prácticamente marginados ya que la producción y divulgación de conocimiento científico y tecnológico tiene un bajo valor agregado. Se considera que es preferible y más barato copiar, importar conocimientos y asimilar experiencias que movilizar recursos propios para producirlas.

Si bien la ruta de la creatividad y la innovación exige tiempo para desarrollar sus efectos positivos, y asimismo para transmitir y asimilar las destrezas requeridas para operarlas, no es menos cierto que una vez concluido este proceso la oferta turística adquiere atributos diferenciados que potencian su inserción en los mercados.

Otro elemento importante del modelo innovador creativo consiste en el valor agregado que se deriva de una perspectiva y gestión transversal, que rebase la concepción sectorial con que se ha enfrentado tradicionalmente el desarrollo del turismo. La alianza con otros agentes políticos, económicos y sociales, y su enlace con diferentes intereses facilita la puesta en marcha de programas y proyectos con un más amplio impacto en el desarrollo. Un ejemplo de ello es la integración entre los sectores del turismo y la cultura: el turismo obtiene de ella recursos patrimoniales y contenidos, y la cultura se beneficia de la captación de recursos financieros.

Principios del turismo creativo

El turismo creativo se fundamenta en siete principios básicos que se relacionan entre sí, creando a su vez sinergias o relaciones e interacciones que los potencian. Estos principios se manifiestan y están presentes en todo el proceso que abarca su conceptualización, desarrollo y operación. Los principios son los siguientes:

- Abundancia;
- Multidimensionalidad;
- Sincronicidad;
- Colaboración;
- Ubicuidad o no localidad;
- Reconexión;
- Comunicación.

Veamos a continuación los conceptos y significados básicos que integran cada uno de estos principios, sin perjuicio de su continua revisión y ampliación a lo largo de la presente obra.

Abundancia

Se refiere a que todos los recursos, capacidades y posibilidades existen y están disponibles allí donde se precisan. Este principio se fortalece con la creatividad y el trabajo asociativo, que hacen emerger diversos y variados recursos tangibles e intangibles.

Multidimensionalidad

El turismo creativo abarca todas las dimensiones de la realidad humana, por lo tanto no se limita a privilegiar las dimensiones económicas sino que además de ella y en similares niveles de importancia, valora e incorpora las dimensiones sociales, políticas y espirituales.

Sincronicidad

El trabajo orientado a la construcción del turismo creativo se fundamenta en la alineación y coordinación inteligente de fuerzas, capacidades y recursos. Ello crea las bases que permiten y facilitan el surgimiento de nuevas realidades, acordes con aspiraciones individuales y grupales.

Colaboración

Establece que el trabajo en red, de los actores locales y de sus socios estratégicos, proyecta los esfuerzos individuales hasta dimensiones, resultados y alcances no previstos por la actuación fragmentada e individual.

Ubicuidad o no localidad

Asegura que los recursos para crear una nueva realidad, como la que propicia la emergencia del turismo creativo, y que se relaciona con el desarrollo económico y social, estén disponibles independientemente de las condiciones existentes en un estado inicial dado.

Reconexión

Enfatiza en la importancia de establecer y consolidar vínculos con las raíces locales, con los recursos disponibles y con el establecimiento de estrategias ideadas y manejadas localmente.

Comunicación

El esfuerzo de materialización de proyectos de turismo creativo se fundamenta en intensos procesos de comunicación entre los diversos actores, denominados los incumbentes. Ellos concurren, con sus competencias y visiones, a participar en iniciativas creativas con impacto efectivo en el desarrollo económico y social a nivel local.

Operativización de los principios del turismo creativo

El turismo creativo no es sólo un modelo orientado a hacer eficientes determinados procesos productivos o el desarrollo de ofertas turísticas singulares con la finalidad de que sean puestas en el mercado. Si así fuera se trataría de un modelo fragmentado con su entorno social, e inconcluso desde su misma definición. El turismo creativo comprende dimensiones más complejas y expandidas, pero no por ello consiste en un modelo inalcanzable y difícil de operar por parte de las comunidades, instituciones públicas, empresarios y emprendedores, gremios y organismos de carácter no gubernamental. Se trata de una estrategia de turismo accesible, cualquiera sea la condición de la comunidad en cuyo contexto se fomenta.

