

Medio ambiente y sociedad

La aplicación de tecnología para resolver problemas socioambientales



Coordinadoras:

Esmeralda Cervantes Rendón
Gabriela Montano Armendáriz

© El Colegio de Chihuahua
© Esmeralda Cervantes Rendón
© Gabriela Montano Armendáriz

El Colegio de Chihuahua
Calle Partido Díaz No. 4723
Colonia Progresista, C. P. 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Primera edición versión digital 2017
ISBN: 978-607-8214-45-7

Coordinación editorial y cuidado: Liliana Chaparro
Diseño editorial y portada: Marla Rascón
Corrección: Jorge Alberto Muñoz Manzo

Se autoriza cualquier reproducción total o parcial de esta obra, siempre y cuando sea sin fines de lucro para usos estrictamente académicos, citando invariablemente la fuente sin alteración del contenido y dando los créditos autorales.

Supervisor del arbitraje:
Marcos Delgado Ríos

Lista de árbitros

Marco Tulio Gallo Estrada	Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Víctor Hugo Ramos Sánchez	Universidad Autónoma de Chihuahua
Arturo Woocay Prieto	Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
Elías Ramírez Espinosa	Centro de Investigación en Materiales Avanzados
Alfredo Campos Trujillo	Centro de Investigación en Materiales Avanzados
Alejandro Martínez Martínez	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Humberto García	Instituto Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad Juárez
David Chávez Flores	Universidad Autónoma de Chihuahua
Rigoberto García Ochoa	El Colegio de la Frontera Norte
José Trinidad Reyes Portillo	Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez
María de Lourdes Romo Aguilar	El Colegio de la Frontera Norte
Gustavo Córdova Bojórquez	El Colegio de la Frontera Norte
Pablo Lavín Murcio	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Jonatán Torres Pérez	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Benjamín Carrera Chávez	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Índice

<i>Prólogo</i> <i>Antonio Rodríguez Martínez</i>	5
Relatoría del 2o. Congreso Internacional de Medio Ambiente y Sociedad (2o. CIMAS) <i>Gabriela Montano Armendáriz</i>	9
Determinación teórica de la emisión de CO ₂ de una planta OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) en la zona de Puerto Ángel, Oaxaca, México <i>Alejandro García-Huante, Miguel Ángel Alatorre-Mendieta, Martín Merino-Ibarra y Rodolfo Silva-Casarín</i>	11
Aceite mineral residual, desecho de transformadores, municipio de Atlixco, Región V, estado de Puebla <i>Josefina Sánchez Aguilar, Bernardo Gómez Sánchez, Odilón Vázquez Cuchillo, Luis Ricardo Morales Juárez</i>	31
Impacto ambiental de los vertidos de procesos de desalinización mediante la evaluación de la capacidad germinativa de higuierilla (<i>Ricinus communis L.</i>) <i>Tatiana Sarahí Martínez Torres, Germán Eduardo Dévora Isiordia, Luis Carlos Valdez Torres, Jesús Álvarez Sánchez y Omar Cuevas Salazar</i>	55

Análisis mediante simulación numérica de un sistema ventana-torre de viento, a partir de la disposición de vanos en un clima cálido subhúmedo	71
<i>Adalid Román Vargas, Jorge Ojeda Sánchez, Carlos Javier Esparza López.....</i>	
El comportamiento de la temperatura de un elemento vegetal, por medio de termografías, en un clima cálido subhúmedo <i>José Alberto Méndez Gómez, Adalid Román Vargas, Carlos Javier Esparza López y Jorge Armando Ojeda Sánchez.....</i>	99
Estrategias para la generación del diálogo y la participación social por una concientización ambiental desde la academia hacia la sociedad <i>Esmeralda Cervantes Rendón, Claudia Janet Laffont Castañón, Celina Alvarado Gamiño, Néstor Ricardo Acosta Caro del Castillo, Víctor Manuel Herrera Correa y Gabriela Montano Armendáriz</i>	121

Prólogo

EL MEDIO AMBIENTE Y LA SOCIEDAD SON DOS PILARES FUNDAMENTALES de la sustentabilidad. Si bien es cierto, el factor económico es determinante en la viabilidad financiera de las nuevas tecnologías, es un reto que merece la atención y acción de todos nosotros para promover el desarrollo y aplicación de la ciencia y tecnología en resolver problemas socioambientales.

Una sociedad bien informada es un ingrediente crítico para el desarrollo sustentable. Todas las acciones que ejercen algún impacto sobre el ambiente provienen, en última instancia, de personas. En general, la sociedad en su conjunto está preocupada por el medio ambiente, pero existe el “mito” de la complejidad y la escala de los problemas. Dada la diversidad de perspectivas e intereses que compiten entre sí, frecuentemente resulta difícil saber qué información, metodología o procedimiento es necesario para resolver problemas comunes como el manejo integral del agua, energía, alimentos o residuos sólidos, entre otros. El desarrollo sustentable solamente podrá ser posible una vez que seamos conscientes de la interdependencia de la sociedad, el medio ambiente y los recursos energéticos.

El libro *Medio ambiente y sociedad: La aplicación de tecnología para resolver problemas socioambientales*, es un paso hacia la vinculación entre la sociedad, el medio ambiente y la aplicación de la tecnología a la resolución de problemas de sustentabilidad.

En el capítulo uno se presenta una metodología para estimar teóricamente la emisión de bióxido de carbono de una planta de conversión de energía térmica oceánica (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC) en la zona costera de Puerto Ángel, Oaxaca, México, en la cual se aprovechan los gradientes de temperatura entre aguas superficiales cálidas y las aguas profundas frías para generación de electricidad. Los resultados muestran la sustentabilidad medioambiental con base en la comparación de una planta OTEC con tecnologías convencionales para producir electricidad.

En el capítulo dos se hace una caracterización de aceite mineral residual, el cual es un residuo de transformadores eléctricos de la ciudad de Atlixco, Puebla. Es importante mencionar la importancia de identificar los contaminantes de los residuos para poder diseñar y desarrollar procesos que permitan su gestión integral y así poder incorporarlos a otros procesos o cadenas productivas.

En el capítulo tres se evalúa el impacto ambiental de los vertidos de los procesos de desalinización mediante la capacidad de germinación de la higuera (*Ricinus communis L.*). La salmuera producida en el proceso de desalación del agua, es un subproducto que por su alta concentración de sales no es viable de utilizar para riego agrícola. Los resultados del estudio concluyen que a concentraciones superiores de 10 dS/m, como lo es en el caso del Valle del Yaqui en Sonora, no son aptas para el crecimiento de la higuera, con el consecuente impacto negativo al medio ambiente.

En el capítulo cuatro se presenta el uso de herramientas de simulación numérica a un sistema ventana-torre de viento, a partir de la disposición de vanos en un clima cálido subhúmedo. Una de las motivaciones del trabajo es evaluar condiciones de confort en edificaciones mediante el análisis de la ubicación de vanos de entrada y salida de aire. Los resultados concluyen la factibilidad del uso de herramientas de simulación numérica para la ubicación de vanos para favorecer los cambios de aire por hora, sin embargo, es necesaria su implementación para validar los modelos empleados.

En el capítulo cinco se muestra el comportamiento de la temperatura de un elemento vegetal, por medio de termografías, en un clima cálido subhúmedo. Se pretende demostrar mediante el uso de termografía que la evapotranspiración causada por las especies reales presentes en temperaturas inferiores a la de las especies inertes. Los resultados muestran que la vegetación tiene relevancia en la reducción de la temperatura, lo cual podría

apoyar teorías para la disminución de la temperatura global de la tierra por acción de los gases de efecto invernadero.

Finalmente, en el capítulo seis se presentan estrategias para la generación del diálogo y la participación social desde la academia hacia la sociedad para una concientización ambiental en materia de energías renovables. Para poder implementar las estrategias es importante contar con la participación de asociaciones civiles, el sector privado y la academia para lograr un trabajo colaborativo tanto en el diseño como en el desarrollo y la difusión de las actividades. Como parte importante a resaltar en este trabajo, es la identificación de la necesidad en la concientización del académico para comprender los problemas y la relación sociedad y medio ambiente y no como un objeto de estudio, sino como una parte complementaria y que es necesario entender para poder llegar a un diálogo, además del interés por parte de la sociedad en la difusión del conocimiento científico y tecnológico.

Cabe mencionar que este libro de temas de medio ambiente y sociedad es para el público interesado en la aplicación de tecnologías para resolver problemas socioambientales, así como de mecanismos de intercambio de conocimientos entre la academia y la sociedad.

