

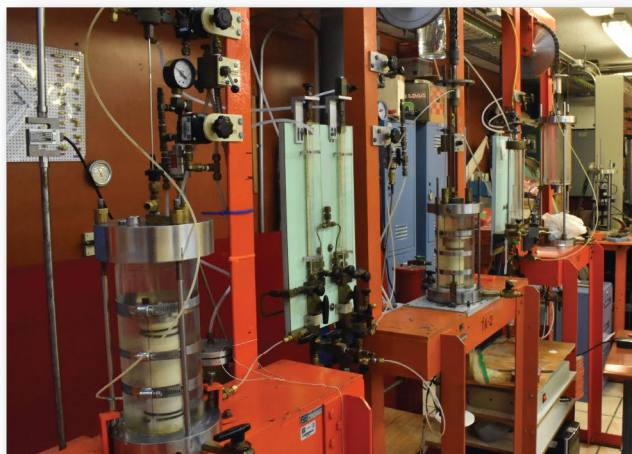
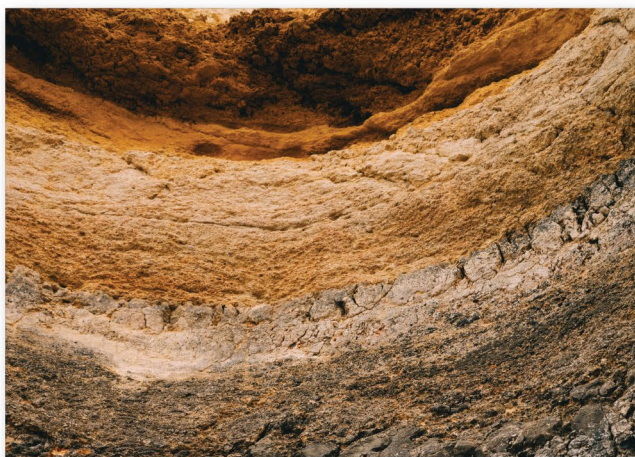


INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

GACETA DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

ISSN: 1870-347X

No. 168 | septiembre - octubre 2024



Experimento mediante
biorremediación en un suelo
contaminado con hidrocarburos
en una planta de coque

Aprovechamiento de energía
térmica residual en procesos
industriales

Entendiendo el Acuífero
de la Península de Yucatán
a través del diagnóstico,
monitoreo y modelación

Laboratorio de Mecánica
de Suelos II UNAM

EDITORIAL

En este quinto bimestre del año, tuvimos la oportunidad el 1 de octubre de ser testigos de un hecho histórico, durante la ceremonia de Transición del Poder Ejecutivo Federal de México, en la que la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, exacadémica del Instituto de Ingeniería, tomó posesión del cargo de Presidenta de México. A nombre de nuestro Instituto, le reiteramos a la Dra. Sheinbaum una gran felicitación y nuestros mejores deseos para que su gestión sea exitosa. Asimismo, ponemos a su disposición nuestras capacidades y apoyo para que este objetivo sea alcanzado, en beneficio de la sociedad y el desarrollo del país.

De hecho, la Dra. Sheinbaum y la Mtra. Alicia Bárcena, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, han anunciado la participación del Instituto de Ingeniería (II UNAM) en dos importantes macroproyectos relacionados con el manejo y aprovechamiento de residuos y con el saneamiento de tres grandes ríos.

En este mismo orden de ideas, es un honor para mí comunicarles que tuvimos miembros del personal académico y estudiantes que fueron galardonados con diversos premios. En primer lugar, con gran orgullo felicito a los doctores Luis Álvarez Icaza Longoria y Brenda Cecilia Alcántar Vázquez, por haber sido acreedores respectivamente al Premio Universidad Nacional (PUN) y el Reconocimiento Distinción Reconocimiento Universidad Nacional para Jóvenes Académicos (RDUNJA) edición 2024, en el área de Innovación tecnológica y diseño industrial. Asimismo, también manifiesto una gran felicitación al Dr. Germán Buitrón Méndez, quien obtuvo el primer lugar en el Premio Querétaro de Ciencia, Tecnología e Innovación 2024, en la categoría Estudiantes de Posgrado y/o investigadores. Finalmente, me congratulo porque las tesis de los ingenieros Oscar Arturo Silva Muñoz y Diego Cejín Alcocer, obtuvieron el 2^{do} y 3^{er} lugar respectivamente del Premio Anual Ing. Víctor M. Luna Castillo 2024. De igual manera, felicito a los tutores de Óscar (Mtro. Francisco Javier Granados Villafuerte) y de Diego (Dr. David López Flores) por haber dirigido estas tesis ganadoras. A todos los ganadores, enhorabuena y que sigan los éxitos.

Por otra parte, en el ámbito de vinculación recibimos a una delegación de la Universidad de Illinois, quienes reiteraron su deseo de que su personal académico y el nuestro continúen colaborando en proyectos de investigación con los fondos semilla que aportan las autoridades de esa institución y de la UNAM. La Dra. Elvira de Mejía, directora del Illinois Mexican and Mexican American Students, manifestó que, en breve, se publicará la siguiente convocatoria para acceder a esos recursos, en temas que contribuyan a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Por lo anterior, invito vivamente a nuestro personal académico a que identifiquen y se pongan en contacto con algún miembro de la Universidad de Illinois para empezar a plantear una propuesta de proyecto donde puedan colaborar. Asimismo, invito

a que nuestros jóvenes investigadores e investigadoras a que realicen activamente lo mismo, pero con pares de la Universidad de Tsinghua en China en el Young Talent Scientists Program, que fue presentado el pasado 28 de octubre por el Prof. Dehua Liu, académico de esa universidad, en el marco del convenio de colaboración celebrado en el 2018. En su visita al II UNAM, el Prof. Liu también impartió una conferencia y tuvo una reunión con el Coordinador y presidentes de SACC del Posgrado en Ingeniería, para reactivar el Convenio de colaboración con la Universidad de Tsinghua, en particular lo referente al intercambio de estudiantes de posgrado. De la misma manera, para promover el Programa de jóvenes talentos científicos.

En cuanto actividades realizadas para el beneficio físico y emocional del II UNAM, como anuncié en la edición anterior de esta Gaceta, en la Jornada de la Salud realizada el pasado 11 de septiembre donde toda la comunidad tuvo la oportunidad de practicarse diversos estudios médicos para eventualmente tomar acciones para atender o prevenir alguna enfermedad como la diabetes y el cáncer de mama. Esta jornada, en la que se tuvo mucha participación fue organizada por nuestra Comisión Local de Igualdad de Género, por la delegación sindical del personal administrativo de base, y por la Secretaría Administrativa del II UNAM. Les externo mi mayor felicitación a quienes contribuyeron para que esta exitosa Jornada se llevara a cabo. De la misma manera, toda la comunidad del II UNAM participó de manera entusiasta en las actividades realizadas con motivo del Día de Muertos. Estas actividades fueron organizadas principalmente por la Dra. Neftalí Rojas, presidenta del SACC de Ambiental, de manera conjunta con los delegados del personal administrativo de base y de las secretarías de Vinculación y Administrativa del II UNAM. En este mismo sentido, el grupo de apoyo emocional ESPORA, encabezado por el Mtro. Alain Briseño impartió una plática titulada “Recordar es pasar de nuevo por el corazón”, que tuvo el objetivo de orientar a nuestra comunidad para poder transcurrir de la mejor manera la pérdida de seres queridos. En el marco de esta tradición mexicana, dedicamos esta Gaceta a la memoria de los miembros de nuestra comunidad que se nos adelantaron en el camino. A sus familias y amigos les envío un fuerte abrazo.

Finalmente, deseo que estas semanas que nos restan antes de salir de vacaciones de fin de año traigan muchas buenas noticias para nuestro instituto, por lo cual los invito a que hagamos nuestro mejor esfuerzo para realizar nuestras labores con la mayor calidad y empeño que nos caracterizan. |

Cordialmente,

Dra. Rosa María Ramírez Zamora
Directora - Instituto de Ingeniería, UNAM

Rector
Dr. Leonardo Lomeli Vanegas

Secretaría General
Dra. Patricia Dolores
Dávila Aranda

Abogado General
Mtro. Hugo Concha Cantú

Secretaría Administrativa
Mtro. Tomás Humberto
Rubio Pérez

Secretaría de Desarrollo Institucional
Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz

Secretaría de Prevención,
Atención y Seguridad Universitaria
Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo

Coordinador de la Investigación Científica
Dra. María Soledad Funes Argüello

Coordinador de Humanidades
Dr. Miguel Armando López Leyva

Coordinador para la Igualdad de Género
Dra. Norma Blazquez Graf

Coordinadora de Difusión Cultural
Dra. Rosa Beltrán Álvarez

Director General de Comunicación Social
Mtro. Néstor Martínez Cristo

Director de Información
Mtro. Rodolfo González Fernández

Directora
Dra. Rosa María Ramírez Zamora

Subdirectora de Estructuras y Geotecnia
Dr. Carlos Javier
Mendoza Escobedo

Subdirectora de Hidráulica y Ambiental
Dra. Rosa
María Flores Serrano

Subdirectora de Electromecánica
Dr. Ramón Gutiérrez Castrejón

Subdirectora de Unidades Académicas Foráneas
Dra. Idania Valdez Vázquez

Secretaría Académica
Dra. Norma Patricia López Acosta

Secretaría Administrativa
Mtra. Dulce María López Nava

Secretaría Técnica
Arq. Xavier Palomas Molina

Secretaría de Telecomunicaciones e Informática
Ing. Marco Ambriz Maguey

Secretaría Técnica de Vinculación
Mtra. María del Rocío
Cassaigne Hernández

Editor responsable
Lic. Verónica Benítez Escudero

Reportera
Lic. Verónica Benítez Escudero

Fotografías
Archivo Fotográfico del II UNAM

Diseño
Lic. Oscar Daniel López Marín

Corrección de estilo
Gabriel Sánchez Domínguez
María de los Ángeles Negrete Orozco

EXPERIMENTO MEDIANTE BIORREMEDIACIÓN EN UN SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS EN UNA PLANTA DE COQUE

MARÍA DEL ROSARIO ITURBE A.
Y ANA ALEJANDRINA CASTRO R.

Este trabajo tuvo como objetivo experimentar la biorremediación en un suelo arcilloso con alto contenido de materia orgánica proveniente de una planta de coque. El sitio contaminado está ubicado en un antiguo complejo industrial que generó hidrocarburos poliaromáticos (HAP) como subproducto de la producción de coque. El mal manejo del diésel almacenado (hidrocarburos de fracción media, HFM) también contaminó el suelo. La superficie contaminada es de aproximadamente 90,000 m².

Tanto los HFM como los HAP superan los límites permisibles de acuerdo con la normatividad. Sus mayores concentraciones se encontraron entre los 2 y 4 m de profundidad. A pesar de que las características del suelo y las altas concentraciones de hidrocarburos indican que la biorremediación no es una opción para remediar el sitio, este trabajo tiene como objetivo experimentar con alternativas que puedan mejorar las condiciones del suelo para que la biorremediación pueda ser utilizada para tratar el suelo contaminado. Para ello, se añadió harina de sangre al suelo contaminado para mejorar las condiciones del suelo.

Se obtuvo una buena eficiencia de remoción para HFM (67%) a pesar de sus altas concentraciones y del contenido de materia orgánica. La degradación de los HAP fue nula con sólo biorremediación, por lo que se llevó a cabo un experimento adicional en el que se lavó el suelo con un surfactante, posteriormente, se aireó, obteniéndose una eliminación de HAP de 70% (no mostrado en este artículo).

Introducción

La biorremediación de suelos es actualmente un tema relevante porque implica un proceso en el que los contaminantes orgánicos del subsuelo se biodegradan y pueden mineralizarse, convirtiéndose finalmente en compuestos no tóxicos.

La biorremediación ha demostrado ser una de las técnicas más utilizadas en el mundo (Jergensen *et al.* 2000; Sarkar *et al.*

2005), tiene como objetivo mantener el máximo crecimiento posible de microorganismos hasta que la fuente de carbono (hidrocarburos) disminuya, para que, en consecuencia, la población microbiana crezca a un ritmo más lento (Abatenh *et al.* 2017; Cookson 1995; Nyer 2000; Suthersan 1997).

Los factores físicos y químicos que deben mantenerse dentro de rangos específicos para un proceso de biorremediación eficiente son: oxígeno, contenido de agua, temperatura, pH y nutrientes (C:N:P). Los factores que pueden limitar la actividad de los microorganismos son las bajas temperaturas, los valores de pH muy bajos o muy altos y los agentes químicos, como metales pesados, halógenos, así como contaminantes orgánicos y oxidantes.