El modelo de turismo creativo se concibe desde una amplia plataforma que comprende los siguientes conceptos que es preciso operativizar o gestionar:

- aprovechar la abundancia local, lo cual significa que todos los elementos o recursos para diseñar un modelo rupturista y diferenciado de turismo, existen o se pueden crear a un costo comparativamente más bajo que si se importaran o adoptaran de otras realidades económicas y sociales. La abundancia local de recursos favorece la generación de nuevas realidades, y además crea las condiciones para reimpulsar el proceso de desarrollo sobre bases más firmes.
- Permite el surgimiento de oportunidades para amplios sectores de población y de este modo extender el bienestar, lo cual sería imposible con los modelos económicos tradicionales basados en la escasez. En este marco el turismo creativo, incluso desde antes de

su instalación, objeta la realidad imperante, cuestiona a los actores locales para hacerlos conscientes de sus oportunidades, para que asuman conciencia de sí.

- El turismo creativo combate el olvido o relegamiento de sí mismo, conmina al otro a cuidarse, empuja a todos a crecer en los diferentes ámbitos de la realidad en la cual se desenvuelven. Este turismo sólo puede construirse si previamente se han diseñado espacios de encuentro. El turismo creativo conlleva un mensaje para las personas y las comunidades: que ellas importan, que las personas son importantes, que hay interés por ellas.
- La abundancia existe y está al alcance de cualquier comunidad o grupo social, pero debe ser administrada y gestionada, contar con respaldo institucional público y del sector social, y también con participación del empresariado. Menospreciar los recursos locales es una manifestación de la doctrina de escasez. Esta desvalorización es inherente a la industria turística, la cual suele adherir la escasez a la gestión de empresarios y autoridades locales.
- Crear e incorporar conocimiento local en todas las áreas donde sea posible. El conocimiento y las habilidades de gestión están ampliamente diseminadas en todos los sectores sociales y en una amplia diversidad de conglomerados urbanos, independientemente de su tamaño y grado de desarrollo. En cuanto se detona esta dinámica empezarán a hacerse más evidentes las grietas de los sistemas adoptados desde el exterior, y en paralelo iniciará la caída de algunas estructuras obsoletas enquistadas en la realidad local. Los primeros grandes cambios se notarán en el sistema de valores de la sociedad local, ya que se reposicionarán las personas, la tradición, los recursos naturales y culturales, las formas de organización y los modos de hacer propios, al igual que la idea de progreso, los vínculos entre actividades productivas con la naturaleza y la cultura.
- Es preciso dar impulso dirigido a construir, fortalecer y multiplicar los liderazgos locales allí donde sea necesario. Este planteamiento implica también el desarrollo de liderazgos transversales, es decir, que contemplen actuaciones y decisiones que no se aíslen en el sector turismo.
- También el modelo de turismo creativo se apoya en el diseño de un sistema social y productivo integrado, que se constituya en la base a su vez de un sistema turístico que funcione en red. Así se agrega valor que el sector turismo, cualquiera sea el modelo, es incapaz de producir por sí mismo y para su propio beneficio, pero que actores de otros sectores lo pueden proporcionar a bajo costo. El turismo construido por los actores tradicionales (el Estado subsidiario, los

empresarios que sólo buscan sus ganancias, principalmente) es ya un anacronismo y una incompetencia, como toda la propuesta del modelo turístico industrial. Este modelo resulta en un esfuerzo que genera cada vez mayores costos y menores beneficios en términos del desarrollo económico y social. La ampliación del número de actores favorece el diseño de un turismo basado en procesos creativos, e impulsa el abandono de un modelo de turismo que crea dependencia, profundiza desequilibrios, y que facilita accesos privilegiados a la riqueza y a los recursos. Si el turismo industrial desarticula las fuerzas locales, el turismo creativo crea convergencias. Si el turismo industrial comoditiza sus ofertas y crea perspectivas únicas, el turismo creativo las descomoditiza y abre los espacios para las variantes y las bifurcaciones.

- El turismo creativo exige una mayor eficiencia de las instituciones del Estado, lo cual requiere además un nuevo planteamiento de las prioridades, atribuciones y desarrollo de capacidades de los funcionarios y especialistas técnicos. Sin embargo, no hay que olvidar que los proyectos del turismo creativo emergen desde la comunidad y pasan a través de las instituciones del Estado para su instrumentación.

El modelo de turismo creativo se posiciona como una actividad productiva a largo plazo, durable, llevada a cabo en una escala controlable, basada en la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente natural, utilizando los recursos culturales como sistemas vivos y en evolución. Se trata de un modelo sinérgico impulsado por diversos actores, encaminado por decisiones grupales, incorporando como recurso relevante al capital humano, no sólo por sus habilidades profesionales, sino de aquellas personas que atesoran conocimientos tradicionales que se pueden realizar aportaciones significativas. Este modelo abre paso a los innovadores, a los creativos. Estas personas comunican y ayudan a crear valor.