Antonio Rodríguez Martínez
Cuernavaca, Morelos, 2016

Relatoría del 2o. Congreso Internacional de Medio Ambiente y Sociedad (2o. CIMAS)

EL SEGUNDO CONGRESO INTERNACIONAL DE MEDIO AMBIENTE y Sociedad, se llevó a cabo del 17 al 21 de octubre de 2016, en El Colegio de Chihuahua, en Ciudad Juárez, Chihuahua, con el tema principal "El uso de las energías alternativas para resolver problemas sociales" y fue la sede temática de Energías Renovables del 6o. Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático (CNICC) organizado por el Programa de Investigación de Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El objetivo del 2o. CIMAS fue crear un espacio de comunicación entre los diferentes actores e interesados en las problemáticas de medio ambiente a nivel nacional e internacional con especial énfasis en el uso de las energías alternativas, el impacto de la *Ley de transición energética*, la generación de modelos de negocios, el cambio climático y la resolución de problemas sociales.

El evento contó con actividades precongreso que incluyeron cinco talleres en los temas de: ahorro energético en el hogar y en la industria, el análisis de la Reforma Energética y la *Ley de transición energética*, modelo de negocios en energías alternativas, energía en el hogar y la calidad del aire para la población en general y el taller de introducción a la energía solar fotovoltaica. En los cuales participaron alrededor de 100 asistentes.

En conjunto los talleres fueron los ejes principales que guiaron los tres días del CIMAS el cual constó de nueve mesas con 26 expositores, 17 pósters,

la presentación de la Plataforma Juárez Recicla, el directorio web de los centros de acopio y las recicladoras de la ciudad; se expusieron las experiencias con la sociedad en las diferentes actividades y la presentación del Plan Ciclista, la Ruta Universitaria.

Los temas presentados fueron un análisis de la situación en todo el país, mostrando la transición al uso de las energías renovables y las múltiples posibilidades de utilizar la energía solar en nuestro hogar, los implementos necesarios para la generación constante de energía que ayudan a bajar los costos diarios y siempre desde el punto de ser conscientes del uso de la energía.

Tuvimos tres conferencias magistrales, nos acompañó el director de Consulta y Evaluación de Impacto Social de la Secretaría de Energía, el maestro Oswaldo Mena, quien expuso la modernización del reparto de energía a nivel nacional, la importancia de los certificados de energías limpias y nos invitó a aprovechar una energía de costo más accesible tanto para la casa, como la industria y puntualizó que este nuevo proceso de renovar la distribución de energía en el país nos adentrará en un mecanismo competitivo de energías renovables.

La segunda conferencia magistral del doctor Claudio Estrada nos habló de la importancia de la energía solar y las tendencias de desarrollo, reconociendo que Juárez y Sonora son dos lugares de mayor irradiación solar en el país.

Por su parte, el doctor Foster resumió el desarrollo de las energías renovables en la frontera México y Estados Unidos mostrando las diferentes maneras de solucionar problemáticas de la vida diaria con ejemplos como el destilador solar.

Lo más importante del CIMAS fue que el programa de actividades se engalanó con la presencia de investigadores de diversos lugares del país, describiéndolos por los diversos asistentes como grandes investigadores no solo por su trayectoria, sino por estar abiertos al diálogo, características que les ayudaron a transmitir su conocimiento a más de 150 estudiantes de educación superior.

En conjunto, investigadores y estudiantes generaron un espacio de aprendizaje, motivando a la concientización de las energías renovables en su uso diario.

Gabriela Montano Armendáriz
Octubre 2016

Determinación teórica de la emisión de CO₂ de una planta OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) en la zona de Puerto Ángel, Oaxaca, México

García-Huante, Alejandro,¹ Alatorre-Mendieta, Miguel Ángel;² Merino-Ibarra, Martín² y Silva-Casarín, Rodolfo³

Introducción

LOS OCÉANOS FUNCIONAN COMO GRANDES COLECTORES SOLARES que recientemente el ser humano ha tenido el interés de estudiar y explotar. Actualmente, se aprovecha la fuerza de las olas (energía undimotriz), los vientos (energía eólica) y la fuerza de las mareas (energía mareomotriz); sin embargo, dentro de este grupo se encuen-

-
- 1 Posgrado en Ingeniería Civil, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Correo electrónico: AGarciaHu@iingen.unam.mx
 - 2 Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Ciudad Universitaria, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Correos electrónicos: maam@cmarl.unam.mx y mmerino@cmarl.unam.mx
 - 3 Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Correo electrónico: RSilvaC@iingen.unam.mx

tra la energía térmica oceánica con importantes gradientes, por medio de los cuales se puede extraer la energía existente entre las aguas superficiales cálidas y las aguas profundas frías (Avery y Wu, 1994).

Para el mejor aprovechamiento del gradiente térmico en el mar se requiere que tal diferencia sea del orden de 20°C o mayor -preferentemente- (Avery y Wu, 1994; Vega, 2007; Kim *et al.*, 2013). Por este motivo las regiones ecuatoriales y subtropicales son las zonas más adecuadas para el aprovechamiento de este tipo de energía: por ejemplo, la parte occidental y una porción de la zona oriental del Océano Pacífico (donde se encuentran las diferencias térmicas más grandes, incluido el litoral mexicano), regiones del este y oeste de centroamérica y algunas áreas alejadas de la costa sur de los Estados Unidos y el oriente de la Florida (Fernández-Diez, 2007).

Sin embargo, no todas estas regiones son factibles para la utilización del gradiente térmico oceánico desde el punto de vista económico y técnico debido a la distancia existente entre la línea de costa y la profundidad a la que se puede obtener el gradiente mínimo, pues si la misma es mayor a 10 kilómetros ocurrirá una pérdida muy grande de energía eléctrica durante su transporte a la zona poblada (Avery y Wu, 1994).

Por otro lado, con los avances tecnológicos en algunos componentes, como lo son los intercambiadores de calor, los condensadores y los evaporadores (de fabricación japonesa en la mayoría) se ha logrado obtener energía eléctrica con un gradiente menor a 20°C (18°C en las regiones de Okinawa, Japón y Goseong, Corea del Sur) teniendo una eficiencia térmica importante (Kim *et al.*, 2013).

Si se compara la energía térmica oceánica con el resto de las demás fuentes renovables, su investigación y proyectos todavía se encuentran en una fase preliminar, pero su potencial es muy alto. Un dato a tener en cuenta es que, en un año, la energía solar absorbida por los océanos es de unas cuatro mil veces la energía que actualmente consume la humanidad. Esto ha permitido a los investigadores en energías alternas la posibilidad de obtener dividendos importantes en ese rubro a partir de una técnica llamada OTEC (conversión de la energía térmica oceánica por sus siglas en inglés) (Beck, 1975).

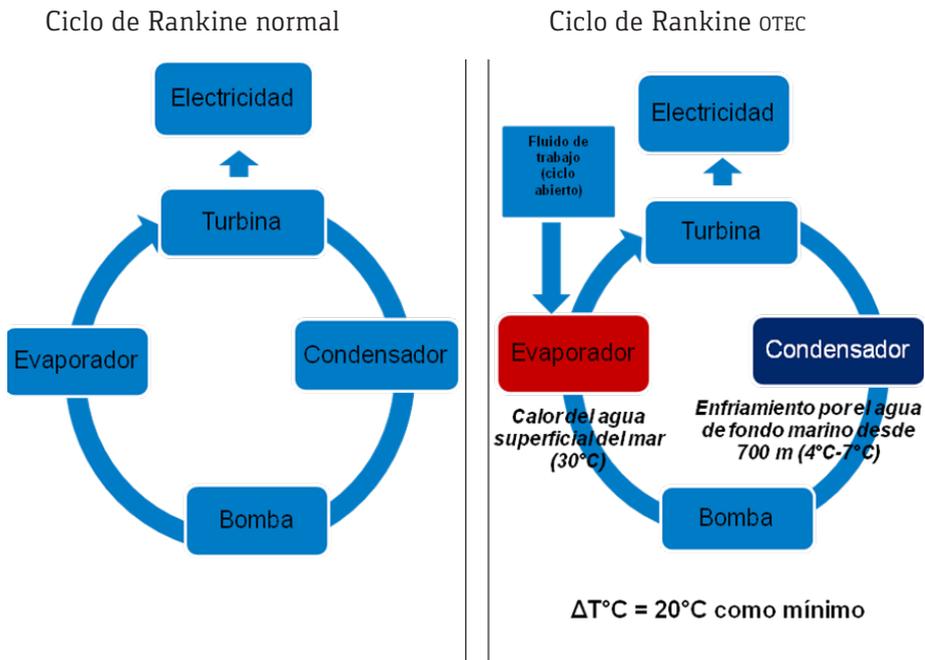
Un motor térmico proporciona una mayor eficiencia y potencia cuando trabaja con una gran diferencia de temperatura, por lo que la planta OTEC tiene el potencial para ofrecer cantidades globales de energía que son de 10 a 100 veces mayores que otras opciones de energía del océano, tales como la ener-

gía del oleaje y la energía de mareas. Las plantas OTEC pueden funcionar de forma continua, proporcionando un suministro de carga base para un sistema de generación de energía eléctrica (Berger y Berger, 1986).