La actividad microbiológica puede estimularse mediante el suministro de oxígeno (a través de la aireación), agua y nutrientes (nitrógeno y fósforo). Debido a que la biorremediación se basa en alterar las condiciones ambientales para estimular el crecimiento de microorganismos, cuyas enzimas metabolizan los compuestos tóxicos, un aumento en la actividad microbiana es directamente proporcional a la reducción en las concentraciones de hidrocarburos totales (TPH).

Los principales métodos existentes para aplicar biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos son: a) Biopilas que consisten en excavar el suelo y apilarlo con un sistema de aireación que mejora la actividad microbiana mediante la introducción de oxígeno manteniendo el contenido de agua y los nutrientes en equilibrio. b) La biolabranza que se utiliza principalmente en zonas agrícolas con accidentes de derrames de hidrocarburos. Este método dispersa el suelo contaminado y airea el suelo mediante el movimiento del suelo (labranza) (Cookson 1995; Iturbe *et al.* 2015; Martín y Bardos 1996; Nyer 2000; Patterson *et al.* 1999).

Las bacterias heterótrofas son incapaces de producir su propio alimento, por lo que se alimentan de otras fuentes de carbono orgánico, principalmente materia vegetal o animal. Esto apoya su papel en la biodegradación. La cantidad de bacterias (unidades formadoras de colonias, UFC) es el principal parámetro para saber si es posible la degradación. La UFC/g mínima para que se produzca la degradación debe ser igual o superior a 10³ (Fahnestock *et al.* 1998).

La eficiencia de la biorremediación depende de varios parámetros agrupados en tres categorías: características del suelo, tipo de contaminantes y condiciones climáticas.

Según Fahnestock *et al.* (1998), para que la biorremediación sea factible deben cumplirse los siguientes criterios: concentración total de hidrocarburos inferior a 50,000 mg/kg; número de bacterias heterótrofas > 1000 UFC/g; pH entre 6 y 9; contenido de agua entre 40 y 85% de la capacidad de campo;

bajo contenido en arcilla y caliza; relación carbono, nitrógeno y fósforo, C:N:P, de 100:10:1; concentración de metales por debajo de 2500 mg/kg.

El tipo de suelo es muy importante porque el agua, los nutrientes y el aire deben migrar con facilidad a través de los poros del suelo para permitir que los microorganismos logren la degradación. Kuo (1999) indica que el suelo debe tener al menos 10% de poros libres para que se produzca una degradación aeróbica.

El sitio contaminado estudiado se encuentra dentro de un antiguo complejo industrial (200 ha), donde sus procesos generaron altas concentraciones de HAP. La superficie contaminada aproximadamente es de 90,000 m² y un volumen aproximado de 200,000 m³.

La fuente de hidrocarburos en el área de estudio se explica principalmente por el uso de diésel en diferentes áreas de producción de la planta y por el proceso de coquización, que depositó los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el suelo circundante (García Martínez, 2005; Rachwa *et al.* 2015).

La normatividad mexicana (NOM138-SEMARNAT/SSA-2012) (DOF 2013) considera tres fracciones de hidrocarburos: ligera, mediana y pesada, dependiendo del número de carbonos en sus cadenas. Así, el diésel pertenece a la fracción media (HFM), sus moléculas contienen entre 10 y 28 átomos de carbono (C10 a C28).

Los suelos contaminados con hidrocarburos y HAP de 2 y 3 anillos se han biorremediado con éxito; sin embargo, para los HAP de 4, 5 y 6 anillos no hay éxito. Lors *et al.* (2012) encontraron que las tasas de degradación de los HAP de 3 anillos eran aproximadamente 32 veces mayores que las de los HAP de 5 y 6 anillos. Hay pocos casos exitosos en los que se haya logrado una degradación significativa en suelos contaminados con HAP de 4, 5 y 6 anillos cuando se tratan con composta (Guerin, 2000).

Debido a la dificultad de degradar altas concentraciones de hidrocarburos en suelos finos, el objetivo de este trabajo fue ensayar, a través de la experimentación en el laboratorio, una técnica de biorremediación utilizando harina de sangre como nutriente.

La harina de sangre es un polvo inerte seco hecho de sangre, utilizado como fertilizante orgánico con alto contenido de nitrógeno y alimento para animales con alto contenido de proteínas con 13.25% de nitrógeno, 1% de fósforo y 0.6% de potasio. Es una de las mayores fuentes no sintéticas de nitrógeno. Por lo general, proviene del ganado vacuno o porcino utilizado como fertilizante. Se utilizó por primera vez para la biorremediación *in situ* de suelos contaminados con HAP con resultados positivos por Heuze *et al.* (2000).

Materiales y métodos

El área contaminada se dividió en cuatro sitios denominados S1, S2, S3 y S4. De cada sitio se tomaron aproximadamente 50 kg de suelo entre la superficie y 4.0 m de profundidad con una excavadora, luego se empacaron y transportaron en contenedores de hielo al laboratorio del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El suelo se mantuvo húmedo a baja temperatura y sin luz; hasta el inicio de los experimentos, momento en el que se dejó secar el suelo a temperatura ambiente, se mezcló y las muestras obtenidas se analizaron para obtener los valores medios de HFM (26,000 mg/kg) y de HAP que en todos los casos sobrepasan el valor permitido en la normatividad.

Se determinaron los principales parámetros físicos, químicos y biológicos (pH, porosidad, contenido de materia orgánica, granulometría del suelo, contenido de agua y contenido de bacterias heterótrofas [UFC]). Para la harina de sangre, se analizó el contenido de materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica (CE), N y P.

Las concentraciones de harina de sangre seleccionadas para el experimento fueron 10 y 20 veces superiores a la concentración utilizada por Wang *et al.* (2017) teniendo en cuenta las partículas finas y el alto contenido de materia orgánica.

En la Tabla 1 se muestra el diseño experimental con seis recipientes de suelo contaminado, con adición de harina de sangre a dos concentraciones.

Tabla 1. Experimento con harina de sangre (BM)

Muestra	Harina de sangre
T1	Suelo
T2	Suelo
T3	Suelo + 25 g BM
T4	Suelo + 25 g BM
T5	Suelo + 50 g BM
T6	Suelo + 50 g BM

NOTA: BM – harina de sangre

Cada semana se realizó el conteo de bacterias heterótrofas a partir del día 1. Los HFM y los HAP se analizaron cada dos semanas.

El suelo de los seis recipientes se aireó diariamente. Se agregó agua todas las semanas para mantener la misma capacidad de campo. El experimento duró 75 días.

Debido a que las bacterias aeróbicas se alimentan del carbono de los hidrocarburos y nutrientes añadidos, su población puede disminuir con la biodegradación (Suthersan, 2001). Por tanto, se decidió agregar más nutrientes a partir de 45 días de iniciado el experimento. El objetivo de añadir nutrientes en el día 45 fue sustituir los consumidos por las bacterias durante los primeros 45 días.

Resultados y discusión

Los resultados de la caracterización del suelo indican un alto contenido de materia orgánica, lo cual, en general, es inconveniente para la biorremediación debido a que la adsorción de contaminantes dificulta la biodisponibilidad (Hamoudi-Belarbi *et al.* 2018; Wang *et al.* 2017).

La evolución de la comunidad bacteriana durante el experimento de laboratorio con harina de sangre indica que en la semana 4 existe un incremento de bacterias superior a 100,000 veces con respecto a la población inicial (Figura 1).

La concentración inicial de HFM en el suelo fue de 26,000 mg/kg. En la semana 6, se logró una eficiencia de

eliminación entre 66 y 70% con la concentración de harina de sangre de 25 g (Figura 2).

Los resultados del análisis de HAP sólo mostraron una disminución en la concentración de benzo (k) fluoranteno. Aunque los resultados de la eliminación de HFM se pueden mejorar mediante la adición de harina de sangre, es un hecho que la biorremediación no es una opción para la eliminación de HAP en este tipo de suelo con una concentración tan alta. Knox *et al* (1993) mencionan que en las partículas finas del suelo existe mayor adsorción y menores condiciones de biodisponibilidad para que ocurra biodegradación y se considera que éste es el caso que se estudia, aunado a las altas concentraciones de HAP.

Conclusiones

La remoción de hidrocarburos derivados del diésel fue muy significativa, aunque no se alcanzaron los niveles permisibles, las eficiencias de remoción fueron superiores a 65% en menos de 3 meses, a pesar de la presencia de alta materia orgánica y partículas finas en el suelo. Los HAP no presentaron ninguna remoción.

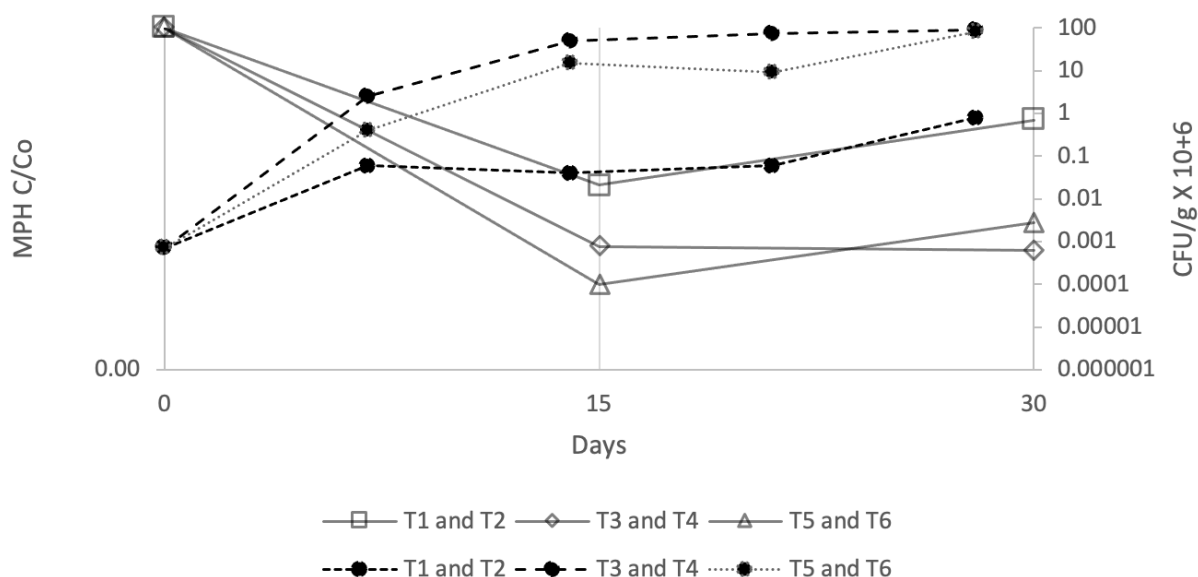


Figura 1. Crecimiento bacteriano en el suelo con harina de sangre (líneas punteadas) y eliminación de HFM en el experimento con harina de sangre (líneas continuas)

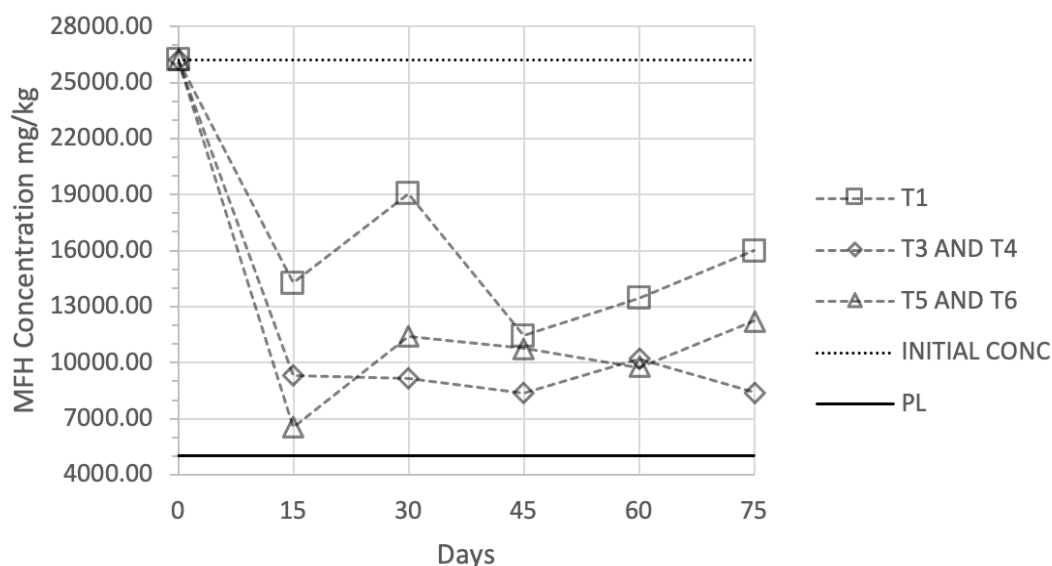


Figura 2. Disminución de HFM en el experimento con harina de sangre a los 75 días. PL: Límite permisible