En este sentido el turismo no descansa en la dotación de recursos naturales y culturales, sino que en la creatividad, el manejo de información, la capacidad de negociación y las competencias de gestión de las organizaciones y de las personas para trabajar en colaboración, en el contexto de negocios de orquestación.

Bases epistemológicas del turismo creativo

Desde la perspectiva de evolución de los procesos, la industria turística es el modelo que antecede al turismo creativo. La industria turística fue el modelo dominante durante la mayor parte del siglo xx, hasta que en la década de

los ochenta surgieron nuevas perspectivas y soluciones a instrumentar en el marco de las corrientes del posmodernismo y del llamado post racionalismo.

La industria turística se inserta en el contexto de la modernidad y del pensamiento racionalista científico, el cual afirma que la realidad es objetiva, razón por la cual además de estructurada es la misma para todas las personas, para todas las sociedades y culturas. A partir de esta conclusión el modelo de la industria turística se desplaza de un entorno a otro, de los espacios altamente desarrollados a los territorios marginales, imponiendo sus lógicas conceptuales y sus prácticas. Es, en este contexto, una vía segura hacia el desarrollo.

Sin embargo en el marco del post racionalismo, el turismo debe construirse en el marco de un nuevo entendimiento del ser humano, de la realidad y de las relaciones entre estos con su entorno. Esta forma emergente de pensamiento no descarta al racionalismo, pero lo concibe como un instrumento más; ya no es el faro que guía las concepciones y las intervenciones de los individuos y sus grupos de referencia. De esta manera, desde la perspectiva del post racionalismo, la industria turística se posiciona como un modelo o una comprensión de lo que es el turismo en una determinada realidad, pero de ninguna manera lo anterior equivale a situarlo como una propuesta única y rectora que lo valide para ser instalado en otros entornos o realidades. El turismo, entonces, adquiere la estructura y las funciones que los actores de una determinada realidad social le atribuyen.

En consecuencia, a partir del horizonte del post racionalismo la industria turística, orgullo de muchos gobiernos e inversionistas privados, y espejismo para diversas comunidades, constituye una manifestación caduca y rebasada, que no responde a la evolución de los sistemas sociales y políticos y a las formas de pensamiento que han irrumpido desde la década de los ochenta del siglo pasado. Por ello, en este contexto la industria turística es incapaz de resolver los retos del desarrollo y la mejoría de la calidad de vida de la población.

Sin embargo el modernismo y su vertiente racionalista se han encargado de crear un mito potente sobre la capacidad de la industria turística: que es suficiente para combatir el subdesarrollo, y que está en condiciones de superarlo.

El posmodernismo y el post racionalismo critican esta creencia o planteamiento. También lo hace la nueva epistemología empírica. En su contexto empezamos a expandir nuestra conciencia sobre aquello que llamamos realidad. La realidad deja de ser una entidad objetiva y pasa a ser co-dependiente de nuestra manera de percibirla, de ordenarla y de entenderla. Por lo tanto el supuesto en el que descansa la industria turística, es decir, que es un modelo que puede promover el desarrollo dondequiera que se instale, es falso. Así, la realidad no es una entidad que esté dada para el observador, o

que exista independientemente de él. El observador ya no es una persona neutra sino que el observador interviene para construirla o co-construirla en colaboración con otros observadores. De allí el carácter participativo² del turismo creativo, que requiere un Estado que asuma un papel de liderazgo y proactivo, que sea responsable y persistente, pero que también impulse la autonomía de las comunidades. El turismo creativo, como proceso de la posmodernidad, establece que los observadores actúan para construir una realidad, identifican las variables para hacerlo y las ordenan.

La significación y construcción de la realidad pueden contener atributos subjetivos determinados a partir de una experiencia, lo cual se considera como enteramente válido. Para el post racionalismo el conocimiento, que es una representación de la realidad, tiene las siguientes características:

- Es emocional, lo cual quiere decir que las emociones desempeñan un papel muy importante en el esfuerzo por construir la realidad, por categorizarla y jerarquizarla.
- Es sensorial; por lo tanto también se integra con la concurrencia de los sentidos.
- Es perceptual; valida las percepciones de los actores u observadores, aunque no estén probadas desde el punto de vista del racionalismo empírico.
- Es motor, es decir, activa y moviliza a los actores en una dirección determinada, que a su vez es seleccionada por ellos.
- Es conductual, debido a que norma la conducta de los actores y sus estrategias de construcción e intervención en la realidad, de acuerdo a objetivos compartidos, consensuados y previamente identificados.