El principal reto técnico de la OTEC es el de generar cantidades significativas de energía de manera eficiente a partir de pequeñas diferencias de temperatura, por lo que todavía se considera una tecnología emergente. Los primeros sistemas OTEC tuvieron una eficiencia térmica de 1 a 3 %, muy por debajo del máximo teórico para esta diferencia de temperatura (entre el 6 y el 8 %) por lo que con los diseños actuales se espera que estén más cerca del máximo termodinámico posible. Los diseños modernos tienen un rendimiento que permite acercarse a la máxima eficiencia de Carnot (teórico) (Avery y Wu, 1994). Para el caso de las aguas del pacífico tropical mexicano, el valor de eficiencia térmica ronda entre el 7.6 y el 8.2 %, dependiendo de la estacionalidad, el área geográfica y la profundidad en la que se realice el bombeo de agua fría.

El ciclo de calor termodinámico que se utiliza más comúnmente para el sistema OTEC es el ciclo de Rankine (figura 1) con una turbina de baja presión. Los sistemas pueden ser de ciclo cerrado o de ciclo abierto. Para el ciclo cerrado, los motores utilizan fluidos de trabajo que suelen ser refrigerantes como el amoníaco, freón, propano, óxido de etileno y el R-134a, entre otros (Fernández-Diez, 2007). Para el ciclo abierto, los motores usan el vapor de la propia agua de mar como fluido de trabajo. También existen ciclos híbridos que emplean algunos aspectos importantes de ambos ciclos, sin embargo, se siguen haciendo investigaciones al respecto para poder reducir los costos ya que este es el aspecto más importante para la posible construcción de una planta OTEC. Por el momento, el uso del ciclo cerrado es la mejor opción para un proyecto de este tipo por su mayor eficiencia y bajo costo (Avery y Wu, 1994; Vega, 2007; Kim *et al.*, 2013).

FIGURA 1. Ciclo de Rankine en la planta OTEC (García-Huante, 2015).



La OTEC también puede suministrar agua fría como un subproducto, el cual puede ser empleado para la obtención de aire acondicionado y sistemas de refrigeración; el agua enriquecida (con nutrientes fundamentales como nitratos, fosfatos y otros) del océano profundo puede alimentar tecnologías biológicas (p. ej. agricultura de agua dulce, piscicultura), así como obtención de agua dulce destilada del mar a partir de la condensación del vapor de agua utilizado en el ciclo abierto, obteniéndose agua potable. También es posible conseguir combustibles secundarios como el metanol, a partir de la utilización del dióxido de carbono (CO_2) que se desprende del bombeo de agua profunda y superficial utilizada en el proceso de obtención de energía eléctrica (Avery y Wu, 1994; Vega, 2007). Actualmente también se fabrican productos comestibles y cosméticos además de extracción de sal para cocina y fertilizantes (Kim *et al.*, 2013; García-Huante, 2015).

Existen diferentes tipos de plantas OTEC que se pueden construir, el cual dependerá de la zona geográfica, la distancia entre la línea de costa y la

zona de mayor profundidad (batimetría), las condiciones climatológicas y oceanográficas. Entre los diversos tipos se encuentran: las de tipo flotante, la miniplanta en barco oceanográfico, la de torre en la zona litoral y la de plataforma cuando la distancia entre la zona costera y la de profundidad máxima no excede los 10 kilómetros (Castellano, 1981; Vega, 2007).

Este tipo de tecnologías se han desarrollado desde 1928 con el fin de sustituir paulatinamente el uso de combustibles fósiles que emiten concentraciones grandes de contaminantes a la atmósfera terrestre, entre ellos, el dióxido de carbono (CO_2). Este es el más importante de los gases menores, involucrado en un complejo ciclo global. Se libera desde el interior de la tierra a través de fenómenos tectónicos, vulcanismo y de la respiración, procesos de suelos, combustión de compuestos con carbono y la evaporación oceánica. Por otro lado, es disuelto en los océanos y consumido en procesos fotosintéticos (George *et al.*, 2007). Es un gas de efecto invernadero, que absorbe y emite radiación infrarroja en sus dos frecuencias de vibración activas en infrarrojos. Este proceso hace que el dióxido de carbono caliente la superficie y la atmósfera inferior y enfríe la atmósfera superior. Una gran mayoría de climatólogos coinciden en que el aumento en la concentración atmosférica de CO_2 , y por lo tanto en el efecto invernadero inducido por CO_2 , es la principal razón del aumento de la temperatura media global desde mediados del siglo xx.

Aunque el principal gas de efecto invernadero responsable por el calentamiento es el dióxido de carbono, también contribuyen el metano, el óxido nítrico, el ozono, y otros gases de efecto invernadero de larga vida. El CO_2 es el más preocupante, ya que ejerce una mayor influencia de calentamiento total que todos los otros gases combinados, y porque tiene una larga vida atmosférica (Kaufman y Franz, 1996).

No solo el aumento de las concentraciones de CO_2 conduce a elevar la temperatura de la superficie del planeta, sino que el incremento de las temperaturas globales también causa una gran concentración de CO_2 . Esto produce una retroalimentación positiva a los cambios inducidos por otros procesos, como los ciclos orbitales (Genthon *et al.*, 1987). Hace quinientos millones de años la concentración de dióxido de carbono era 20 veces mayor que la de hoy. Disminuyó a 4-5 veces durante el periodo Jurásico y luego declinó lentamente con una reducción particularmente veloz que ocurrió hace 49 millones de años (Bernier y Kothavala, 2001).

En la actualidad su concentración ya superó las 400 ppmv (partes por millón volumen) y el máximo histórico sigue subiendo año tras año, producto de la acción antropogénica: quema de combustibles fósiles y materia orgánica en general y procesos industriales como la fabricación de cemento (Berner y Kothavala, 2001).

En México, disponer de energía es una condición para el crecimiento económico y, por tanto, las demandas de energía eléctrica, principalmente en el norte y en las zonas costeras del país, son altamente dependientes de las condiciones climáticas. El aumento en sistemas de aire acondicionado en zonas urbanas crece al aumentar la capacidad de consumo de los usuarios, con lo cual las demandas de energía pueden elevarse ante un alargamiento del periodo de calor fuerte (Instituto Nacional de Ecología, 2006).

Los eventos extremos, como huracanes o tormentas severas, son serias amenazas para la infraestructura de transmisión de electricidad o para las plataformas petroleras. Mayores temperaturas resultan en la disminución de la eficiencia de transmisión, por lo que la caída de flujo deberá compensarse con mayor producción. La generación de energía hidroeléctrica podría verse afectada por la disminución de caudales o niveles de presas.

Las tendencias del cambio climático proyectan aumentos en la duración de la época de calor. La producción y demanda de energía requerirán de modificaciones estructurales, dado que gran parte de su funcionamiento (por ejemplo, producción hidroeléctrica, seguridad de las plataformas petroleras) depende de eventos hidrometeorológicos extremos, temperaturas máximas y mínimas, así como la intensidad del viento (Instituto Nacional de Ecología, 2006).

Los aumentos en temperatura proyectados al 2020 implican que la demanda se elevará al menos en un 30 % en el estado de Sonora, por ejemplo. Si se añade el crecimiento de la población y por tanto un mayor número de usuarios, los retos para satisfacer la demanda de energía serán más grandes. Dado que las proyecciones de precipitación total tienen más incertidumbre, se podrán presentar también sequías intensas que disminuyan la disponibilidad de agua en el país. Un aumento en temperatura y disminución en precipitación resultará en menos disponibilidad de agua en las presas, afectando negativamente la producción de hidroelectricidad. La infraestructura petrolera y de transmisión eléctrica estará en riesgo ante eventos climáticos extremos y, por lo tanto, la baja en la eficiencia de transmisión eléctrica

tendrá que ser compensada con mayor generación (Instituto Nacional de Ecología, 2006).

Debido a estos posibles escenarios, se comienza a trabajar en programas de concientización de la población para reducir consumos de energía. Los proyectos de captura de carbono dentro del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto cobran cada vez más importancia en el sector productivo. De acuerdo al Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, se han llevado a cabo proyectos para disminuir el consumo energético, abarcando sectores como el industrial, comercio y servicios, residencial y gubernamental, por medio de:

- Sustitución de equipos ineficientes.
- Implementación de equipos o máquinas de alta eficiencia energética y la optimización de procesos.
- Implementación de tecnología nueva que pretende reemplazar la iluminación convencional, reduciendo de esta manera hasta un 90 % el consumo de energía eléctrica.
- Información sobre productos eficientes y cómo obtener financiamiento para contratar el suministro y la instalación del equipo ahorrador en bombeo de agua potable, alumbrado público, semáforos con LED, etcétera (Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2006).