Referencias

- Abatenh, E.; Gizaw, B.; Tsegaye, Z. y Wassie, M. (2017). Aplicación de microorganismos en biorremediación: una revisión. Medio ambiente. Microbiol. 2017, No.1, 2-9.
- Cookson, J. (1995). Ingeniería de biorremediación. Diseño y aplicación. McGraw-Hill Inc, Estados Unidos. 1995; Artículo 524.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2013). Norma Oficial Mexicana NOM-138-SE-MARNAT/SSA12012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y especificaciones para su caracterización y remediación. Año 2013.
- Fahnestock, F.; Wickramanayake, R. y Mayor, W. (1998). Manual de diseño, operación y mantenimiento de biopilas para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Batelle Press, Estados Unidos. 1998; Págs. 11-23.
- García Martínez, M. J. (2005). Los hidrocarburos policíclicos aromáticos asociados a combustibles fósiles. Caracterización, análisis y remediación. Undergraduated Thesis. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Universidad Politécnica de Madrid. 2005.
- Guerin, T. (2000). La eliminación diferencial de hidrocarburos aromáticos policíclicos envejecidos del suelo durante la biorremediación. Medio ambiente. Ciencia y Contaminación. Res. 2000, 7 (1) 19-26.
- Hamoudi-Belarbi, L.; Hamoudi, S.; Belkacemi, K.; Nouri, L.; Bendifallah, L.; Khodja, M. (2018). Biorremediación de sitios de suelo contaminado con hidrocarburos de petróleo crudo utilizando residuos de cáscara de zanahoria. Entornos 2018, 5, 124, 2-12 doi:10.3390.
- Heuze, V.; Tran, G. Harina de sangre. Feedipedia, un programa del INRA, CIRAD, AFZ y FAO. <https://www.feedipedia.org/node/221>. Última actualización el 31 de marzo de 2016, 10:31
- Iturbe, R.; López, J. (2015). Biorremediación de un suelo contaminado con hidrocarburos. Petróleo y Biotecnología Ambiental. 2015, Vol. 6 Batelle press, Estados Unidos. ISSN: 2157-7463. 2015; número arábigo.
- Jergensen, K.; Puustinen, J. y Suortti, A. (2000). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo mediante compostaje en biopilas. Contaminación ambiental. 2000, 107: 245-254.
- Knox, R. C.; Sabatini, D. A. y Canter, L. W. (1993). Transporte subterráneo y procesos de destino. Año 1993. Editorial Lewis. ISBN 0-87371-193-9.
- Kuo J. (1999). Practical Design Calculations for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers. 255 pp.
- Lors, C.; Damidot, D.; Ponge, J-F y Périé, F. (2012). Comparación de un proceso de biorremediación de HAPs en un suelo contaminado con HAPs a escalas de campo y laboratorio. Contaminación Ambiental, 2012, 165:11-17.
- Martín, I. y Bardos, P. Una revisión de las tecnologías de tratamiento a gran escala para la remediación de suelos contaminados. Publicaciones del PPE, Lansing MI. Año 1996.
- Nyer, E. K. (2000). Tecnología de tratamiento in situ. Lewis Publishers, Estados Unidos. 2000; 260 y 261.
- Patterson, B.; Davis, G. y Briegel, D. (1999). Uso de pruebas de respirometría para monitorear la remediación de bioventing de suelos contaminados con hidrocarburos. En: Johnston C. (Ed.), Remediación de sitios contaminados: desafíos planteados por contaminantes urbanos e industriales, CSIRO, Perth, Australia. 1999; 27 y 28.
- Rachwa, M.; Magiera, T. y Wawer, M. (2015). La industria del coque y la metalurgia del acero como fuente de contaminación del suelo por partículas magnéticas tecnogénicas, metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Quimiosfera. 2015, 138, 863-873.
- Sarkar, D.; Ferguson, M.; Datta, R. y Birnbaum, S. (2005). Biorremediación de hidrocarburos de petróleo en suelos contaminados: comparación de la adición de biosólidos, la suplementación de carbono y la atenuación natural monitoreada. Contaminación ambiental. 2005, 136:187-195.
- Wang, H.; Wang, X.; Liu, C.; Wang, Y.; Rong, L.; Sol, L.; Luo, Q. y Wu, H. (2017) Biorremediación in situ de DDT y HAP contaminados con suelo de Suelos de cultivo envejecidas mediante harina de sangre. Soil and Sediment Contamination: An International Journal (Contaminación de suelos y sedimentos: una revista internacional). 2017, 26(6), 623-635.

ENTENDIENDO EL ACUÍFERO DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN A TRAVÉS DEL DIAGNÓSTICO, MONITOREO Y MODELACIÓN

ERICK SOTO-GARCÍA, ROGER PACHECO-CASTRO,
ELSA NOREÑA-BARROSO, CÉSAR CANUL-MACARIO
Y PAULO SALLES

Con el fin de avanzar en el conocimiento del acuífero de la Península de Yucatán y entender sus complejas interacciones con los diversos socioecosistemas de la región es fundamental diagnosticar, establecer una línea base, modelar y eventualmente predecir los procesos de flujo y transporte en el mismo, así como los efectos del cambio climático y el aumento demográfico, en los sistemas socioecológicos que dependen del agua subterránea en la región. Para ello, primero debemos conocer las características de: a) la composición y estratigrafía del subsuelo, así como su comportamiento en presencia de agua, y de b) los aportes de agua dulce (principalmente precipitación e infiltración). Además, para tener una idea más precisa de la hidrodinámica del acuífero en la costa, es necesario estudiar la interacción del acuífero con el mar y ecosistemas acuáticos costeros (ciénegas, humedales, lagunas): descargas de agua dulce e intrusión salina.

Las rocas del acuífero de la península de Yucatán están principalmente compuestas por carbonato de calcio, el cual se disuelve fácilmente. Es decir, la roca caliza o roca kárstica se va disolviendo gradualmente cuando es alcanzada por el agua de lluvia que tiene un pH ligeramente ácido. Sin embargo, existe una variabilidad importante, ya que por un lado, el agua no precipita de manera espacialmente uniforme (el viento, la temperatura y la humedad influyen en su distribución); por otro lado, la matriz kárstica presenta irregularidades a diferentes escalas espaciales (fracturas geológicas, anillo de cenotes, cavernas, ríos subterráneos, fracturas puntuales de la capa confinante costera, entre otras). Por tanto, la infiltración del agua en el subsuelo y su distribución tampoco son

uniformes. Esas heterogeneidades y el gradiente hidráulico debido a la topografía del terreno, da lugar a flujos subterráneos hasta la zona costera donde el agua del acuífero es finalmente descargada al mar, sea aflorando directamente del subsuelo marino, sea en los cuerpos de agua costeros.

En un río, podemos observar y medir la velocidad, la dirección y el volumen del flujo de agua, pero estas mismas variables son más difíciles de medir si el agua está bajo tierra y no se puede ver. Para conocer la dirección del flujo subterráneo, utilizamos métodos indirectos. Por ejemplo, si medimos el nivel del agua (nivel freático) en pozos y obtenemos valores distintos, el agua se moverá desde el pozo con el nivel más alto hacia los puntos más bajos, similar a niveles de agua en un río. En ese sentido, instalando sensores que miden la presión ejercida por el agua en cada pozo, podemos calcular la carga hidráulica y determinar la dirección del flujo subterráneo. Sin embargo, los datos existentes de estos parámetros son escasos y dispersos en cuanto a cobertura espacial y temporal.

Si a eso le sumamos los crecientes y profundos efectos del cambio climático en el ciclo hidrológico del acuífero de la península de Yucatán (IPCC, 2010; Loaíciga *et al.*, 2012), el estudio de la hidrodinámica del acuífero costero es aún más complejo. Por ejemplo, Canul-Macario *et al.* (2020) estimaron una disminución del agua dulce del acuífero costero y que la cuña salina se desplazaría entre 11 y 18 km tierra adentro debido exclusivamente al aumento del nivel del mar en este siglo, sin considerar posibles disminuciones en la recarga y aumentos en las extracciones, lo cual hará seguramente que la intrusión salina aumente a ritmos aún mayores. Además, Rodríguez-Huerta (2020) estimó una disminución del 23% en la recarga del acuífero debido a cambios en la temperatura y la precipitación.

Entre los esfuerzos realizados para comprender mejor el acuífero de la península de Yucatán, destacan las iniciativas desde 2017 del Laboratorio de Ingeniería y Procesos Costeros (LIPC) de la UNAM (www.lipc.unam.mx; www.osce.mx), en colaboración con el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera (www.lanresc.mx) y se tienen tres proyectos vigentes*. Estas instituciones mantienen y expanden actualmente una red instrumentada de 19 pozos y un cenote, que abarcan distintas zonas de los estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Fig. 1). La base de datos resultante se complementa con bases de datos de CONAGUA y otras instituciones y asociaciones en la Península de Yucatán.

* Yucatan Peninsula Aquifer: diagnosis, modeling and monitoring (financiado por National Geographic Society); Herramientas de gestión del recurso hídrico para tomadores de decisiones basadas en red de monitoreo y modelo numérico interactivo regional de flujo del acuífero de la Península de Yucatán (PAPIIT IT102623); Sistemas de alerta temprana a salinización e inundaciones de origen terrestre (subproyecto del GII "Sisal, Yucatán: hacia una ciudad sustentable y resiliente").

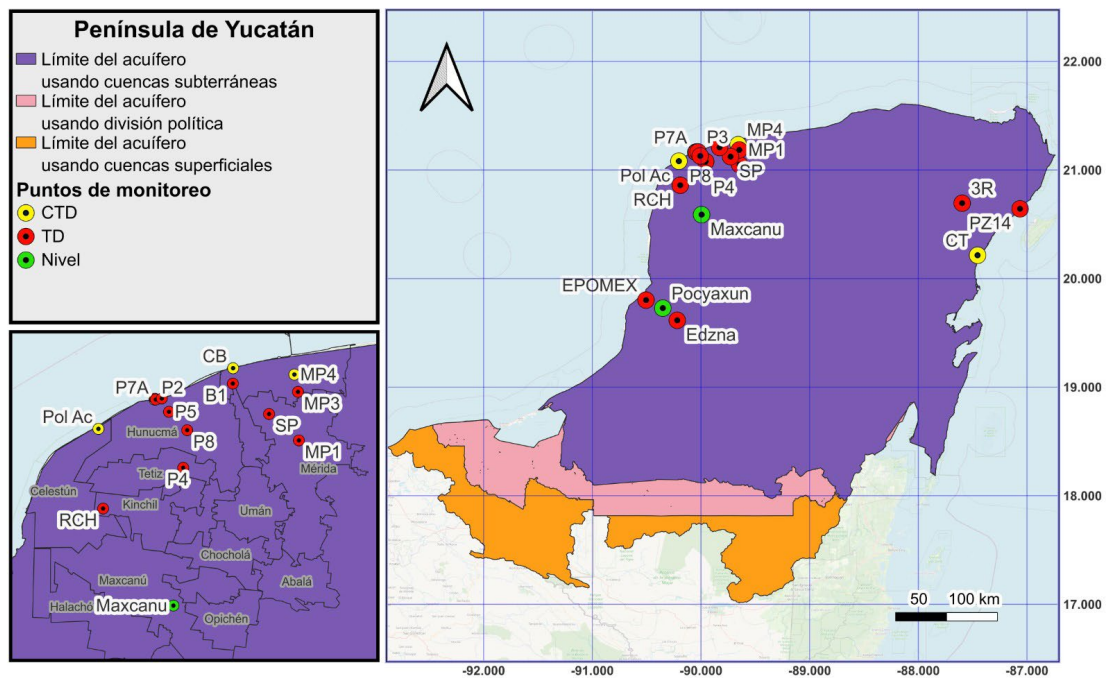


Figura 1. Mapa de la red de monitoreo del acuífero de la Península de Yucatán y límites del acuífero establecidos por modelación numérica. CTD: Sensor de conductividad, temperatura y presión; TD: sensor de temperatura y presión. Fuente: Chablé Martínez (2024).¹⁸