La realidad que se pretende transformar requiere, como hemos dicho, un proceso de ordenamiento y una significación que es otorgada por los observadores y actores, no por los planificadores tecnocráticos y centralizadores como ocurre en el racionalismo que impregna el modelo industrial turístico. En el proceso de desarrollo del turismo creativo, los expertos en turismo, planeación y otras materias, son mediadores, como todo aquel que no proviene de la comunidad en la cual se manifiesta.

El post racionalismo comprende al constructivismo como su pilar epistemológico. En este sentido, en el constructivismo la persona, o los actores y sus socios, crean de manera activa su propia realidad; no permiten que su

² Al respecto, véase el artículo *Hacia un turismo participativo*, escrito por el autor en la revista *Servicio*, publicado en México, Distrito Federal, en 1980.

realidad sea creada por una intervención externa como ocurre con el modelo industria turística. En un sentido más preciso, no hay desarrollo económico y social si se espera que otros lo construyan y lo transfieran.

El constructivismo posee dos fuentes básicas:

- Teoría de sistemas³, que concibe al turismo, en este caso, como un todo, como un sistema abierto y dinámico sujeto a trayectorias probabilísticas y modificables. Por lo tanto todo turismo manifiesta inercia, entropía e incertidumbre. Pero también todo turismo afirmado en raíces locales puede crear cualidades emergentes e impulsar procesos de diferenciación y desarrollo.
- Cibernética de Segundo Orden, que se ocupa de los sistemas observantes, es decir, del observador que observa su propia observación con la finalidad de construir una realidad. Esta observación se encuentra permanentemente articulada con procesos de homeostasis o de corrección de las desviaciones del sistema. Por ejemplo, si el turismo se desvía hacia conductas degradantes generadas por los turistas, y ello trae un impacto negativo en las comunidades, los actores intervienen para corregir tales desviaciones, para que así el turismo no se aparte de los objetivos que persigue en términos de desarrollo económico y social.

Cabe señalar que hay una Cibernética de Primer Orden, que trata sobre los sistemas observados. Esta perspectiva es, desde el punto de vista de la comunidad, congruente con la instalación y observación de la industria turística como estructura ya dada, ya construida, puede conducir –en el mejor de los casos– sólo a hacer más eficiente el sistema observado, es decir, el modelo de la industria turística, pero en ningún caso está en condiciones de transformarlo. Es el caso de las comunidades locales o incluso de las regiones y países que lo reciben; aquí las intervenciones locales no pueden hacerlo funcional a los objetivos del desarrollo local, por ejemplo.

En el mejor de los casos las comunidades sólo pueden validarlo, legítimarlo, como ha ocurrido con frecuencia. Mientras la lógica mecanicista de la industria turística es disfuncional al cambio, oponiendo barreras e incentivos diversos para dificultarlo, el turismo creativo no se puede explicar sin él, y sin la puesta en marcha de procesos facilitadores. El turismo creativo atiende a los cambios que precisan la sociedad y las comunidades. Si bien significa un adelanto y un modelo que se alinea y se encamina a resolver

³ Al respecto, véase el texto *Un Nuevo Tiempo Libre*, escrito por Sergio Molina, Roberto Boullón y Manuel Rodríguez Woog, cuya primera edición fue publicada por Editorial Trillas, en México, Distrito Federal, el año 1983.

retos pendientes y emergentes, no está exento de traer consigo consecuencias no deseadas, incertidumbres y retrasos.

Hay un elemento o una fase central en la dinámica de los sistemas, al cual se denomina catástrofe. Ésta consiste en la interrupción o cambio radical en la trayectoria de un sistema.

En el contexto del post racionalismo la catástrofe se valora como una oportunidad de cambio, y no necesariamente como un evento negativo. Para la industria turística la catástrofe es un evento negativo en cualquier circunstancia, porque significa pérdida de estabilidad, una irrupción del desorden, un cambio en las reglas del juego. Todos estos eventos constituyen una amenaza para la industria turística. La catástrofe o interrupción de la trayectoria histórica de un sistema, brinda posibilidades para reconstruir el turismo en el marco de las concepciones post racionalistas y posmodernistas. Por ello es que el turismo creativo puede instalarse allí donde el turismo industrial se ha degradado y perdido, incluso, viabilidad, o bien donde se ha comprobado su completa incapacidad para promover el desarrollo, encendiendo e impulsando conflictos sociales de diversa índole. En este caso el turismo puede construirse sobre nuevos fundamentos, independientemente de su trayectoria histórica y de los problemas que haya creado en una comunidad.