Por su parte, la Secretaría de Energía ha presentado programas y proyectos para diferentes entidades del sector para mitigar de forma directa e indirecta las emisiones de gases de efecto invernadero por medio de Leyes sobre el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), las cuales promueven:

- Programa de electrificación rural con energías renovables.
- Contrato de interconexión para fuentes renovables intermitentes.
- Permisos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.
- Depreciación acelerada.
- Proyectos eólicos de la Comisión Federal de Electricidad.

- Aprovechamiento de energías renovables: Energía solar térmica, proyectos eólicos de la Comisión Federal de Electricidad.

Algunos ejemplos de tales iniciativas se encuentran en marcha y se espera que en el futuro cercano México sea uno de los principales actores en el mercado de los proyectos de bonos de carbono, además de generar energía por medio de alternativas *amigables* para con el medio ambiente (Instituto Nacional de Ecología, 2006).

Objetivo

DETERMINAR LA EMISIÓN DE CO₂ EN LA ZONA SUPERFICIAL, LA HUELLA de carbono y porcentaje de eficiencia energética verde de una planta OTEC de 100 MW de generación de energía eléctrica en la zona de Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Lugar del estudio

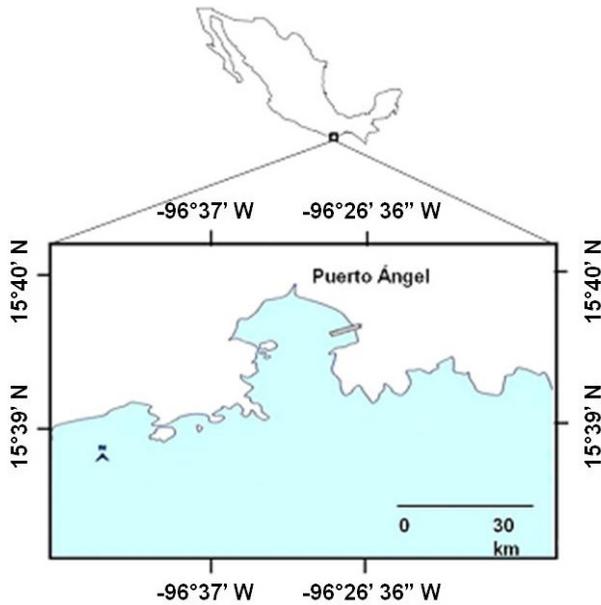
PUERTO ÁNGEL, OAXACA

Dado que Puerto Ángel, Oaxaca presenta condiciones geológicas, climáticas y oceanográficas ideales, aunado a las características de sus condiciones sociales, el doctor Richard Crews entre 1994 y 1997 junto con otros investigadores, propusieron la instalación de una planta OTEC en esa zona.

Localización

PUERTO ÁNGEL SE ENCUENTRA UBICADO EN LA FRANJA DE BARRA DE Tonameca-La Mina, situada geográficamente entre los paralelos 15° 39' y 15° 40' N y los meridianos 96° 26' 36" y 96° 37' W en el suroeste del estado de Oaxaca, México (figura 2).

FIGURA 2. Situación geográfica de Puerto Ángel, Oaxaca (tomado de García-Huante, 2015).



Metodología

CÁLCULO DE LA POTENCIA NETA DE LA PLANTA OTEC

Para el cálculo de las tres variables de CO_2 , primero se evaluó la potencia neta de la operación de una planta OTEC, la cual se considera que es alrededor del 65 % de la energía bruta generada (Vega, 1999). También se consideró que el factor de capacidad de la tecnología OTEC es alrededor del 80 %, incluso desde una estimación modesta de ella (Varley, 2013). Así, el cálculo de la energía neta anual generada a partir de la planta OTEC de 100 MW se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$(\text{MW generados} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ días} \times 0.8 \text{ (factor de capacidad tecnológica)} \times 0.65 \text{ (porcentaje de energía bruta generada)}) = \text{MWh generados por la planta OTEC}$$

CÁLCULO DE LA EMISIÓN DE CO₂ GENERADO POR LA PLANTA

Para evaluar la emisión de CO₂ generada por la planta OTEC se tomó en cuenta la siguiente ecuación:

$$\sum G_i \times M_i / P_l + \text{emisión fase operativa en gCO}_2 \text{ kWh}^{-1}$$

En la ecuación anterior, G_i representa la emisión de gases en kg kg⁻¹ de los artículos de inventario; M_i es la masa de los elementos del dispositivo en inventario; y P_l es el tiempo de vida que tendrá el dispositivo para la generación de energía, expresado en kWh.

A diferencia de otros sistemas de energía renovable, en el caso de los sistemas de OTEC, para la fase operativa se requiere tomar en cuenta las emisiones en los estudios de LCV (Evaluación del Ciclo de Vida). Los estudios de LCV se llevan a cabo de acuerdo con la norma ISO 14040 en condiciones de frontera. Los datos de G_i nos dan las características de la emisión de los artículos del inventario en cuestión y, para el cálculo, se tomaron de la base de datos de la Universidad de Bath (Hammond y Jones, 2008) y el inventario de los artículos son adaptados de un modelo hipotético japonés de una planta OTEC-CC 100 MW (Tahara *et al.*, 2000).

La emisión de CO₂ (excepto su emisión en la etapa operacional) para las plantas OTEC de 100 MW se han estimado con base en los datos anteriores mediante la ecuación de emisión de CO₂. Los resultados se obtuvieron a partir de la ecuación siguiente:

$$\text{Total de emisión de CO}_2 \text{ estimado (kg)/Potencia neta de la planta OTEC (GWh)}$$

EMISIÓN DE CO₂ EN FASE OPERATIVA

En cuanto a las emisiones de CO₂ debidas a las fases operativas de la planta OTEC, existen dos fuentes posibles. La primera es de su formación a partir de agua de mar caliente durante la formación de vapor, junto con los gases permanentes como O₂ y N₂ donde se usa agua caliente como fluido de trabajo, como en el caso de la OC-OTEC (ciclo abierto). En plantas con ciclo híbrido donde se utiliza agua caliente para proporcionar agua potable, CO₂ (g) la emisión se produce durante la formación de vapor de agua de mar caliente. La segunda fuente de emisión de CO₂ (g) en el funcionamiento de la planta OTEC

es a partir de su liberación en agua fría, cuando su temperatura se eleva en el condensador y se descarga en el mar, mezclándose con agua tibia.

De hecho, la solubilidad del CO_2 en el agua es inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la presión en el océano (Tahara *et al.*, 2000). Puede ser relevante, agregando, que a pesar del hecho de que la solubilidad de CO_2 (g) disminuye con la salinidad del agua, el papel del océano se considera bastante importante en el mantenimiento y el equilibrio en la concentración del CO_2 atmosférico (g) (Enrick y Scott, 1990). De hecho, el CO_2 (g) del aire después de la disolución en agua del océano permanece en la forma de carbonatos solubles, bicarbonatos, así como en forma gaseosa, dependiendo de la temperatura y presión siguiendo la ley de Henry. El afloramiento de agua fría es probable que suelte este CO_2 gaseoso disuelto a partir del aumento de la temperatura, además de bajar la presión del gas en el agua.

El papel de los organismos como el plancton debe tenerse en cuenta también al decidir el mantenimiento de la concentración de CO_2 en equilibrio con el agua del océano. Consumen CO_2 en la fotosíntesis y también durante la formación de conchas, además de la concentración por las células muertas de estos y las especies marinas que se alimentan de ellas, a partir de entonces generan un contenido de carbonato enriquecido. En el caso del fitoplancton, este proceso puede ser por la formación de cocolitos de los cocolitofóridos (Haptophyta). Este fenómeno de secuestro de CO_2 a partir de los organismos muertos en el fondo del océano y el mantenimiento del CO_2 por este proceso se denomina *secuestro de CO_2* (Christopher y Barry, 2008).

El movimiento turbulento del océano causado por la actividad de la planta OTEC, con el afloramiento artificial de agua fría, así como su descarga mixta (con agua caliente y fría) en la zona eufótica, puede afectar el balance de CO_2 del océano. Esto puede ser causado por las fluctuaciones de los siguientes tres factores:

1. Elevación y descenso de la temperatura.
2. Liberación de presión.
3. Concentración del plancton marino.

Es de esperar que un aumento en la concentración de plancton en la capa superficial de la surgencia de agua fría ayudará a bajar el nivel de gas inver-

nadero en la atmósfera, consumiendo más CO_2 en la superficie del océano. Por otro lado, una enorme cantidad de CO_2 disuelto (g) es probable que sea liberado por aumento de la temperatura y de la liberación de la presión de la surgencia agua fría.