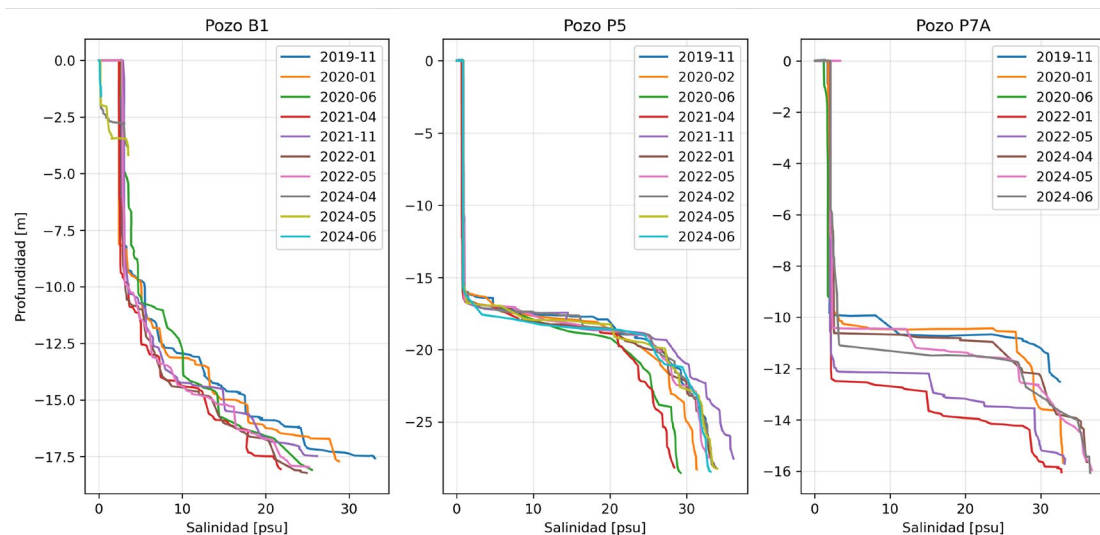


Figura 2. Perfiles verticales de salinidad en los pozos B1, P5 y P7A en el noroeste de Yucatán

La instrumentación de esta red se lleva a cabo mediante el uso de sensores de presión y temperatura en todos los pozos, sumando sensores de conductividad en los pozos costeros para monitorear la fluctuación de la interfase salina. Cabe señalar que algunas de las sondas utilizadas han sido desarrolladas por el LANRESC y fabricadas actualmente en el LIPC. Además, se realizan cada 4-6 semanas perfiles de conductividad en cada uno de los pozos, como se ilustra en la Fig. 2, la cual muestra variabilidades estacionales y anuales importantes en los perfiles de salinidad para cada pozo. Por ejemplo, para el pozo P5 (cercano al pozo de abastecimiento de agua potable para Sisal), para una misma salinidad las profundidades varían hasta 9 m (28 psu, entre 04/2021 y 11/2021), y para una misma profundidad la salinidad varía hasta 15 psu en el pozo B1 (a 17.5 m, entre 11/2019 y 04/2021) y hasta 32 psu en el pozo P7A (a 12.5 m, entre 11/2019 y 04/2021). Un análisis más detallado es motivo de un artículo en preparación. Los datos de todos los pozos se pueden ver en el portal del Observatorio Costero del Sureste (www.ocese.mx) del LIPC.

Modelo numérico

La carga hidráulica representa la energía necesaria para mantener el movimiento del agua, es decir, el agua fluye hacia donde se requiere menos energía. Esta variable es fundamental para generar modelos de flujo que nos ayuden a predecir el comportamiento del agua subterránea bajo diversas condiciones, incluyendo el cambio climático.

A pesar de que existen algunos estudios desde los años 90 y el LIPC desarrolla actualmente varios esfuerzos de modelación de flujo del acuífero la península a diferentes escalas, aún persiste incertidumbre en algunos componentes que integran el modelo numérico debido a la complejidad y tamaño del sistema. Es por esto que, para reproducir numéricamente el flujo y predecirlo con menor incertidumbre, es necesario mejorar en varios frentes: a) monitoreo con mayor resolución y distribución espacial, particularmente en zonas aún desatendidas por la red actual, para mejorar la calibración y validación, b) mejorar la definición de las fronteras, c) considerar otros modelos numéricos que consideren heterogeneidades de pequeña escala del karst, d) incluir en el modelo regional de toda la península la interacción con el océano, e) estimaciones mejoradas del volumen de recarga y extracciones, y f) implementar escenarios regionalizados de aumento del nivel del mar y variabilidad de la precipitación debido al cambio climático.

Los esfuerzos de modelación numérica representan una evolución significativa para el acuífero de la península de Yucatán, abarcando mayor extensión del dominio y mejorando la resolución, además de integrar modelos de recarga. Estos

avances posibilitan la simulación de escenarios de cambio climático, variaciones en los regímenes de precipitación y eventos meteorológicos extremos. Un desarrollo reciente y crucial ha sido el establecimiento de los límites del acuífero basados en las cuencas superficiales y subterráneas, lo que permite orientar los nuevos puntos de monitoreo y establecer la dirección de flujo del acuífero (Fig. 1; Chablé Martínez, 2024). La modelación numérica no sólo mejora nuestra comprensión actual, también, sienta las bases para futuros proyectos, como la integración con modelos de transporte, el acoplamiento con modelos de simulación hidrodinámica a superficie libre y la caracterización de las interacciones entre el océano y el acuífero para fines predictivos.

Calidad de agua

Además de los esfuerzos en monitoreo y modelación numérica del acuífero de la península de Yucatán, la necesidad de conocer la calidad del agua provista por el acuífero ha sido un tema de interés en la comunidad. Existen informes de contaminación bacteriológica (Pacheco *et al.*, 2000), presencia de nitratos en pozos por encima de los límites máximos permitidos por las regulaciones mexicanas (Pacheco *et al.*, 1997), plaguicidas como el clorpirifos y contaminantes orgánicos volátiles (Ramos-Alcocer, 2014; Puch-Hau, 2014), presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (López-Macías *et al.*, 2019), plaguicidas organoclorados (Giacomán-Vallejos *et al.*, 2018), así como concentraciones de cadmio y arsénico por encima de los niveles permitidos por la normatividad (Árcega-Cabrera *et al.*, 2014).

En estudios realizados en el anillo de cenotes se han detectado niveles de plaguicidas organoclorados en agua superiores a valores considerados como seguros para los humanos y la biota (Polanco *et al.*, 2015; Rodríguez-Fuentes y Noreña-Barroso, 2021); productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCPs), incluyendo cafeína como trazador químico de presencia de aguas residuales de origen humano (Kiel-Martínez, 2012); esteroides fecales como trazadores químicos de aporte de materia orgánica por fuentes urbanas y pecuarias (Árcega-Cabrera *et al.*, 2014; Derrien *et al.*, 2015); e hidrocarburos aromáticos y alifáticos (Martínez-Trejo, 2018).

De los 20 puntos de muestreo instrumentados por el LIPC y en conjunto con el Laboratorio de Ciencias Ambientales y Costeras de la Unidad de Química en Sisal de la Facultad de Química de la UNAM, se han recolectado muestras de agua en 16 puntos y dos profundidades (Fig. 3) durante la temporada de secas (mayo de 2024) y se realizará un segundo muestreo en época de lluvias (octubre de 2024), con el propósito de ampliar la información existente de presencia de contaminantes en el acuífero incluyendo análisis bacteriológicos, iones

mayores, nutrientes y contaminantes orgánicos (plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, trihalometanos, BTEX y contaminantes emergentes), así como la determinación de cafeína como trazador químico de presencia de aguas residuales de origen humano.

Con relación a los contaminantes orgánicos volátiles, los primeros resultados sugieren la presencia de 10 de los 15 contaminantes orgánicos volátiles (VOCs) individuales analizados en las muestras de agua colectadas en mayo de 2024 (época de secas) en 16 diferentes sitios del acuífero de la PY (15 pozos y un cenote); las concentraciones de VOCs estuvieron por debajo de los límites máximos permitidos considerados en la NOM-127-SSA1-2021 para agua de uso y consumo humano, con excepción de los niveles de bromoformo y de tetracloruro de carbono detectados en un sitio de muestreo. En la Figura 4 se presentan los compuestos individuales considerados en el estudio y la frecuencia de detección en términos de número de sitios de muestreo.

De los contaminantes encontrados en el agua subterránea destacan los compuestos pertenecientes al grupo de los BTEX que estuvieron presentes en todos los sitios (con excepción del benceno que no fue detectado) (Fig 4), siendo el tolueno el BTEX con niveles más altos con un máximo de 21.4 µg/L. Asimismo, se detectó la presencia de los cuatro trihalometanos (THMs) con menor frecuencia, pero destacando el cloroformo y el bromoformo con concentraciones máximas de 96.1 y 103.2 µg/L, respectivamente. Los VOCs son sustancias que pueden causar daños a la salud a corto y largo plazo, algunas fuentes de estos compuestos son: pinturas y barnices, conservantes de madera, limpiadores y desinfectantes, combustibles, productos empleados en tintorerías, aerosoles, entre otros.

Diagnóstico y línea base

Además de la obtención de datos para la modelación numérica y para la evaluación de la calidad del agua, para ampliar nuestro conocimiento sobre el acuífero, es importante que la información y el diagnóstico con respecto a la salud del acuífero esté disponible para el público de diversos sectores y para los tomadores de decisiones, además de la academia. En este sentido, se está continuando con el esfuerzo iniciado por el Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera para realizar Tarjetas de Reporte (TR) de los siete socioecosistemas costeros que forman parte del LANRESC, siguiendo la metodología propuesta por Costanzo *et al.*, 2017, la cual evalúa que los "productos que comparan información ecológica, social y económica con objetivos predefinidos, integrando información extensa y compleja en puntuaciones simples que pueden comunicarse a los tomadores de decisiones y al público, facilitando la interacción entre personas, gobiernos e industrias con agendas, perspectivas y niveles de conciencia diferentes"



Figura 3. Recolección de muestras de agua en estación CT en mayo 2024.

(https://lanresc.mx/publicaciones/tarjetas_reporte/). De esta manera, se contempla la elaboración de la primera Tarjeta de Reporte del acuífero de la península de Yucatán, convocando a actores de diferentes sectores (academia, gobierno, empresas privadas, ONGs y sociedad civil) para delimitar el área de estudio y seleccionar una serie de indicadores y umbrales que permitan evaluar el estado de salud del acuífero, generándose un documento que estará disponible para todos los sectores interesados. Este proceso está en marcha y las primeras reuniones y talleres en los tres estados que conforman la península se llevaron a cabo en agosto de 2024.

Conclusiones

El incremento acelerado de la población y las actividades antrópicas en la península de Yucatán y el cambio climático, aunado a las características kársticas del acuífero, hacen imperativo el estudio de la cantidad y calidad del agua subterránea. La problemática del acuífero es compleja y multifactorial, por lo que se requiere monitoreo constante y obtención de datos de calidad que abarquen series largas de tiempo y con buena representación espacial, modelación numérica, colaboración inter y transdisciplinaria, así como una comunicación efectiva de los resultados y recomendaciones. Este enfoque integral no

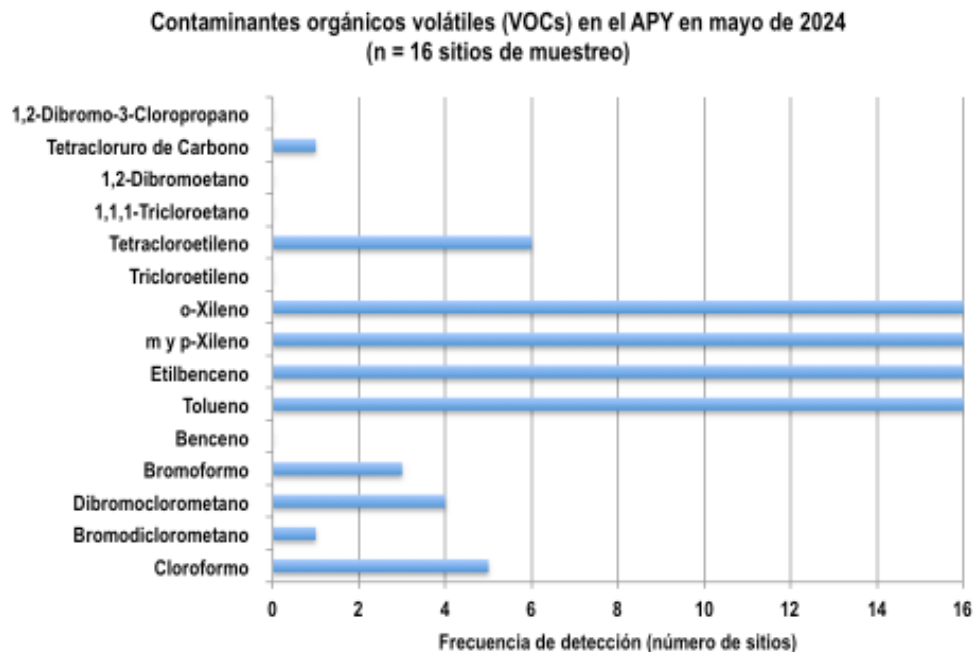


Figura 4. Frecuencia de detección (número de sitios) de contaminantes orgánicos volátiles (VOCs) en muestras de agua subterránea colectadas en el acuífero de la Península de Yucatán (APY) en mayo de 2024 (n=16 sitios de muestreo)

sólo permitirá una comprensión más profunda de la calidad de agua de la región, sino también, sentará las bases para abordar los desafíos ambientales prioritarios identificados en la zona de estudio. A pesar de que la obtención de financiamiento para la realización de este tipo de estudios no es fácil, la colaboración y la integración de diferentes proyectos hacen posible la generación de información para tener mayor conocimiento del acuífero y hacer predicciones con escenarios futuros sobre el flujo, transporte y disponibilidad, que serán de gran relevancia para conservar las reservas hídricas y los ecosistemas presentes en la península de Yucatán. |

Referencias



www.iingen.unam.mx

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS II UNAM OSVALDO FLORES CASTRELLÓN Y ALEXANDRA OSSA LÓPEZ

El laboratorio de Mecánica de Suelos del IIUNAM, bajo la responsabilidad del Dr. Osvaldo Flores Castrellón, pertenece a la Coordinación de Geotecnia cuya coordinadora es la Dra. Alexandra Ossa López, inició sus actividades en 1956, cuando la empresa Ingenieros Civiles Asociados (ICA) donó un lote de equipo y herramientas al naciente Instituto de Ingeniería. El objetivo del laboratorio es desarrollar investigación experimental básica y aplicada en Mecánica de Suelos, para resolver problemas de ingeniería.