Empero, el turismo creativo no se basa en un modelo único que pueda ser reproducido en diferentes ámbitos. Si bien la creatividad conforma un poder no local, el turismo creativo que funciona con éxito en una localidad puede fracasar en otra de similares características.

Las ciencias del turismo creativo no son exactas. Hay muchas plataformas para fundar un turismo creativo en una comunidad. Cada comunidad tiene derecho a escoger el turismo creativo que quiere para sí; cada comunidad puede seleccionar la vía que le parece más adecuada para mejorar sus condiciones de vida. Cada comunidad tiene habilidades y recursos distintos, y metas que también lo son. El turismo creativo se basa en actos de libertad y de autonomía, en el ejercicio pleno de los derechos de los ciudadanos. Cualquier turismo que no cumpla con estos requisitos será un turismo que viene desde afuera para imponer sus objetivos, sus reglas de operación, y el papel que deben desempeñar los actores locales y la comunidad, que pasan a formar parte de un amplio sector: los «asimilados», los adherentes a un modelo que no es ni será de su conveniencia a largo plazo.

La pobreza y la marginación crean altas barreras para la instalación del turismo creativo, sin embargo se pueden superar con la participación responsable de instituciones públicas, de organismos no gubernamentales y de empresarios y emprendedores, además del conjunto de la comunidad. Estos actores y socios deben proporcionar perspectivas y herramientas para empoderar un proyecto de turismo creativo. Deben evitar las soluciones

preconcebidas. La marginación y pobreza no puede utilizarse como un argumento para desplazar a los grupos que se hallan en estas condiciones. El turismo creativo debe estar vinculado a la historia de las interacciones intracomunitarias, con los recursos del entorno y las expectativas de los observadores-actores. No puede haber desarrollo sin apegos entre ellos, y menos aún, sin involucrarlos.

Los políticos tradicionales conforman una alta barrera para el turismo creativo. En general los políticos no tienen la más mínima idea sobre los modelos de turismo y sus impactos. Normalmente se apresuran por apoyar el crecimiento de la industria turística, ignorando las formas en que se relaciona con la sociedad y comunidades específicas. No se trata de que los políticos conozcan las tendencias del turismo, porque con toda seguridad serán referidos a las tendencias de la industria turística. Tampoco puede resultar difícil hacer ver a los políticos tradicionales que la industria turística concibe a las comunidades locales como grupos de “asimilados”.

Hay que conducir la mirada de los políticos a nuevos modelos, como es el caso del turismo creativo. Hay que educarlos en formas de actuar que contribuyan a generar nuevos objetos en el ámbito de la infraestructura, el equipamiento y en las estrategias de organización e intervención. Así también contribuirán a generar nuevas implicaciones políticas, económicas y sociales. Mover las barreras al desarrollo también implica liderazgo, constancia, persuasión y coraje de quienes promueven un modelo diferente. Los políticos tradicionales suelen poseer un severo déficit de conducción.

El turismo creativo no nos sitúa como meros seguidores de las tendencias del turismo mundial. Este papel de seguidores es la pretensión que estimula la Organización Mundial de Turismo en los países de América Latina. El turismo creativo considera que la identidad es su parte sustancial, y ésta varía de una comunidad a otra. Para desarrollar su identidad cada una de las comunidades debe poner en marcha y desplegar su creatividad, que es la síntesis de todas las capacidades de sus integrantes y de sus socios estratégicos (instituciones del sector público, empresarios, Ong's y consumidores).

El turismo creativo es disruptivo en relación al turismo de la industria turística. No es una tendencia resultante de la evolución del turismo industrial, pero puede aprovechar muchas de las bases con que opera, como los mercados creados por la industria, y su experiencia en términos de estrategias y acciones de promoción y comercialización. Hay, empero, muchas arquitecturas y significados en estos campos que es necesario desechar.

El turismo creativo abre las compuertas para que las comunidades aprendan sobre sus modos de ser, entender y actuar en relación al desarrollo, el progreso y el bienestar. Así es como activan sus vidas, orientan sus aspiraciones, y movilizan sus habilidades y talentos. Si la industria turística busca legitimar la invariante, el turismo creativo representa el dato de lo

diverso, busca crecer y evolucionar en base a otros códigos y paradigmas. El turismo creativo se ancla en quienes somos visibilizando todo aquello que nos hace falta más allá de los límites de la agenda productiva. Así es como converge hacia el «modelo de desarrollo» que dictan las pautas propias de la vida comunitaria en el litoral oceánico, en la selva húmeda, en los valles y en la sabana, en las serranías cordilleranas o en los espacios ribereños o lacustres. En contraste, la industria turística opta por las certezas conocidas venidas de los países de economías avanzadas, imponiendo sus certezas dondequiera.