Para el cálculo se utilizaron los datos generados por Green y Guenther (1990) quienes observaron desde su experimentación en transferencia de masa y de calor con el aparato de prueba (HMTSTA), que la evolución del CO_2 de las operaciones en el caso de OC-OTEC se espera que sea 11.7 g kWh^{-1} de agua caliente y 26.8 g kWh^{-1} del fría agua; para un total de 38.5 g kWh^{-1} . En el caso de una planta híbrida OTEC se espera que sea inferior a 11.7 g kWh^{-1} , y un valor aún más bajo de $< 1 \text{ g kWh}^{-1}$ para las operaciones con CC-OTEC (ciclo cerrado). Sin embargo, argumentaron que, si esta agua fría en vez de descargarla en el océano se utiliza para maricultura, sería emitir más CO_2 (g) por su exposición más larga. Pero utilizando macroalgas marinas cultivadas se puede absorber el CO_2 extra (g) y así neutralizarlo (Green & Guenther 1990). Actualmente este proceso se sigue con todo éxito en Okinawa, Japón y en Goseong, Corea del Sur (García y Alatorre, 2015).

Adicionalmente, en la etapa operativa de la planta, la entrada de CO_2 a partir del fluido de trabajo (NH_3) debe ser tomado en cuenta; que se sabe es de 222 000 kg ($1.11 \text{ kg de CO}_2 / \text{kg de NH}_3$) gracias a investigadores japoneses (Tahara *et al.*, 2000). Por lo tanto, la emisión de NH_3 estimado por la planta se calculó por medio de la ecuación siguiente:

$$\text{Total de NH}_3 \text{ emitido (kg)/Potencia neta de la planta OTEC (GWh)}$$

Los artículos de inventario de los diferentes tipos de plantas OTEC son distintos de acuerdo a sus especificaciones. La planta OC-OTEC requerirá un evaporador mucho más grande, que demanda una mayor cantidad de insumos. Por otro lado, el uso de un intercambiador de calor DCC generaría una menor entrada de material que el utilizado para intercambiadores de calor en superficie de metal que son utilizados en CC-OTEC. Por lo tanto, se puede considerar que las dos entradas de calor estarían equilibradas entre sí. Por lo tanto, las emisiones de CO_2 de las distintas plantas OTEC pueden ser consideradas más o menos similares.

La emisión total de CO_2 de las plantas OTEC contra otros sistemas de energía. Huella de carbono y eficiencia energética verde.

Con base en la relación de las ecuaciones anteriores, se tiene que, en comparación con una central de carbón, el porcentaje de emisiones de CO₂ secuestrado de un dispositivo de energía renovable (RE) sería calculado por medio de la ecuación (eficiencia energética verde):

$$100 - [Ce/900] \times 100$$

Donde Ce es la emisión de CO₂ en g kWh⁻¹ del dispositivo RE al que se refiere. De este modo se calcularon las concentraciones de CO₂ emitidas a la atmósfera (huella de carbono) y el porcentaje de secuestro para el mismo gas al momento de la operación de la planta.

Resultados

POTENCIA NETA

Utilizando los datos para la fórmula de potencia neta OTEC 100 MW se tiene que:

$100 \text{ MW} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ días} \times 0.8 \text{ (FCT)} \times 0.65 \text{ (EBG)} \text{ MWh} = 455, 520 \text{ MWh} = 455.52 \text{ GWh}$, o una generación diaria de energía neta producida de 1.248 GWh y considerando una vida media de utilidad de la OTEC de unos 30 años, su producción de energía neta de por vida sería $455.52 \text{ GWh} \times 30 \text{ años} = 13, 666 \text{ GWh}$

Emisión de CO₂ de la planta OTEC sin fases operativas.

Utilizando los datos de la tabla 1 por parte de la Universidad de Bath, se obtuvo el resultado por medio de la fórmula para emisión de CO₂:

TABLA 1. Emisión estimada de CO₂ de una planta OTEC para 100 MW de generación de energía eléctrica.

Materiales de inventario	Emisión de CO₂ (kg kg⁻¹)**	Peso de los materiales (kg)***	Emisión total de CO₂ estimado (kg)
Acero (diferentes tipos)*	6.15	4 157 000	25 565 550
Cobre	3	270 000	810 000
Hierro	1.91	16 817 000	32 120 470
Plásticos	2.53	14 216 000	35 966 480
Cemento	0.83	75 000 000	62 250 000
Gran total		110 460 000	156 712 500

Nomenclatura: *(valores promedio); ** (Hammond y Jones, 2008); *** (Tahara et al., 2000)

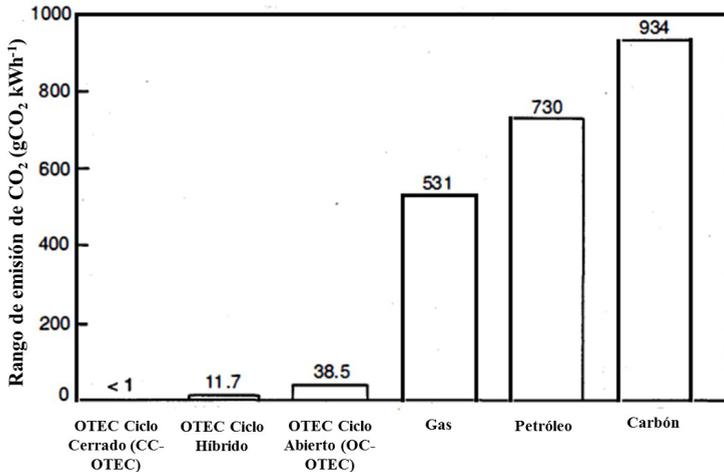
La emisión de CO₂ (excluyendo emisiones fase operativa) es de 156 712 500 kg/13 665.8 GWh = 11.46 gCO₂ kWh⁻¹

Emisión de CO₂ en fases operativas más emisión de amoniaco.

En el presente estudio se utilizaron los datos de las emisiones de CO₂ durante la fase de trabajo, por CC-OTEC (ciclo cerrado), OC-OTEC (ciclo abierto) y tipos OTEC híbridos, estimadas a partir de los estudios de Green y Guenther (1990), junto con los experimentos con el aparato HMTSTA y que mostraron:

38.5 g kWh⁻¹ para OC-OTEC, 11.7g kWh⁻¹ para el tipo híbrido, y <1 g kWh⁻¹ para CC-OTEC (aproximadamente 0.8 g kWh⁻¹) (ver figura 3).

FIGURA 3. Comparación del rango de emisión de CO₂ de las plantas OTEC con respecto a otras industrias (modificado de Green y Guenther, 1990).



Así, en términos de g kWh⁻¹ la emisión de NH₃ para CC-OTEC sería 2 220 000 kg/13 665.8 GWh = 0.16 g kWh⁻¹

Eficiencia térmica verde (huella de carbono)

Los resultados para este rubro fueron los siguientes:

- Emisiones de CO₂ de una planta OTEC-CC 100 MW = (11.46 + 0.8 + 0.16) g kWh⁻¹ = 12.42 g kWh⁻¹
- Emisiones de CO₂ de una planta OTEC-OC 100 MW = (11.46 + 38.5) g kWh⁻¹ = 49.96 g kWh⁻¹
- Emisiones de CO₂ de una planta híbrida OTEC 100 MW = (11.46 + 11.7 + 0.16) g kWh⁻¹ = 23.32 g kWh⁻¹

Sobre la base de estudios de LCV de una central eléctrica de carbón típica, las emisiones de CO₂ que tiene ha señalado que sobrepasa los 900 g kWh⁻¹ (Odeh y Cockerill, 2008).

En consecuencia, la eficiencia energética verde de la planta OTEC sería:

- Porcentaje de CO₂ ahorrado para una planta OTEC-CC 100 MW = 100 - (12.42/900) = 98.62 %

- Porcentaje de CO₂ ahorrado para una planta OTEC-OC 100 MW = $100 - (49.96/900) = 94.45 \%$
- Porcentaje de CO₂ ahorrado para una planta OTEC híbrido 100 MW = $100 - (23.32/900) = 97.41 \%$

Por lo tanto, el ahorro de CO₂ de 100 MW OTEC varía entre 98.62 y 94.45 %, dependiendo del tipo de ciclo utilizado, por lo que la emisión de este gas a la atmósfera sería entre el 1.38 % y el 5.5 % (0.17 g CO₂ kWh⁻¹-2.74 g CO₂ kWh⁻¹). De esta manera, la zona de Puerto Ángel, Oaxaca gozaría de la generación de energía eléctrica con bajo costo, energía alternativa y poca emisión contaminante de CO₂.