Desde sus inicios, el Laboratorio de Mecánica de Suelos ha mantenido un papel destacado en la investigación e industria de la Ingeniería Civil. Es el primero en México, ha realizado notables contribuciones en todos los campos de la Ingeniería Geotécnica, principalmente en el estudio del comportamiento mecánico, estático y dinámico de arcillas muy compresibles y suelos granulares. Está ubicado en el edificio 4 del Instituto de Ingeniería de la UNAM (IIUNAM). Ocupa un espacio aproximado de 300 m² de superficie, donde aloja los equipos para el trabajo experimental y espacios de escritorios para el personal técnico operativo.

Recursos humanos

El Laboratorio de Investigación de Mecánica de Suelos cuenta actualmente con 13 miembros del personal académico entre técnicos e investigadores, a tiempo completo que cubren prácticamente todas las líneas de investigación relevantes de la mecánica de suelos. Este grupo de académicos es asistido

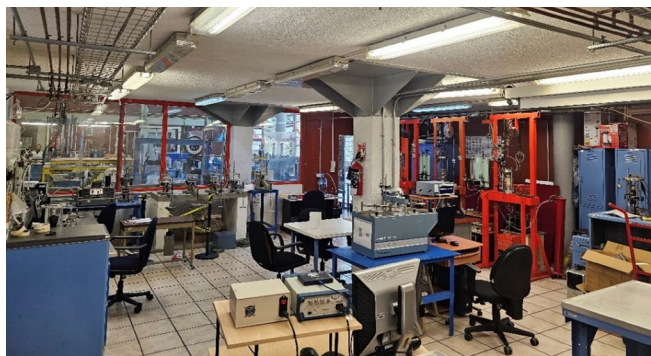


Figura 1. Instalaciones del Laboratorio de Mecánica de Suelos

por un grupo de personal de apoyo dedicado, compuesto por ingenieros de laboratorio, técnicos y estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado.

Capacidades de pruebas, investigación y técnicas

El equipo del laboratorio incluye aparatos manuales, así como dispositivos de prueba de última generación. En los últimos veinte años se ha realizado un trabajo exhaustivo por parte del personal técnico de las Coordinaciones de Geotecnia y Electrónica para la actualización en los sistemas de control y adquisición de datos de los equipos, además de la adquisición de equipos nuevos para diferentes tipos de ensayos. Actualmente, se dispone de equipos para realizar las siguientes pruebas:

1) Pruebas de laboratorio:

El laboratorio tiene la capacidad de realizar las siguientes pruebas:

- Propiedades, índice y clasificación de suelos (límites de consistencia, distribución granulométrica, contenido de agua, densidad de sólidos, clasificación SUCS, etc.).
- Reconstitución de muestras de arena por diferentes métodos (amasado, compactación estática o dinámica, pluviación en agua o aire).
- Pruebas triaxiales estáticas tipo UU, CIU y CID (consolidación isótropa) en probetas de 3.6, 7 y 16 cm de diámetro.
- Pruebas triaxiales estáticas tipo CAU y CAD (consolidación anisótropa) en probetas de 3.6 cm de diámetro.
- Pruebas triaxiales cíclicas consolidadas isótropa o anisótricamente en probetas de 3.6 cm de diámetro.
- Ensayos de columna resonante consolidados isótricamente en probetas de 3.6 cm de diámetro.
- Ensayos triaxiales estáticos y cíclicos tipo UU, CIU y CID en equipo de altas presiones, en probetas de 10 cm de diámetro.
- Determinación de parámetros dinámicos con cristales piezoeléctricos.
- Permeabilidad con carga constante.
- Pruebas de reología en jales.
- Ensayos de consolidación con carga incremental, con equipos neumáticos y mecánicos.
- Ensayos de consolidación tipo CRS.

Algunos de los equipos de pruebas triaxiales están equipados, contienen sensores para la medición local de presión de poros a la altura media de la probeta y de deformación local en los tercios centrales.

2) Pruebas de campo e *In Situ*:

El laboratorio cuenta con un equipo de sonda suspendida para determinar el perfil de velocidades de onda de cortante y compresión a cada 0.50 m en una preformación de 4" de diámetro, hasta una profundidad de 150 m.

Modelos físicos:

El laboratorio cuenta con equipos y capacidades para realizar pruebas a escala de modelo para replicar condiciones reales de suelos/cimentaciones, ensayados en la mesa vibradora unidireccional. Entre los estudios a escala de modelo realizados se encuentran los siguientes:

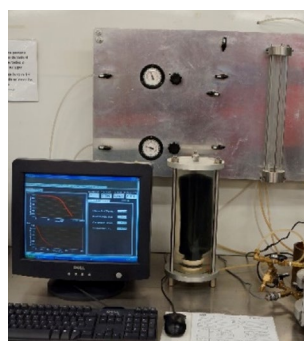
- Modelos de cimentaciones profundas.
- Modelos de muros de contención.
- Modelos con masas en diferentes niveles.
- Modelos de marcos de carga con diferentes grados de libertad.



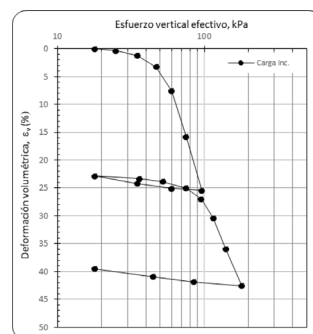
Figura 1. Equipo triaxial estático/cíclico, servo neumático

Alcance de las actividades

El alcance de las actividades del Laboratorio de Mecánica de Suelo es ampliamente reconocido en la comunidad de ingeniería civil en México. Más allá de su papel principal como un instituto educativo y de investigación líder, proporciona aportes positivos a la práctica de la ingeniería, ofreciendo sus servicios de consultoría.



a) Consolidómetro neumático



b) Curva de compresibilidad, carga incremental

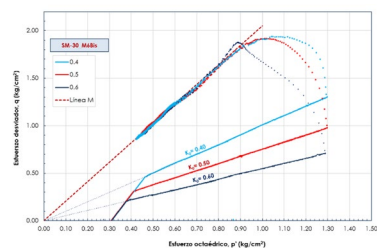
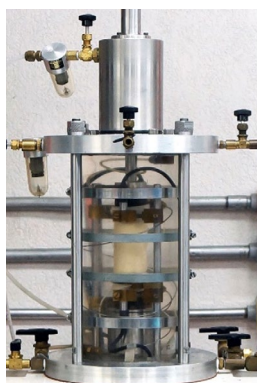
Figura 2. Consolidómetro neumático, carga incremental



Figura 3. Equipo de columna resonante tipo Drnevich



Figura 4. Mesa vibradora unidireccional servo hidráulica



a) Equipo triaxial anisótropo

b) Curvas p' vs q en arcillas, diferentes valores de K

Figura 5. Equipo triaxial estático/cíclico anisótropo, servo neumático

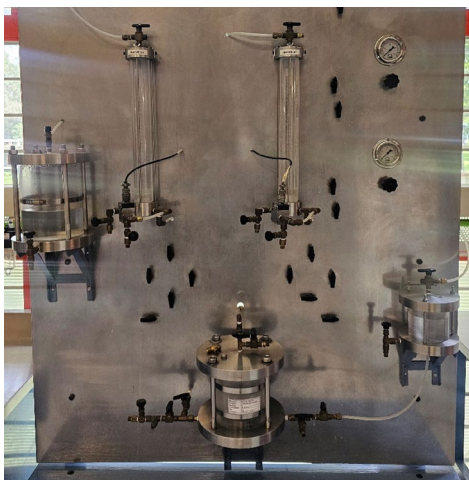
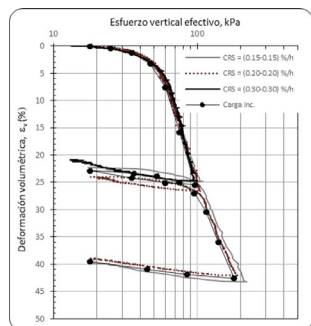


Figura 6. Permeámetro de cara constante



a) Consolidómetro

b) Resultados experimentales

Figura 7. Consolidómetro neumático, carga incremental y deformación controlada

Actividades educativas y de investigación

El laboratorio es principalmente una instalación educativa que tiene como objetivo preparar ingenieros civiles en el campo de la Mecánica de Suelos. En conjunto con el Posgrado de Ingeniería, el IIUNAM ofrece cursos de posgrado a los estudiantes de la UNAM. En el laboratorio participan de forma directa estudiantes de servicio social, tesis de licenciatura, maestría, doctorado y prácticas profesionales de estudiantes de diferentes escuelas, no sólo de la UNAM, además de estancias técnicas cortas de estudiantes y profesores del extranjero. La coordinación de Geotecnia y su laboratorio desempeñan un papel activo en el avance de la práctica de la ingeniería geotécnica en México y en la vinculación con los últimos avances en el extranjero a través de seminarios y conferencias relacionadas con temas de vanguardia. Los académicos de esta coordinación participan en cursos de licenciatura y posgrado, en talleres y seminarios para ingenieros de la práctica profesional, tanto nacionales como extranjeros, en congresos nacionales e internacionales, así como en la atención de visitas cortas de estudiantes y de grupos de ingenieros nacionales y extranjeros.

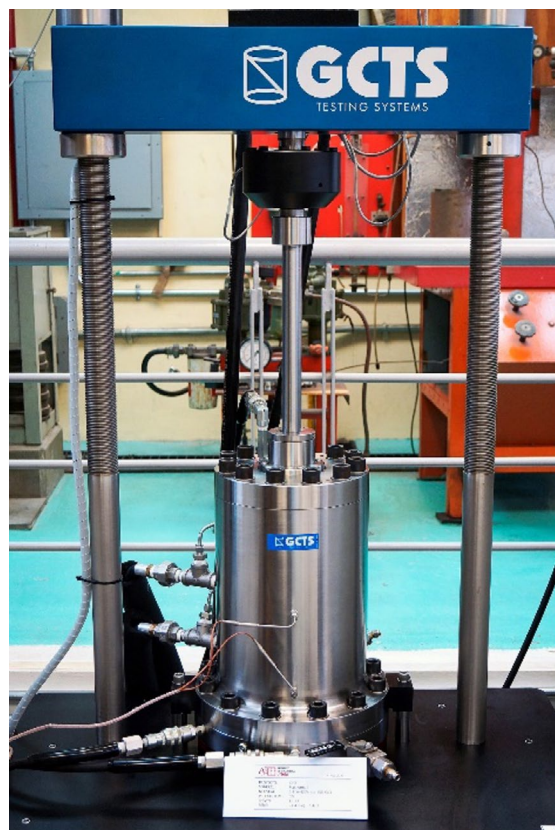


Figura 8. Equipo triaxial cíclico de altas presiones

Servicios de apoyo a proyectos

El laboratorio ha estado activamente involucrado en la participación en proyectos de servicios de consultoría a la comunidad de ingeniería de México. Es una organización de consultoría aprobada por varias empresas del sector privado, además de muchas dependencias gubernamentales.