Cuando las comunidades y sus socios estratégicos se conectan con los fundamentos del turismo creativo, se dispone de una herramienta poderosa para impulsar el desarrollo. Sólo entonces el turismo creativo – como ningún otro modelo de turismo – puede contribuir a resolver desafíos sociales de fondo y apremiantes. El poder del turismo creativo aumenta exponencialmente si utiliza adecuadamente al mercado como instrumento de resolución de ciertos conflictos y desafíos.

El turismo creativo y el socio constructivismo

El desarrollo económico y social y el del turismo creativo no resultan de una propuesta emitida por un grupo de inversionistas o por las instituciones del Estado, sino que requieren la participación privilegiada de las comunidades locales desde la concepción hasta la evaluación de las estrategias, programas y proyectos.

El turismo creativo no se construye con base a una colección de datos o a partir de la visión de un grupo de especialistas, o incluso de las expectativas de rentabilidad de los inversionistas. El turismo creativo constituye una propuesta que no se basa solamente en los derechos de una comunidad, sino de los derechos en general. El primero de todos estos derechos tiene que ver con aprender a conocer la propia realidad, aprender a mejorar las propias condiciones de vida, a participar en los procesos y a tomar decisiones para lograrlo.

Un turismo concebido de esta manera no es sólo un negocio, tal como ocurre con la industria turística, sino que en primer lugar es una necesidad social y una herramienta del verdadero desarrollo. El enfoque de negocio es importante pero no determinante para lograr una mejoría sustentable en el desarrollo económico y social. La falacia más repetida en los discursos legitimadores de la industria turística se basa en su potencial para lograr el desarrollo. Éste, en realidad no puede venir de fuera, de otros contextos sociales, en suma no se puede originar en los países desarrollados ni en los conglomerados económicos ajenos a la comunidad receptora. La más

importante responsabilidad social con el turismo consiste en participar activamente en sus decisiones y desarrollo.

El socio constructivismo implica participación y organización social con el objetivo de mejorar la calidad de vida, el bienestar y las oportunidades de desarrollo de una comunidad.

Se basa en el aprendizaje conjunto de la situación actual e histórica de la comunidad y de sus integrantes, en el conocimiento y apropiación de las fuerzas y variables que inciden en la construcción del escenario futuro que desean alcanzar. También en el aprendizaje de las opciones y estrategias que tiene a su alcance, y de la medición de los resultados que se van manifestando. El socio constructivismo contribuye y apoya la construcción en red de la realidad personal, económica y social que los individuos y una comunidad quieren generar para sí. En este esfuerzo no hay dependencia de un actor externo, aunque sí se precisa la colaboración de ellos con el propósito de encaminarse al logro de las metas de desarrollo que la comunidad decide. Los socios estratégicos o actores externos están llamados a participar para generar valor local compartido.

El desarrollo del turismo creativo puede arrancar de capacidades elementales en poder de los individuos y las comunidades. Su proyecto puede comenzar aún cuando la comunidad se encuentre desintegrada, frustrada, escéptica y despolitizada. Sin embargo aun así cualquier realidad se puede transformar radicalmente si se utilizan las políticas y estrategias adecuadas.

Mediante el socio constructivismo se puede materializar cualquier realidad que la industria turística, en su autoritarismo, arrogancia y supuesta superioridad, haya pretendido o pretenda enterrar o desvalorizar, por ser supuestamente inviable o inconveniente. Es decir, los voceros de la industria –instalados incluso en las instituciones del Estado– suelen descalificar cualquier realidad que no sea su realidad, la de la industria.

El socio constructivismo considera que el aprendizaje de una realidad debe ser esencialmente activo. Pero además dispone de un espacio relevante para la colaboración, por lo tanto el aprendizaje además de activo es colaborativo, se obtiene mediante lo que llamamos la red de actores locales y sus socios estratégicos.

El conocimiento de la realidad se da en el contexto de las relaciones del individuo con el ambiente, por una parte, pero además se forma con los demás individuos con los cuales se integra, esto es, en la red señalada.

La construcción social de la realidad a la cual se aspira no se remite a un ejercicio que se lleva a cabo en sesiones de trabajo, una o dos veces a la semana. Por el contrario, esa realidad se va construyendo todos los días, en coherencia con una estrategia, en todos los puntos de la red, en todas las áreas de influencia de la red de actores locales.