Discusión

PARA EL CASO DE LAS EMISIONES GENERADAS DE CO₂ POR EL FUNCIONAMIENTO de la planta OTEC, Green y Guenther (1990) explican que dependiendo del tipo de ciclo que utilice la planta, será la emisión que esta tenga en la atmósfera, oscilando entre 0.8 y 38.5 g CO₂ kWh⁻¹; Banerjee *et al.* (2015) mencionan las mismas cifras para megaplantas OTEC a partir de 100 MW de generación de energía eléctrica; las cuales son mucho menores a las de otras plantas que utilizan combustibles fósiles para producir energía (531 g CO₂ kWh⁻¹ si son plantas con base en gas natural, 730 g CO₂ kWh⁻¹ si son a base de petróleo y 934 g CO₂ kWh⁻¹ si son con base en el carbón) por lo que en este caso, una planta OTEC, cualquiera que sea su dimensión y su capacidad de generación, tendrá una menor afectación sobre el ambiente, lo cual es un beneficio muy importante. Sin embargo, queda patente que la mejor opción para no generar el mínimo de gases de efecto invernadero sería la planta OTEC con base en el ciclo cerrado (0.8 g CO₂ kWh⁻¹), adicionalmente las emisiones en fase operativa estarán determinadas de acuerdo al tipo de fluido de trabajo que se utilice, pues según Banerjee *et al.* (2015) hay que calcular las emisiones generadas por dichos compuestos químicos. Sin embargo, cabe mencionar que será muy importante tomar en cuenta que se deberán hacer muestreos frecuentes de CO₂ y de secuestro del mismo gas, pues son datos calculados basados en experimentos realizados en otras regiones del planeta y, Puerto Ángel, por su ubicación en una región tropical, presenta concentraciones de CO₂ disuelto en el océano muy distintos.

Kim *et al.* (2012) hacen un estudio de factibilidad para plantas OTEC de gran dimensión (en su estudio menciona una planta tipo plataforma (offshore) generadora de 50 MW de energía eléctrica en Corea del Sur) y destacan que el gradiente requerido para tal fin sería de 21°C utilizando como fluido de trabajo el R-32 y que la primera inversión económica sería de 359.3 millones de dólares en comparación de los 451 millones de dólares que estableció Vega (1992; 2010) sin considerar los precios de amortización y el porcentaje de subsidio por parte del gobierno, además del costo por el porcentaje de eficiencia energética verde por la emisión de CO₂ al ambiente.

Conclusión

LAS EMISIONES DE CO₂ DE UNA PLANTA OTEC, CON CUALQUIER TIPO DE ciclo de trabajo utilizado, son más bajas en cuanto a su uso en producción de energía (por kilowatt-hora) que las demás industrias generadoras que son mucho más contaminantes. Además, existe la posibilidad de un mayor secuestro de este gas si se utiliza el agua profunda para la acuicultura (organismos bivalvos) y la maricultura (utilización de macroalgas), lo que generaría un mayor desarrollo social en la zona costera de Puerto Ángel, además de obtención de energía eléctrica a un menor costo. Sin embargo, es imperativo hacer mediciones estacionales una vez que la planta OTEC sea instalada y opere en la zona para comparar los resultados teóricos con los medidos frecuentemente.

Bibliografía

- AVERY, W. y C. Wu (1994). *Renewable energy from the ocean. A guide to OTEC*. Oxford University Press, New York, 446 pp.
- BANERJEE, S., L. J. Duckers, R. E. Blanchard & B. K. Choudhury (2015). Ocean Energy Systems: Economy Evaluation, *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*. (Taylor & Francis), 21st October 2011, 1-8 pp. ISBN 9780849338960 (online publication).
- BECK, E. J. (1975). Ocean thermal gradient power plant. *Science*. 189, 293 pp.
- BERGER, L. R. y J. A. Berger (1986). Countermeasures to microbiofouling in simulated ocean thermal energy conversion heat exchanges with surface and deep water in Hawaii. *Solar Energy Update: Final Issue*, SFU-86-12, 31 pp.

- BERNER, Robert A.; Kothavala, Zavareth (2001). «GEOCARB III: A revised model of atmospheric CO₂ over Phanerozoic Time». *American Journal of Science*. 301 (2): 182-204
- CASTELLANO, C. C. (1981). Overall OTEC-1 status and accomplishments. *Proc. 8th Ocean Energy Conf.*, Washington, D. C. (2), 971 p.
- CHRISTOPHER, D. & P. E. Barry (2008). Ocean Thermal Energy Conversion and CO₂ Sequestration. *Renewable Energy World*. 1st July 2008, available from <<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2008/07/ocean-thermalenergy-conversion-and-CO2-sequestration-52762>> [7th December 2011]
- CREWS, R. (1997). OTEC Sites. En: http://www.trellis.demon.co.uk/reports/otec_sites.html
- DONALD G. Kaufman; Cecilia M. Franz (1996). *Biosphere 2000: protecting our global environment*. Kendall/Hunt Pub. Co. ISBN 978-0-7872-0460-0.
- ENRICK, M. R. & M. K. Scott (1990). CO₂ solubility in water and brine under reservoir conditions, *Chemical Engineering communications*, 90(1), 23-33 pp.
- FERNÁNDEZ-DÍEZ, P. (2007). *Energía Maremotérmica*. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. España. 12 p.
- GARCÍA-HUANTE, A. (2015). Posibles efectos oceanográficos por la operación de una planta OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion) en la zona de Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 133 pp.
- GENTHON, G.; Barnola, J. M.; Raynaud, D.; Lorius, C.; Jouzel, J.; Barkov, N. I.; Korotkevich, Y. S.; Kotlyakov, V. M. (1987). «Vostok ice core: climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle». *Nature*. 329 (6138): 414.
- GEORGE, K.; Ziska, L. H.; Bunce, J. A.; Quebedeaux, B. (2007). «Elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature across an urban-rural transect». *Atmospheric Environment*. 41 (35): 7654
- GREEN, H. y P. Guenther (1990). Carbene Dioxide release from OTEC cycles. U. S. Department of Energy. SERI & Scripps Institute of Oceanography. Honolulu, Hawaii. USA. 14 pp.
- HAMMOND, G & C. Jones (2008). Data on LCA & EA [Communication from Dept of Mechanical Engineering, University of Bath, UK] available from <www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied> [1st August 2009]

- INSTITUTO Nacional de Ecología (2006). Tercera Comunicación Nacional ante la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. S y G Editores. México, D. F. ISBN: 968-817-811-X. 254 pp.
- KIM, H. J., D. H. Jung, S. Y. Hong y H. S. Lee (2013). Offshore structure of OTEC. *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*. 17 (3).
- KIM, H. J., H. S. Lee, Y. K. Jung, D. H. Jung, D. S. Moon y S. W. Hong (2012). Feasibility study on the commercial plant of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC K-50 MW). Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference. Greece. 6 pp.
- ODEH, N. A. & T. T. Cockerill (2008). Life Cycle analysis of UK coal fired power plants. *Energy conversion and Management*, 49, 212-220 pp.
- TAHARA, K., T. Kojima & A. Inaba (2000). Estimation of Ocean Thermal Energy Conversion System by using LCA Methodology. *OTEC*, 8, 31-41 [In Japanese]
- VARLEY R. (2013). Lockheed Martin MS2 New Venture, E-mail. Communication with the 1st author, Dr. Subhashish Banerjee, (in 2013)
- VEGA, L. A. (1992). Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) in R.J. Seymour, ed. *Ocean Energy Recovery: The State of the Art*, American Society of Civil Engineers, New York, USA. 65 pp.
- VEGA, L. A. (1999). Ocean Thermal Energy Conversion. *OTEC*, 1-22 pp.
- VEGA, L. A. (2007). *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): Electricity and Desalinated water production*. Offshore Infrastructure Associates, Inc. University of Hawaii. 60 pp.
- VEGA, L. A. (2010). *Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): An Update*. Offshore Infrastructure Associates, Inc. University of Hawaii. 78 pp.

Aceite mineral residual, desecho de transformadores, municipio de Atlixco, Región V, estado de Puebla

Sánchez Aguilar, Josefina;¹ Gómez Sánchez, Bernardo;¹ Vázquez Cuchillo, Odilón;¹ Morales Juárez, Luis Ricardo¹

Objetivo

CARACTERIZAR CUALITATIVAMENTE EL ACEITE MINERAL RESIDUAL, desecho de los transformadores, en el municipio de Atlixco Región V, estado de Puebla.

Determinar los agentes contaminantes en el aceite mineral para valorar su vida útil.