Contacto

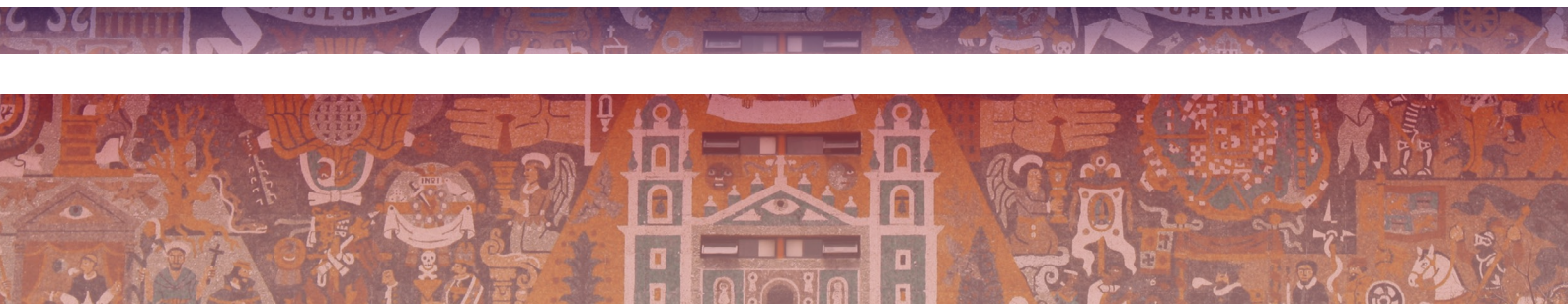
Dra. Alexandra Ossa López
AOssaL@iingen.unam.mx

Dr. Osvaldo Flores Castellón
OFloresC@iingen.unam.mx



Figura 9. Equipo de corte para muestras remoldeadas, torshear

UNAM
Nuestra gran
Universidad



APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA RESIDUAL EN PROCESOS INDUSTRIALES

ELISEO MARTÍNEZ, WILLIAM VICENTE Y MARTÍN SALINAS

La producción de energía primaria en el país está dominada por hidrocarburos como el petróleo crudo (50.98%), gas natural (22.2%) y condensados (7.52%) de acuerdo con el balance nacional de energía (2022). El consumo de los combustibles fósiles implica reacciones de combustión que emiten gases contaminantes al medio ambiente (SO_x , NO_x , CO , CO_2 , inquemados, etc.). La transición energética a energías renovables es de largo plazo porque actualmente, estas energías sólo representan 15.4% (Balance Nacional de energía, 2022) del consumo primario. Por tal motivo, es necesaria la implementación de proyectos de ahorro de energía térmica en procesos industriales que permitan disminuir los consumos de hidrocarburos y las emisiones contaminantes a la atmósfera. Sin embargo, la implementación de sistemas de ahorro de energía térmica requiere un estudio detallado de los fenómenos fisicoquímicos involucrados porque el acoplamiento de estos sistemas deben ser correctos para evitar problemas operativos en los procesos industriales.

En la Coordinación de Ingeniería de Procesos Industriales y Ambientales (CIPIA) se estudia la aplicación de Transferencia de calor, Mecánica de Fluidos y Termodinámica en el aprovechamiento de energía térmica residual proveniente de procesos industriales para el calentamiento de fluidos de trabajo o generación de electricidad. La utilización de una corriente residual de un fluido presenta el inconveniente principal de una baja temperatura y energía de flujo. En algunas ocasiones, el flujo residual contiene especies susceptibles a incrustación en tuberías, pueden provocar corrosión, reaccionar para formar gases ácidos bajo ciertas condiciones termodinámicas y en otras ocasiones pueden generarse problemas de contrapresión, flujo bifásico por cambio de fase, etc. Por consiguiente, el diseño del sistema de recuperación de energía térmica residual tiene que ser riguroso para evitar problemas operativos, porque estos equipos sólo admiten un diseño único para una aplicación específica.

En la CIPIA se estudia la mejora de la transferencia de calor sin descuidar la caída de presión de un flujo residual para mejorar el rendimiento de los recuperadores de calor. Por ejemplo, un estudio propone la implementación de alambres delgados en un recuperador de placas, como se muestra en la Figura 1. El alambre es colocado a diferentes ángulos (θ) y distancias (r/D) para estudiar su efecto en el rendimiento termo-hidráulico (ver gráfica de la Figura 1), con respecto a un caso de referencia sin alambre. La gráfica muestra el rendimiento termo-hidráulico del

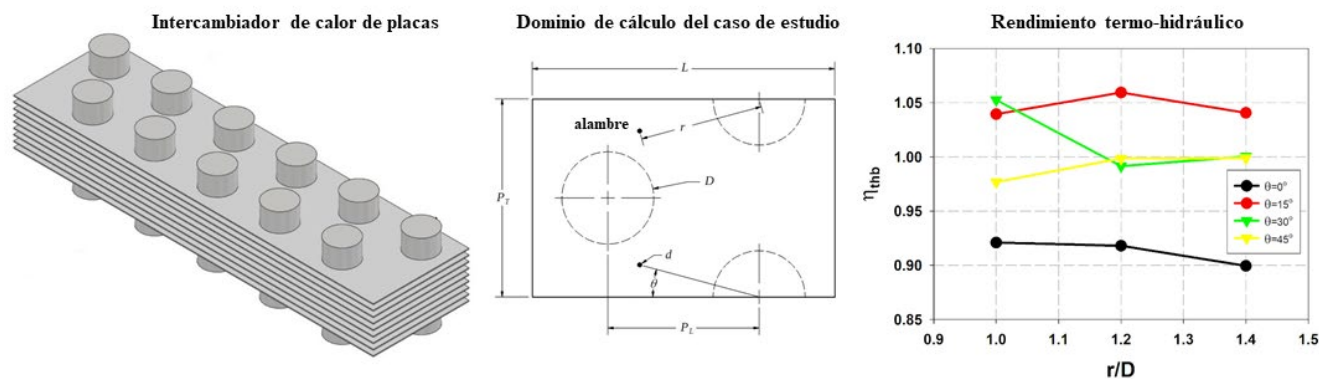


Figura 1. Rendimiento termo-hidráulico del caso de estudio en un intercambiador de placas. $D=0.007\text{m}$

intercambiador de placas con un alambre delgado ubicado a ángulos de 0° , 15° , 30° y 45° , a una distancia (r/D) de 1, 1.2 y 1.4. Los resultados indican que a un ángulo de 15° y una distancia $r/D=1.2$ se obtiene el máximo rendimiento termo-hidráulico (η_{th} de 6%) por la fuerte interacción del flujo con el alambre en las bandas de velocidad. La temperatura del aire y caída de presión aumenta 9.003 y 7.35%, con respecto a un caso de referencia sin alambre. Esto implica una mejora en la transferencia de calor sin una penalización significativa en la disipación de energía de flujo que ocasiona un aumento en el rendimiento termo-hidráulico. Por tanto, la implementación de alambres es sencilla y permite un incremento en el rendimiento del equipo de 5-6% con caídas de presión menores a 249 Pa.

Otro estudio propone eliminar la superficie extendida que no participa significativamente en la transferencia de calor en recuperadores de calor compactos con aleta helicoidal segmentada. La idea es disminuir la masa del equipo para facilitar las maniobras de instalación y montaje en las plantas industriales. Por tal motivo, una simulación numérica fue desarrollada en un banco de tubos reducido con ángulos de corte de 30° , 45° , 60° y 90° , como se muestra en la Figura 2. Las simulaciones se comparan con un caso de referencia (tubos aletados sin ángulo de corte, $\theta=0$). Los resultados muestran que la transferencia

de calor es insignificante en la zona ubicada en la estela (zona de baja velocidad) del tubo aletado como se muestra en la gráfica de la Figura 2. La gráfica muestra la transferencia de calor adimensionalizada a lo largo del banco de tubos y que la formación de la estela coincide con los ángulos de corte a 45° y 60° . Los resultados indican que el impacto de la eliminación de la superficie extendida en esta zona es menor a 1% (45°) y 3.4% (60°) en la transferencia de calor, con respecto a un caso de referencia (sin ángulo de corte, $\theta=0$). Además, la eliminación de la superficie extendida representa una disminución en la masa de las aletas total de aproximadamente 25% ($\theta = 45^\circ$) y 33% ($\theta = 60^\circ$). La idea es proponer la eliminación de superficie extendida que no afecte el rendimiento de recuperadores de calor compactos para que sean atractivos en la implementación de proyectos de ahorro de energía.

Los resultados de las investigaciones presentadas tienen como objetivo impulsar proyectos de ahorro de energía térmica mediante la mejora de recuperadores de calor para el sector industrial. La idea principal es la propuesta de equipos más competitivos, desde un punto de vista técnico-económico, mediante la reducción de los consumos de hidrocarburos y equipos más ligeros para facilitar la instalación y montaje. Además, la implementación de proyectos de recuperación de

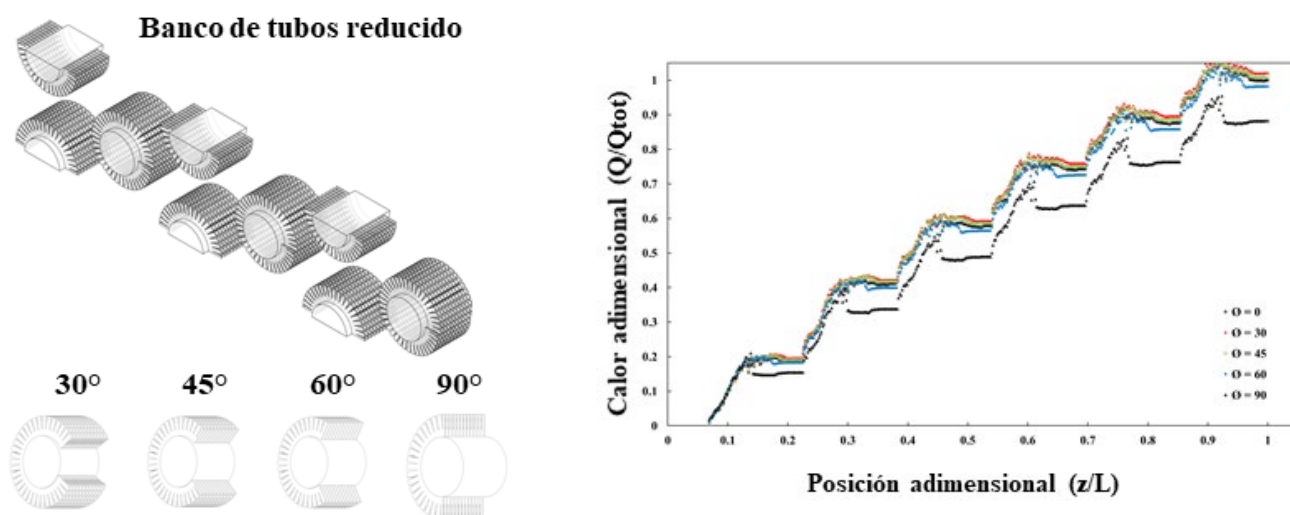


Figura 2. Transferencia de calor a lo largo del banco de tubos reducidos a diferentes ángulos de corte. $L=0.629951m$, $Q_{tot} = 208.6 W$

energía permite reducir las emisiones de contaminantes al medio ambiente. Sin embargo, otras investigaciones deben realizarse para desarrollo e impulso de tecnologías como los generadores termoeléctricos (generación de electricidad a partir de una fuente de calor residual) y termosifones bifásicos (opera con bajos gradientes de temperatura y por cambio de fase). En este sentido, la CIPIA está desarrollando estudios con este tipo de tecnologías para mejorar su rendimiento y para su aplicación a nivel industrial. Estas tecnologías son importantes porque permiten la transición energética a tecnologías con fuentes de energía renovables que están en fase de desarrollo. |

Referencias

- Herrera Hernández, P.; Vicente, W.; Martínez Espinosa, E. y Salinas Vázquez, M. (2024). Numerical study of the effect of a thin wire on the thermohydraulic performance in a plate fin-and-tube heat exchanger. *Applied Thermal Engineering* 244 (2024) 122711.
- Martínez Espinosa, E.; Vicente, W. y Salinas Vázquez, M. (2017). Numerical Analysis for Saving Fin Material in Helical Segmented-Tubes. *Applied Thermal Engineering* 110 (2017) 306-317.
- SENER (2022). Balance Nacional de Energía.

PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS

Nuestras más sinceras felicitaciones al Dr. Luis A. Álvarez Icaza Longoria, investigador de la Coordinación de Eléctrica y Computación, por haberse hecho acreedor al Premio Universidad Nacional Autónoma de México en el área de Innovación Tecnológica y Diseño Industrial como un reconocimiento a su destacada trayectoria en el cumplimiento de las funciones sustantivas de nuestra Casa de Estudios.

Del mismo modo, nos da mucho gusto que la Dra. Brenda Cecilia Alcantar Vázquez investigadora de la Coordinación de Ingeniería Ambiental, haya recibido el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos (RDUNJA). Estas distinciones son un reflejo del esfuerzo de superación de los académicos y académicas de la UNAM.

Felicitamos calurosamente al Dr. Germán Buitrón Méndez, investigador del IIUNAM, por haber obtenido el 1er lugar en el Premio Querétaro de Ciencia, Tecnología e Innovación 2024, en la categoría Estudiantes de Posgrado

y/o investigadores. Este Premio es un reconocimiento para aquellos (as) que con su trabajo individual o colectivo contribuyen al desarrollo y consolidación del Ecosistema Científico, Tecnológico y/o de Innovación en el Estado de Querétaro.

También nos congratulamos por los ingenieros Oscar Arturo Silva Muñoz y Diego Cejín Alcocer, quienes obtuvieron el 2º y 3º lugar respectivamente del Premio Anual Ing. Víctor M Luna Castillo 2024.

Al Ing. Silva Muñoz se le otorgó el reconocimiento por su tesis “Análisis y dimensionamiento de la ruta 7 del Pumabús”, trabajo que desarrolló bajo la supervisión del M. en I. Francisco Javier Granados Villafuerte.

Mientras que el Ing. Cejín Alcocer lo recibió por la tesis “Análisis de flujo de bicicletas públicas dentro del polígono Ecobici con un modelo de asignación todo o nada”, bajo la dirección del Dr. David López Flores.

¡Enhorabuena! |



PREMIO NACIONAL JUVENIL DEL AGUA

Considerando que los jóvenes son los agentes de cambio más importantes para lograr un mundo con seguridad hídrica, la Embajada de Suecia en México, el Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo los auspicios de UNESCO (CERSHI) y la Red del Agua de la Universidad Nacional Autónoma de México (RAUNAM) organizaron el Premio Nacional Juvenil del Agua 2024 (PNJA).

Los ganadores del PNJA compiten en el Premio Nobel del Agua para Jóvenes, siendo esta la competencia estudiantil en material de agua más importante del mundo, organizada por el Stockholm International Water Institute (SIWI).

El Premio Nacional Juvenil del Agua responde al compromiso de México y Suecia para promover acciones que permitan alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 6 “Agua limpia y saneamiento” y para ello se deben:

- 1) Fomentar en los jóvenes la conciencia y el conocimiento sobre el valor y la situación del agua.
- 2) Estimular en los jóvenes el interés por la investigación en materia hídrica.
- 3) Generar futuros líderes del sector con un amplio conocimiento del tema.
- 4) Impulsar aportaciones científicas, tecnológicas o sociales que contribuyan a solucionar problemas locales, regionales y/o globales con respecto al agua.
- 5) Facilitar el trabajo en equipo y el empleo de diversas disciplinas para desarrollar proyectos factibles y con alta calidad técnica.

Para la edición de este año del PNJA la ceremonia de lanzamiento tuvo lugar el 7 de diciembre del 2023, en la Embajada de Suecia en México. Se recibieron un total de 457 propuestas. Para evaluar estos proyectos participaron más de 50 expertos en materia hídrica provenientes de la academia, el gobierno, la iniciativa privada y la sociedad civil. En la evaluación de estos trabajos se consideraron: la relevancia, creatividad, metodología, dominio del tema, habilidades prácticas, reporte y presentación.

La ceremonia de premiación se llevó a cabo el día 13 de junio en la Embajada de Suecia en México, el presídium estuvo conformado por: Gunnar Aldén (Embajador de Suecia en México), Leonardo Lomelí Vanegas (Secretaria de Desarrollo Institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México), Fernando González Villarreal (Director del Centro Regional de Seguridad Hídrica bajo los auspicios de UNESCO; Presidente de la Asociación Nacional de Entidades de Aguas y Saneamiento



Rosa Mendoza Sosa y Shanni Valeria Mora Fajardo, Ganadoras. Foto: ANEAS

y Representante de los Aliados Estratégicos), Rubén Muñoz (Presidente de la Comisión de Recursos Hidráulicos de la Cámara de Diputados), y Jorge Alberto Arriaga Medina (Coordinador del Premio Nacional Juvenil del Agua).

El primer lugar lo obtuvieron Shanni Valeria Mora Fajardo y Rosa Mendoza Sosa del Bachillerato Integral Comunitario N° 29, de Teotitlán del Valle, Oaxaca, con su proyecto “Filtro casero como alternativa para la reutilización del agua entintada en el cultivo de hortalizas”.

El segundo lugar fue otorgado a Paulina Stephany Gallegos Valenzuela y Emily Gallegos Valenzuela del Instituto Piaget, Sinaloa, con su proyecto “Elaboración e Implementación de Sistema Acupónico”.

Al tercer lugar se hicieron acreedores Christopher Orduña Vázquez y Ángel Manuel Trejo Montoya del CECyTE Guanajuato, Plantel Doctor Mora, Guanajuato, con el proyecto “Hidrovida: Monitoreo de agua y educación ambiental a través de IoT”.

Hubo un cuarto premio denominado “Premio del Público”, otorgado a Rebecca Martino Hernández y Abril Paola Herrera Correa del Conalep Torreón, con el proyecto “PGAAs. Agua sin arsénico”.

Las ganadoras viajaron a Suecia para presentar su proyecto en el Stockholm Junior Water Prize (SJWP), además de participar en diversas actividades en el marco de la Semana Mundial Del Agua, en donde Shanni Mora y Rosa Mendoza recibieron el Diploma a la Excelencia 2024, en el evento de premiación del SJWP, “Nos sentimos muy contentas por vivir esta increíble experiencia; sólo quiero decir ¡gracias! a todos los que hicieron esto posible.” Mencionó Shanni Mora.

Por su parte, la Dra. Rosa María Ramírez Zamora, directora del Instituto de Ingeniería, becará a las ganadoras del PNJA por seis meses para que continúen desarrollando su proyecto.

Para finalizar, el Embajador de Suecia en México, Gunnar Aldén afirmó que: “Con este Premio queremos inspirar a las y los jóvenes de México para que se conviertan en las próximas científicas y científicos que ayuden a resolver los problemas del agua”.

RECUPERACIÓN DE RÍOS URBANOS

VERÓNICA BENÍTEZ ESCUDERO

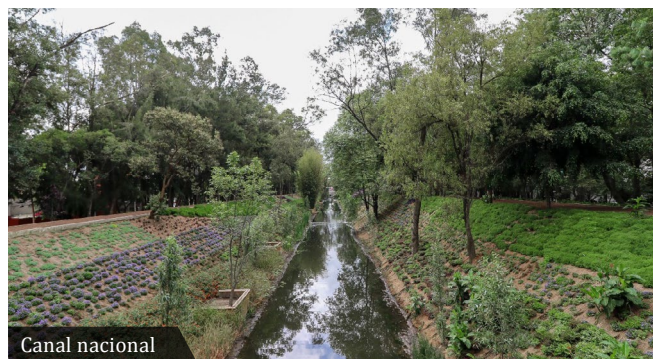
Recuperación de la calidad de los ríos urbanos mediante el tratamiento de aguas residuales, fue el tema que presentó la Dra. Rosa María Ramírez Zamora como líder del proyecto SECTEI, desarrollado en colaboración con la UAM y con el apoyo del Gobierno de la Ciudad de México.

La problemática del agua la sufrimos de una manera intensa, por ello, las autoridades de la CDMX han emprendido acciones para la recuperación, la reutilización y el ahorro de este líquido principal para el ser humano y para el planeta —comentó la Dra. Ramírez—.

La visión de las autoridades es recuperar todos los cuerpos de agua, protegerlos, preservarlos y con eso, garantizar la seguridad hídrica de las ciudades. Desafortunadamente, —continuó— estos cuerpos de agua se han ido perdiendo, lo que es preocupante, pues además de que realizan acciones ambientales, económicas y sociales, impactan también en actividades culturales, recreativas, de navegación fluvial, de ecoturismo y en la agricultura, es decir, representan tanto recursos como seguridad hídrica para la población.

Los ríos o sistemas fluviales han sufrido alteraciones estructurales en su cauce, por contaminación o por cambio climático, esto afecta a la flora y a la fauna local que en ocasiones es atacada por fauna nociva; estas amenazas que sufren los ríos urbanos repercuten en el flujo, en la carga de sedimentos, en compuestos tóxicos y en la disminución del ancho del canal, lo que baja la conectividad adecuada de estos cuerpos superficiales.

Los contaminantes que se presentan en los ríos urbanos provenientes de las aguas residuales domésticas e industriales son metales pesados y productos químicos relacionados con la higiene; también, hay infiltraciones que degradan la calidad de los cuerpos subterráneos. Por otra parte, la escorrentía urbana contiene productos químicos que, junto con sus envases, así como el deshecho de las mascotas, van a contaminar a los ríos urbanos y al sistema de alcantarillado de las ciudades.



Hay fuentes naturales antropogénicas que dependen del uso del suelo y del manejo de la infraestructura de las casas y de su tratamiento antes de ser vertido al sistema de alcantarillado o al mismo río. Existen normas que indican cómo se deben tratar las aguas residuales antes de ser descargadas al drenaje o a los cuerpos de agua; de no seguir esta norma, se va a impactar la biodiversidad y se puede romper el equilibrio del ecosistema.

Las descargas de aguas residuales, aunque sean tratadas, deben de manejarse cuidadosamente. En el agua de los ríos hay fertilizantes, nutrientes, nitrógeno total, plaguicidas, fósforo total, demanda biológica de oxígeno, contaminantes orgánicos biodegradables e inorgánicos no biodegradables, sólidos disueltos totales, todos estos son parámetros que están presentes en los ríos urbanos en una cantidad elevada debido no sólo al alto nivel poblacional, también a la actividad industrial.

Los metales pesados son otro parámetro que se encuentran en ríos urbanos; la presencia de todos estos contaminantes trae como consecuencia la disminución del oxígeno disuelto en los ríos, lo que afecta a las especies acuáticas de nuestro sistema. La contaminación de los ríos se ha asociado también a los gases de efecto invernadero, esto contribuye al cambio climático. Los gases de efecto invernadero detectados en los ríos son: el CO₂, el metano y los óxidos de nitrógeno, estos provienen de las descargas de aguas residuales tratadas o no tratadas, así como lodos y otros contaminantes en estado sólido que descarga la gente directamente a los ríos.

La recuperación de los ríos debe de ser integral, por lo que hay que considerar los factores sociales, ambientales, económicos y políticos; además, se requiere de diferentes expertos y de observar la normatividad considerando la legislación mexicana sobre este tema.

Para lograr que una sociedad, una ciudad sea sostenible y resiliente, debemos contar con las acciones del gobierno, la planeación urbana y la capacidad de gestión; deben tener esos programas para una funcionalidad espacial, sostenibilidad económica y eficiencia energética hídrica. Como podemos ver, hacen falta muchos estudios tanto en ríos rurales como urbanos —concluyó—. |

LAZOS DE COLABORACIÓN ENTRE LA UNIVERSIDAD DE ILLINOIS Y EL II UNAM

Desde hace algunos años, la Universidad de Illinois y la UNAM tienen una colaboración muy activa en investigación –comenta la Dra. Elvira de Mejía, Directora del Illinois Mexican and Mexican American Students. Ambas universidades de manera conjunta financian a sus investigadores quienes trabajan en un tema de interés común que puede ser: agua, energía, etc.



De izquierda a derecha. Lizbeth Campos, Elvira de Mejía, Rosa María Ramírez Zamora, Pradeep Khanna, Norma Patricia López y Miriam Hernández

Por ejemplo, el tema del sargazo fue una de las investigaciones realizadas con la sede de Sisal, Yucatán del Instituto de Ingeniería, problema que afecta no sólo al estado de Yucatán, también al de Quintana Roo. Los investigadores participantes han buscado diferentes alternativas, una de ellas es usar el sargazo como energía para que, además de limpiar la zona, se obtenga provecho de esta situación.

Este intercambio científico beneficia también a los estudiantes, pues tienen oportunidad de realizar estancias en ambas dependencias. La relación académica continúa a pesar de que el proyecto del sargazo ya terminó. Nuestros estudiantes están interesados en hacer un posgrado ya sea para dedicarse a la vida académica o para estar mejor preparados al incorporarse a la industria. Los estudiantes que han participado en la Universidad de Illinois y en la UNAM cuando regresan a sus países se desempeñan exitosamente en el campo profesional.