La construcción del turismo creativo se realiza en contextos sociales determinados, con actores que responden a características específicas, que han sido modelados por una historia e interrelaciones que también les es particular. Si bien el turismo creativo puede ser implementado en cualquier realidad o ámbito social, no posee fórmulas que hagan que un modelo en particular pueda ser implantado en otras realidades. Cada comunidad o grupo social debe construir su propio faro para iluminar el camino que decide recorrer. Si el turismo es auténticamente creativo, entonces no podrá ser igual o similar al que se manifiesta en cualquier otro lugar del planeta.

Desde el punto de vista del desarrollo económico y social y del turismo creativo como su herramienta o estrategia, el socio constructivismo actúa para crear realidad a través de una serie de procesos básicos, entre los que es posible destacar los siguientes:

- procesos intensivos de comunicación multidireccional y permanente que comprenden intercambios de conocimientos, conceptos, prioridades, diferencias, experiencias y habilidades diversas entre los actores locales. Esta comunicación permitirá construir imágenes-objetivo y escenarios futuros compartidos.
- Desarrollo de diversas competencias complejas en todos aquellos actores locales que van a participar de manera relevante en diversas áreas del proyecto de turismo creativo. Esta participación puede requerir capacidades conceptuales, gerenciales u operativas, o bien de planeación, coordinación o ejecución.
- Evaluación de competencias con la finalidad de asegurar, por una parte, que se trata de habilidades diferenciadas que van a converger hacia la construcción de un turismo creativo diferenciado y único, y por la otra, que las personas que se involucran en los proyectos específicos reúnan las capacidades que estos precisan, y que estén en posibilidades de agregar valor a las iniciativas que se impulsan y con las cuales van a estar directamente involucradas.
- Procesos permanentes de evaluación de las propuestas y acciones que se llevan a cabo. Ello permite ejecutar acciones de ajuste en relación con los objetivos que se persiguen, o bien de valorar adecuadamente tareas que puede implicar una apertura hacia objetivos de mayor alcance.

Paradigma de la sociedad del conocimiento

La sociedad del conocimiento es otro de los paradigmas que principalmente define las estrategias de desarrollo en diferentes ámbitos de los colectivos humanos de inicios del siglo XXI. Este paradigma ha dejado atrás al de la socie-

dad industrial y también al de la llamada sociedad posindustrial, a los cuales todavía siguen fielmente el modelo turístico industrial y su fase posterior, el turismo posindustrial. Ambos modelos son dominantes en el escenario internacional, y específicamente en América Latina.

Las políticas públicas y la gestión empresarial siguen sus directrices, y la sociedad en general recibe los impactos de su estructura y funcionamiento. Entre sus características cabe destacar:

- la perspectiva sectorial con que se definen y acometen sus estrategias y evolución;
- el énfasis incrementalista, que por lo mismo remarca en la necesidad del crecimiento de algunas de sus variables, como el número de turistas y la capacidad instalada de habitaciones de hotel; el comportamiento incremental concurre a ponderar el éxito del modelo;
- el establecimiento de objetivos y metas principalmente economicistas;
- los contenidos economicistas de sus programas y proyectos específicos, que desvalorizan variables sociales y ecológicas, e incluso económicas;
- la instrumentación de las manifestaciones culturales, que se empaquetan y adaptan al gusto y preferencia de turistas que suelen ser de escasa sensibilidad;
- la producción industrial de productos y servicios, encaminada a atender con ofertas estandarizadas y uniformizadas las demandas de turismo masivo;
- la creación de empleo precario, eventual y de baja productividad en muchos casos;
- la alta centralización de las decisiones, con escasa o nula participación de las comunidades, e incluso de intereses de grupos empresariales de menor poder relativo.

Las bases del modelo turístico industrial fueron generadas justamente en la sociedad industrial, y por lo tanto obedecen y responden a sus principios y características.

Pero la gradual instalación del paradigma de la sociedad del conocimiento plantea otros desafíos, perspectivas y estrategias de conformación y operación del fenómeno turístico.⁴

Entre ellos es posible señalar los siguientes:

³ Al respecto, véase el texto *Un Nuevo Tiempo Libre*, escrito por Sergio Molina, Roberto Boullón y Manuel Rodríguez Woog, cuya primera edición fue publicada por Editorial Trillas, en México, Distrito Federal, el año 1983.