Presentación

LA VIDA DE TODOS LOS SERES HUMANOS ESTÁ INVOLUCRADA CON LA generación de energía eléctrica, los impactos son positivos y negativos en el entorno de las dimensiones de la sustentabilidad natural, social, económico y

¹ Instituto Tecnológico de Puebla, Departamento de Ciencias Básicas. Correos electrónicos: Josefina09coltlax@yahoo.com.mx, bernardo286@hotmail.com, odilon_vazquez_c@hotmail.com, ricasas11@hotmail.com

cultural los cuales están estrechamente relacionados. En México se estima que se generan entre 5 millones de toneladas de Residuos Peligrosos (RP) anual. El problema de los RP en México está aún pendiente, el avance regulatorio debe ser acompañado en forma equilibrada con el avance en las acciones necesarias para resolver el problema de la generación de este tipo de residuos. Es indispensable desarrollar un inventario nacional de la generación de Residuos Peligrosos (RP), promover su manejo integral prestando mayor atención al rubro de la perspectiva salud-social, economía-finanzas, cultural-institución, a través de acciones e instrumentos de política regulatoria que promuevan la búsqueda de soluciones integrales, en coordinación con municipios y estados. En el estado de Puebla, el Inventario Nacional de Generadores de Residuos Peligrosos (INGRP), reporta una generación de 13 026 de ton/año, con datos aportados por 1889 empresas, como se indica en la tabla 1. De acuerdo con el INGRP del estado de Puebla, junto con Michoacán, son los estados que generan menor cantidad de RP. En la tabla 1, se muestra al generador por categorías, el total de unidades productivas, la cantidad de residuos peligrosos generada por categoría y la relación que guarda con la Región V del estado de Puebla en un periodo de siete años.

TABLA 1. Generación de RP en el estado de Puebla (2004-2011).

Categoría generador	Número de unidades económicas		Cantidad generada		Región V Valle de Atlixco-Matamoros unidades económicas Cantidad generadores	
	Número	%	Ton/ anual	%	Número	%
Grandes generadores	110	5.82	11 259	86.43	5	0.26
Pequeños generadores	609	32.24	1633	12.54	16	0.85
Microgeneradores	1170	61.94	134	1.03	54	2.86
Total	1889	100	13 026	100	75	3.97

Fuente: elaboración propia.

La base de datos del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) cuenta con 22 400 empresas registradas, no todas potencialmente generador-

ras de RP. La información de los sectores que potencialmente pueden generar RP, es de 5481 registros ya que estas unidades económicas no están clasificadas por categoría de generador y además se tiene que considerar el adicionar aquellas empresas que no están registradas en esta revisión. La base de datos actualizada para tener un cálculo real de generación de RP debe ser el resultado de la base de datos del INGRP, elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), en la Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2015, protección al ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC)-Especificaciones y la base de datos del SIEM, seleccionado por sectores industriales potenciales generadores de RP tomando en cuenta la razón social de la unidad económica.

Hasta la fecha, la base de datos analizadas no relaciona de forma directa a la empresa con la actividad que desarrolla y el número de empleados, por lo que no se tienen los elementos de cálculo para estimar las cantidades generadas en función de Índices de Generación (IG) por tipo de residuo y actividad industrial, para estimar la cantidad de residuo por tipo y empresa con mayor grado de confiabilidad.

Se tiene un total de 7035 unidades económicas de las cuales 1517 corresponden a la base de datos del INGRP, 5145 corresponden a la base de datos del SIEM, 320 se encuentran reportadas en ambas bases. Un aproximado de generación total estimada de RP para el estado de Puebla para el 2012, oscila en un valor estimado de 48 355 ton/año para 7035 unidades económicas para el crecimiento de la actividad industrial al 2017 será del 2.3 % anual.

TABLA 2. Cantidad generada de RP por unidad económica comparada con el pronóstico del 2.3 % anual para la región analizada.

Categoría generador	Número de unidades económicas		Cantidad generada		Región V Valle de Atlixco-Matamoros unidades económicas. Cantidad generada	
	Número	%	Ton/ anual	%	Número	%
Grandes generadores	408	5.8	41 760	86.4	49	2.56
Pequeños generadores	2272	32.3	6094	12.6	59.3	3.15
Microgeneradores	4355	61.9	500	1.0	97	5.16
Total	1889	100	48 354	100	205	10.87

Fuente: elaboración propia.

Se estima un 2.3 de crecimiento de la actividad industrial para el 2017, la generación total de RP será de 48 354 Ton/año, es decir un gran generador producirá 41 760, un pequeño generador va a generar al 6094 Ton/año de RP y un microgenerador producirá 500 Ton/año y consideramos también que han transcurrido seis años, entonces para la categoría el pequeño generador, esta categoría producirá 3000 toneladas para un periodo de seis años.

Surge así la importancia de entender el comportamiento, las aplicaciones, el mantenimiento, así como los riesgos en el proceso de generación, aplicación y usos de la energía eléctrica en la región Valle Atlixco-Matamoros del estado de Puebla, pertenecientes a la Región V, ya que en el proceso operativo se generarán RP y entre ellos el aceite mineral. En este contexto brota la importancia y la necesidad de este sector productivo de manejar adecuadamente los desechos derivados de los bienes y servicios que proporciona la industria generadora de energía eléctrica valorando recuperación, reutilización, reciclado y correcta disposición de los RP generados por el aceite mineral.

El lugar de análisis de la Región V, Valle Atlixco-Matamoros, se ubica al suroeste del estado de Puebla y limita al norte con la región 4 Angelópolis, al oriente y sur con la región 6 Mixteca y al poniente con Morelos, con una extensión territorial de 3074 km².

En el estado, existe un centro de acopio de aceite mineral residual, ubicado en el municipio de Huejotzingo, su función es dar servicio a 24 municipios del estado de Puebla, para el confinamiento de aceite mineral residual. En la tabla 3, se muestran datos generales del manejo del aceite mineral residual en el que se tienen dos posibles destinos de este residuo, en el primer caso se aplica una metodología específica para reciclar el residuo y en el segundo método se confina en hornos empleados como combustible.

TABLA 3. Indicadores para el manejo del aceite mineral residual, de la región V Atlixco-Matamoros del estado de Puebla.

Municipios integrados en el CA	24
Centros de Acopio (CA)	2000 litros/día
Transporte para recolección del aceite mineral	4
Municipios que cuentan con disposición final	16
Población beneficiada (Hab.)	321 051
Disposición diaria de aceite mineral / Porcentual con respecto a la generación	30 000/ litros/15 día
Capacidad de almacenamiento por tanque de aceite mineral residual	20 000 litros

Fuente: elaboración propia.

Para que un aceite mineral sea reciclado deben considerarse las siguientes variables a controlar: libre de humedad, restituir color, viscosidad y densidad. En el proceso se deben eliminar metales pesados, óxidos, anilinas y material bituminoso.

Las empresas que se dedican al mantenimiento eléctrico de bobinado de motores, transformadores y equipos de eléctricos, requieren del diseño e implementación de un plan y un programa de tratamiento del aceite mineral residual, con el propósito de minimizar los impactos negativos al ambiente y cumplir con la legislación ambiental de la Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2000, protección ambiental bifenilos policlorados (BPC), motivo de la Normalización Nacional de Sistemas de Administración Ambiental, ISO 14001:2004, certificación y acreditación por parte del Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A. C. para elaborar, actualizar y expedir, de acuerdo con la normatividad correspondiente.

Los aceites minerales usados tienen un potencial de alta peligrosidad, porque contienen elementos venenosos y cancerígenos como el plomo o hidrocarburos poliaromáticos, este aceite incluye bifenilos policlorados (BPC). En la identificación de equipo contaminado con BPC como capacitores, transformadores y balastos, se les debe identificar si están contaminados con BPC en la forma siguiente: los equipos eléctricos (capacitores y transformadores) deben portar placa que indique si presentan alguno de los fluidos dieléctricos, se debe verificar si cuentan con comprobante de tratamiento o reporte de análisis, si no lo tienen, debe tenerse en cuenta como equipo BPC. Pero si el comprobante de tratamiento indica que la concentración de BPC es menor a 50 ppm o menor de $100 \mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$, no debe identificarse como equipo BPC, a menos que la concentración de BPC sea igual o mayor a 50 ppm o $\geq 100 \mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$.

Los balastos de lámparas fluorescentes fabricadas antes de 1980, así como aquellos que carezcan de fecha de fabricación o indicación del contenido en cuanto a BPC, deben considerarse como equipo eléctrico BPC.

Si el equipo no tiene documentación, debe ser sometido a un análisis realizado por laboratorio acreditado y aprobado, utilizando el método de prueba como: determinación de bifenilos policlorados como por ejemplo empleando la metodología cromatografía de gases-espectrometría de masas; cromatografía de gases con detector de captura de electrones. A los equipos valorados como BPC se les debe colocar una etiqueta, de acuerdo a la norma, ya que los límites permisibles para emisión de BPC al medio ambiente en procesos de tratamiento o químicos analíticos debe ser como se muestra en la tabla 4.

El rendimiento y la calidad final de los aceites lubricantes viene determinado por el tipo de petróleo, su origen y su calidad, y la flexibilidad de los procesos de refinado debe evitar que afecte el impacto de estos cambios. Todos los crudos tienen unos elementos similares, en la tabla 5 se presenta la composición básica y su respectiva composición. Los hidrocarburos que componen la mayor parte del aceite contienen principalmente carbono e hidrógeno, y en menor medida de un compuesto de azufre, nitrógeno, oxígeno y otros metales.