Unir esfuerzos entre ambas universidades es abrir puertas para dar solución a problemas sociales, trabajar de manera conjunta para alcanzar una meta, incrementa la oportunidad de conseguir financiamiento externo.

Estamos muy agradecidos con la UNAM, con el señor rector y con los directivos de las instituciones, porque han confiado en las tres sedes de la Universidad de Illinois: Urbana-Champaign, Chicago y Springfield, han confiado en nuestros profesores, han confiado en que lo que queremos es crecer juntos, aprender más, descubrir más y ser más innovadores -concluyó-.

PROFESOR VISITANTE DEHUA LIU DE LA UNIVERSIDAD DE TSINGHUA

El Prof. Dehua Liu, de la Universidad de Tsinghua, visitó el Instituto de Ingeniería de la UNAM el 28 de octubre con el fin de afianzar las actividades establecidas en el convenio de colaboración firmado entre esta Universidad y la UNAM en 2018, así como para promover el Programa para jóvenes científicos extranjeros del Ministerio de Ciencia y Tecnología de China (MOST por sus siglas en inglés) conocido como el Young Talent Scientists Program cuyo objetivo es que jóvenes científicos extranjeros realicen proyectos de colaboración en China en las áreas de biocombustibles, ambiente, agricultura y biomateriales, entre otros.

Por la mañana, el profesor Liu impartió la conferencia Advances on biofuels and other environmental issues in Tsinghua University: Collaboration expectatives with UNAM. Además, por la tarde, participó en el evento Intercambio académico UNAM-Universidad de Tsinghua, dirigido a jóvenes investigadores(as) y posdoctorantes de la UNAM interesados en las áreas arriba señaladas.

Estrechar los lazos de colaboración entre universidades es promover el avance de la ciencia.



NUEVO NOMBRAMIENTO

A partir del 1 de noviembre, **Mónica Berenice Esquivel Pacheco** asumirá el cargo de asistente de Dirección, en sustitución de **Rosevelia Ruenes Morales**, quien demostró profunda dedicación y compromiso durante el tiempo que laboró en el Instituto, contribuyendo de manera significativa a nuestros logros y crecimiento.

MES DE LOS CUIDADOS

VERÓNICA BENÍTEZ ESCUDERO

“El mes de los cuidados” es un evento que organiza el STUNAM a solicitud de los representantes sindicales y la Comisión de Igualdad de Género, estas últimas del Instituto de Ingeniería; el evento tuvo lugar el 11 de septiembre en las instalaciones del IIUNAM.

Comenta la Maestra Michel Álvarez Hernández, enlace interinstitucional para jornadas de salud del STUNAM que en esta ocasión se aplicaron, sin costo alguno, pruebas de sífilis, VIH, virus del papiloma humano, glucosa, antígeno prostático, además de vacunas de tétanos, hepatitis y COVID. También, la Comisión de Igualdad de Género de esta dependencia consiguió la realización de mastografías por parte de una empresa privada que se llama MEIK con un novedoso sistema que no causa dolor a un costo accesible.

La atención fue para toda la comunidad UNAM, pero muy dirigido a la de este instituto, ya que muchas veces por la carga de trabajo no se dan el tiempo para realizarse este tipo de pruebas, la mayoría de ellas son muy sencillas, con la toma de una o dos gotas de sangre colocadas en un *cassette* podemos medir si hay una elevación en algún nivel. Si llegara a salir positivo, por ejemplo, en el caso de VIH, sífilis o hepatitis, los equipos que nos acompañan del Instituto Nacional de la Juventud (INJUVE) de Ciudad de México, canalizan a la persona a la Clínica Condesa que se especializa precisamente en este tipo de casos.

También, se tomaron signos vitales, medición de riesgo cardiovascular, peso, talla y circunferencia del abdomen para sacar el índice de masa corporal.

Actualmente, en relación a la vacuna contra el COVID, las personas se pueden poner cualquier biológico que esté disponible en el mercado. Respecto a la vacuna contra el tétanos, ésta se pone una dosis inicial, al mes se recomienda el refuerzo y después cada diez años.

En el caso de la hepatitis B, es para adultos hasta los 39 años, únicamente son dos dosis en la vida, una se aplica cuando somos niños y la segunda dosis de adultos hasta los 39 años.

Las pruebas de VIH, sífilis y hepatitis están indicadas para hombres y mujeres que inician vida sexual activa, ya que siempre se tiene el riesgo de adquirir alguno de los padecimientos antes citados; también, se recomienda a personas que trabajan o que tienen contacto con residuos sanguíneos o fluidos como la saliva, el semen y las secreciones vaginales.

Los jóvenes que inician vida sexual activa tienen derecho a realizarse estas pruebas sin que medie la autorización de padre, madre o tutor; lo mismo ocurre con los métodos anticonceptivos, esto se encuentra establecido en la norma oficial mexicana.

Con el apoyo de la Alcaldía Coyoacán, tenemos un camión donde están brindando métodos anticonceptivos como dispositivo intrauterino medicado que le llaman dispositivo hormonal, lo único que requieren es que vengan con sangrado menstrual para hacer la maniobra. El implante subdérmico de una varilla tiene una duración de tres años; el de dos varillas dura cinco años. Estos implantes son un método anticonceptivo a largo plazo y consisten en una inserción con previa asepsia, hacen una sanitización, colocan lidocaína y se procede a la colocación, el procedimiento lleva 15 minutos.

Lo que estamos haciendo hoy aquí, lo venimos realizando en todas las dependencias de la UNAM, este es un proyecto del STUNAM promovido por nuestro Secretario General, el Licenciado Carlos Hugo Morales Morales y la Ingeniera Marta Villavicencio, Secretaria de Conflictos, así como del resto del Comité. Lo que se busca es incidir en una cultura de fomento a la salud pública.

El objetivo principal es la comunidad universitaria, pero no sólo a trabajadores, académicos y estudiantes, también es para los familiares o para alguna persona que lo solicite, únicamente se les pide identificarse con el INE, credencial de trabajador, CURP o número de seguridad social, esto para justificar el uso de los insumos que vienen de todas las grandes instituciones que contamos en el país, IMSS, ISSSTE, Secretaría de Marina y ahora la nueva fusión IMSS-Bienestar, Instituto Nacional de la Juventud, Inmujeres, todas las instituciones que se quieren subir al barco. Como sindicato, únicamente hacemos la mediación para que puedan llegar los equipos de salud y puedan brindar los servicios.

Éste es un proyecto exitoso, de hecho, somos el primer sindicato en el país que está llevando a cabo jornadas tan intensas, ya que la meta es llegar a todas las dependencias desde Baja California hasta Mérida. Ya salimos a nuestras sedes foráneas: Fes Zaragoza, en la unidad Tlaxcala, Morelos, Morelia, Oaxaca. En próximas fechas vamos a ir a ENES Juriquilla en Querétaro, a ENES León en Guanajuato y a ENES San Miguel Allende. Nosotros vamos conforme nos van invitando y tenemos la posibilidad de hacer los enlaces para que las entidades al interior de la república colaboren con nosotros. |



DÍA DE MUERTOS EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA

Una de las tradiciones más arraigadas en México es rendir culto a nuestros muertos, muestra de ello son los eventos que la Dra. Neftalí Rojas organizó con apoyo de la comunidad del Instituto de Ingeniería. Estos eventos se llevaron a cabo el miércoles 30 de octubre, entre ellos: se proyectó un documental sobre este tema, al terminar se llevó a cabo un desfile de disfraces, elaborados con materiales reciclables, en el que veinte estudiantes mostraron su creatividad, posteriormente se dio paso al concurso de la calavera literaria, donde siete personas mostraron su ingenio para las letras, y por último hubo dos participantes en la calavera artesanal elaboradas con residuos que llamaron la atención de los asistentes.

Una vez terminado el evento, la Dra. Rosa María Ramírez, directora del Instituto, invitó a los presentes a romper una piñata y a tomar una taza de chocolate con pan de muerto. La Dra. comentó que este tipo de convivencias hacen falta para fomentar el acercamiento entre el personal de la dependencia.

REPORTAJES DE INTERÉS



CONCURSO DE DISFRACES

1^{er} lugar Jonathan Javier Moreno Cabrera,
Tiliche de Oaxaca (Telas viejas)

2^{do} lugar Kelly (Facultad de Ingeniería),

Falda hecha con cortina (Alambre, tubos de toallas de baño y folders)

3^{er} lugar Yiliane Matamoros Martínez,
Catrina 2024 (Periódico. Plástico y CD's)

CALAVERITA LITERARIA 2024 1^{er} lugar

Por Natalia Montalván Romero, II-UNAM

En el Instituto de Ingeniería se pensaba,
Que sus ingenieras, e ingenieros, eran muy avispados
El ingenio en su mente desbordaba
Aunque esto, no les quitaba lo cuadrado.

La Muerte bien calada ante los necios estaba
Y al Instituto avanzó, pues un alma necesitaba
Entre cálculos complejos y diseños monumentales,
Nadie sospechó que la Muerte rondaba
por los pasillos centrales.

Ingenieras e ingenieros deambulaban con aflicción
Con siluetas esqueléticas y ojeras bien marcadas
La huesuda se alegró pues ni ella se veía tan demacrada
Y por un momento por los inges ella sintió compasión

A la Torre de Ingeniería, la Muerte se trasladó
¡Qué dedicación tan feroz!, la Muerte perpleja quedó
Pero no le quedaba tiempo y la puerta decidió derribar
"Dejen ya sus proyectos que al más allá me los voy a llevar"

Los ingenieros a la flaca con gusto recibieron
"No le tememos a la muerte, pues nuestro legado
Quedará en las obras que hemos levantado."
Y así, con alegría, los ojerosos ingenieros,
a la muerte siguieron.

CALAVERITA LITERARIA 2024 2^o lugar

Por: Verónica Benítez

La parca andaba aburrida
Y al instituto llegó
Vio a un grupo divertido
Y con ellos se quedó

Vio que estaban disfrazados
Y mucho se sorprendió
Que ingenió de estos muchachos
y eso si que le gustó

Caminando, caminando
Con la ofrenda se topó
Vio que estaba muy bonita
Y sí, los felicitó

La catrina muy contenta
Pa sus adentros pensó
Seguro que este evento
Neftalí lo organizó

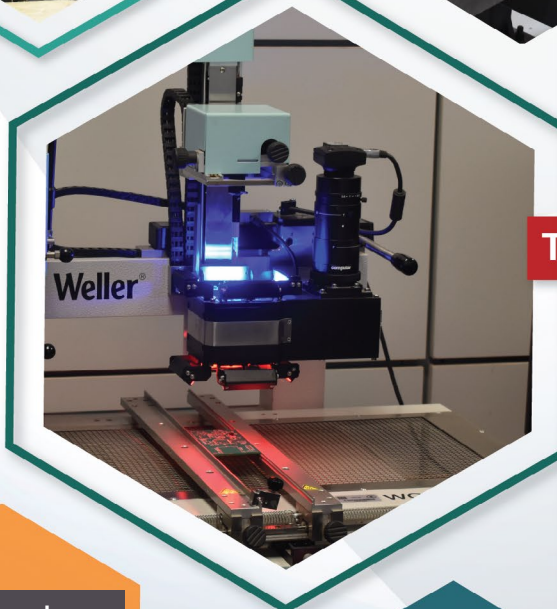
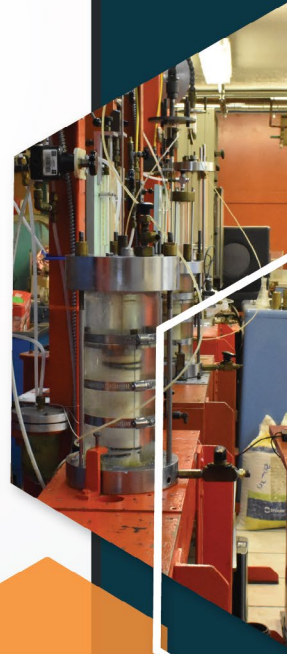
Siempre se acuerda de mí
Por eso la quiero yo



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

PUERTAS 20 ABIERTAS 24

en el Instituto de Ingeniería UNAM



Consulta las rutas
de los laboratorios

Jueves
21 de noviembre

Torre de Ingeniería UNAM

AUDITORIO
José Luis
Sánchez Bribiesca

A UN COSTADO DE LA ALBERCA
EN CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX

Recorridos

10:00 a 14:00 h

y

16:00 a 18:00 h