- basar el desarrollo en el conocimiento, es decir, hacer de este recurso el componente más importante de los planes y proyectos turísticos;
- vincular a las universidades y centros de investigación con el desarrollo turístico. Para ello se requiere transferirles apoyos estratégicos y otorgarles, simultáneamente, un papel de mayor relevancia;
- concebir una actividad productiva a escala controlable, por una parte, y conformar una estructura de producción creativa que incida en el mejoramiento real del bienestar de la población que se relaciona con el turismo;
- integración del turismo con otros sectores de la economía, con el medio ambiente y la cultura, universidades y centros de investigación, conjunto que confluye a agregar valor a la planeación y operación en el nivel de la oferta turística;
- llevar a cabo una profunda recalificación de los recursos naturales y culturales a nivel local, al igual que un reposicionamiento de sus atributos y formas de uso;
- el fortalecimiento e intervención de las instituciones del Estado para que de su carácter subsidiario pasen a asumir liderazgos allí donde interactúan;
- reconoce la creciente relevancia del capital humano;
- establece la incorporación y uso intensivo de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones;
- la importancia del trabajo asociativo y en redes, el enfoque proactivo, la colaboración y la autonomía como estrategias del nuevo trabajo turístico encaminado a generar activos intangibles y superar limitaciones estructurales;
- el apoyo a nuevos conceptos y formas de organización al interior de la empresa y en su relación con otras empresas, instituciones, organismos no gubernamentales y comunidades;
- la búsqueda, implementación y experimentación de formas y estrategias creativas de producción;
- el impulso a la creatividad e innovación como motor para la puesta en valor de nuevos productos, servicios y experiencias, reconociendo que son las piedras angulares del crecimiento y el desarrollo;
- la creación de empleos de calidad, garantía de ingreso ético y apoyo al emprendimiento;
- la participación comunitaria en los procesos de diagnóstico, toma de decisiones, operación, instrumentación y evaluación del desempeño del turismo.

El desarrollo del turismo creativo en la sociedad del conocimiento no depende de una mayor eficiencia de las instituciones, de las empresas y de

las organizaciones en general, como tampoco se basa en ampliación de los datos existentes sobre demanda, oferta y destinos de la competencia, o de la generación de nuevos datos asociados al modo de producción y consumo industrial. El turismo creativo responde a una generación emergente de principios organizadores y funcionales, y a una estructura diferenciada en relación al industrial.

Sin embargo, en tanto más consolidado y maduro sea el modelo de turismo industrial en un país, más difícil será la adopción del nuevo paradigma y el cambio hacia un modelo de turismo creativo. Por ello es que el liderazgo de las instituciones públicas resulta fundamental, pero si el Estado se encuentra en una posición subsidiaria y con severo déficit de conducción, sin duda que será comparativamente más difícil avanzar hacia la inserción del turismo creativo en la sociedad. Por su parte a los grandes consorcios del turismo industrial no les conviene ningún proceso de transición que implique trascender el modelo en el cual se han situado en una posición dominante o privilegiada.

No obstante lo anterior, a favor del turismo creativo puede actuar el conjunto de rendimientos económicos decrecientes y, en general, la acumulación de impactos negativos que en los planos social y ambiental produce la industria turística. Pero sin duda que el mayor valor del turismo creativo se origina en su propuesta, en concebirse en singular, es decir, de acuerdo a la realidad específica de cada comunidad y para beneficio inmediato de ella.

En este contexto el turismo creativo no persigue crecer o expandirse sin control, sino que principalmente busca erigirse como una estrategia para trascender hacia el desarrollo y el bienestar de la comunidad. Esa es la identidad central del turismo creativo: coincidir con la realidad, no con la representación de la realidad de cada comunidad. Ello requiere el ejercicio de las responsabilidades estatales y de las comunidades.

Para lograr esa imbricación es preciso trabajar para hacer surgir los significados derivados de cada realidad a partir de la emocionalidad, la sensorialidad, las creencias, tradición, la cultura y costumbres, y también la racionalidad. Así es como el turismo creativo construye sus estructuras y orden experiencial, todo ello en el contexto de la sociedad del conocimiento.

En este proceso el liderazgo de los centros educativos y de investigación resulta fundamental. Para que su participación en el turismo creativo signifique un aporte, deben rebasar su función de distribuidores del conocimiento del turismo industrial y asumir un compromiso vinculado con la generación de conocimiento que enriquezca planteamientos y soluciones concretas. Lo mismo debería suceder con otros actores que en la actualidad también son meros distribuidores de la experiencia del modelo industrial: instancias del sector público, inversionistas, empresarios y emprendedores, consultores, organismos internacionales y organizaciones no gubernamentales, entre otros.