TABLA 4. Límites de emisiones permisibles de BPC al ambiente en procesos de tratamiento químico.

Emisiones mg/kg base seca	Límite máximo permisible
Emisiones a la atmósfera	0.5 g/m ³
Agua residual	5 g/l
Sólidos residuales*	<50 mg/kg
Agrícola	0.5 mg/kg
Residencial	5 mg/kg
Industrial/comercial	25 mg/kg

Fuente: elaboración propia.

TABLA 5. Composición general de los crudos.

Elemento	Porcentaje
Carbono	84 - 87
Hidrógeno 11-14	11 - 14
Azufre 0-2	0 - 2
Nitrógeno 0,2	0.2
Oxígeno	-
Metales	-

Fuente: elaboración propia.

Se consideran muestras de tres familias de hidrocarburos y las diferencias de la composición del aceite mineral. Existen grandes diferencias entre unos crudos y otros que afectan a los procesos de refinación a emplear en cada caso y a las características de los productos finales. Las diferentes familias de crudos como se muestra en la tabla 6 contienen proporciones variables de los diferentes tipos de hidrocarburos, cifra que representa la composición típica de los aceites minerales que puede obtenerse a partir de estas tres grandes familias de crudos.

TABLA 6. Distribución hidrocarbonada de los distintos tipos de aceites minerales.

% Hidrocarburos	Aceites		
	Parafínicos	Nafténicos	Intermedios
Parafínicos	60-70	45	45-65
Nafténicos	20-30	35-50	25-40
Aromáticos	5-10	5-10	5-10

Fuente: elaboración propia.

Los aceites minerales aislantes deben presentar características físicas, químicas y eléctricas que le permiten desarrollar satisfactoriamente sus funciones, por lo cual deben ser analizados en servicio con una frecuencia determinada como una de las opciones más viables. Estos aceites, además de poseer elevada calidad dieléctrica, tienen baja viscosidad para facilitar la formación de corrientes de convección entre las fuentes de calor y las paredes frías en los canales de refrigeración. Los aceites utilizados en interruptores deben tener baja viscosidad (es la misma calidad de aceite empleado en los transformadores), debido a que la extinción del arco en un fluido viscoso se produce lentamente, lo que causa la descomposición del aceite, con peligrosas formaciones de gases explosivos y de sustancias carbonosas para generar residuos que reducen la rigidez dieléctrica. Para obtener un funcionamiento mejor como medio que se refresca y como aislamiento eléctrico, el aceite del transformador debe tener alta fuerza dieléctrica, viscosidad baja, alta capacidad de calor y un coeficiente bajo de la extensión.

Libre de humedad, de gases, de impurezas químicas y de contaminantes mecánicos para evitar descargas eléctricas innecesarias. Existen diversas técnicas estandarizadas que miden los parámetros arriba enumerados, se utilizan para identificar la conveniencia del aceite para el uso como aceite del transformador. El agua y las impurezas se extraen sometiendo el aceite a un adecuado proceso de filtrado, centrifugado y secado, pero bastan pequeñas cantidades residuales de agua (que son las más difíciles de extraer), para reducir la rigidez dieléctrica. La selección de un fluido aislante depende de sus propiedades eléctricas y físicas además de la naturaleza del servicio que realizará. El aceite mineral es un compuesto de base orgánica, y como tal tiende a degradarse con el paso del tiempo, lo que afecta negativamente a

sus propiedades aislantes y refrigerantes. Además, estos efectos se aceleran en presencia de distintos factores.

Los elementos que afectan de modo negativo al estado del aceite son la temperatura, la cual influye en la degradación de aceite mineral, una variación del 13 % de temperatura en °C, disminuye un tercio la vida media del aislamiento líquido. El principal enemigo del aislamiento de un transformador es la presencia de humedad en forma de vapor de agua o como condensado en el aceite mineral debido a deficiente tratamiento y mantenimiento del aceite, disminuye la rigidez dieléctrica del aceite; si la cantidad de agua es excesiva, afectando a la tangente del ángulo de pérdidas (aumentando su valor) e incrementa la velocidad de degradación de los aislantes. Existe la presencia de otros gases disueltos en el aceite mineral como hidrógeno, oxígeno, metano, dióxido de carbono y otros, que están disueltos en el aceite derivado del proceso de manufactura del aceite y un trato inapropiado del aceite antes de su uso.

Los aceites lubricantes están compuestos por una mezcla de una base mineral con un aditivo del orden del (1-20 %). Durante su uso se contaminan con diversas sustancias como partículas metálicas por desgaste de piezas en movimiento y fricción; compuestos con plomo procedente de las naftas; ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o de azufre de los combustibles. Compuestos de azufre, restos de aditivos como fenoles, compuestos de zinc, cloro, y fósforo, además de contener compuestos clorados: disolventes, bifenilos policlorados (BPC), y trifenilos policlorados TPC e Hidrocarburos Poli Nucleares Aromáticos (PNA). Así la supervisión y el mantenimiento de la calidad del aceite mineral es fundamental para asegurar el buen funcionamiento de los equipos eléctricos, en los cuales el aceite mineral se emplea como aislante y/o refrigerante.

El análisis del estado en que se encuentra el aceite mineral puede revelar una variedad de pérdidas de propiedades como aislante o refrigerante y pueden ser varios los análisis a realizar sobre una muestra de aceite mineral para determinar la pérdida de su vida útil. Sin embargo, es posible comparar el valor y el significado de los ensayos del aceite y recomendar criterios uniformes de evaluación de los resultados. La frecuencia con que se deben realizar los reconocimientos y de los niveles límite aceptables de degradación del aceite aislante en todas sus aplicaciones, debe tener en cuenta las diferencias de explotación, la confiabilidad exigida y el tipo de sistema eléctrico.

Los ensayos dependen del tipo de empresa, las grandes empresas consideran antieconómico la aplicación de un programa de ensayos a las transformaciones de baja potencia y aceptan riesgos de fallas. En el caso de un usuario industrial, cuyas actividades dependen de la confiabilidad del transformador, para la alimentación de la energía eléctrica, deseará aplicar una supervisión más frecuente y más severa de la calidad del aceite como un medio para prevenir cortes de energía eléctrica. Cuando se excede el nivel de degradación del aceite mineral, se reducen los márgenes de seguridad y se deberá considerar el riesgo de un defecto prematuro. La evaluación del riesgo para la primera etapa consiste en identificar los efectos potenciales del deterioro.

Para los generadores de aceite mineral residual industrial, la finalidad es reducir la generación de aceite mineral industrial usado y fomentar el manejo y eliminación mediante alternativas que garanticen la protección de la salud pública y minimizar impactos ambientales.

La composición química del aceite mineral residual se muestra en la tabla 7, se presentan contaminantes base compuestos sulfurados, orgánicos, clorados y metales pesados. La composición química varía según la aplicación del aceite mineral y tiene su origen en los productos de oxidación de los hidrocarburos presentes, de aditivos, polvos y partículas metálicas.

TABLA 7. Parámetros físico-químicos de un análisis de 29 muestras de aceite mineral.

Contenido químico	Unidades	Valores		Contenido químico	Valores	
		Teórico	Experimental		Teórico MJ/Kg	Obtenido MJ/Kg
Calor específico	MJ/Kg	9.7	48.95	Níquel	1	40.2
Porcentaje de humedad	%	0.1	35	Mercurio	0.01	5.0
Flamable (temperatura)	°C	21	232	Selenio	2.0	NR
PCB	MJ/Kg	0.9	237	Teluro	0.1	NR
Metales				Talio	< 0.1	1
Antimonio	MJ/Kg	0.13	9.0	Vanadio	2.0	NR
Arsénico	MJ/Kg	0.1	14	Estaño	0.5-8.0	8.0
Plomo	MJ/Kg	0.012	3.0	Zinc	26-8.0	34
Cadmio	MJ/Kg	0.08	5.0	Cloro	0.1-1.0	1.5
Cromo total	MJ/Kg	1	76.5	Cobre	3 -2.70	3
Cobalto	MJ/Kg	0.5	6.0	Manganeso	4.0	NR

Fuente: elaboración propia.

Metodología

EL PROBLEMA DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS GENERADOS EN EL proceso de mantenimiento de equipo para el embobinado de motores y transformadores, sistematiza la disposición y tratamiento correcto para conducir al diseño y aplicación de un procedimiento para la disposición y confinamiento de residuos peligrosos.

El tratamiento de residuos surge en el proceso del mantenimiento de material y equipo eléctrico. El proceso que se sigue para la revisión y diseño consiste en caracterizar el aceite mineral, como se muestra en la tabla 8.

TABLA 8. Características más generales del aceite mineral.

Caracterización del aceite mineral	
Los aceites lubricantes están compuestos por una mezcla de una base mineral o sintética con aditivos (1-20 %). Durante su uso se contaminan con diversas sustancias	Partículas metálicas ocasionadas por el desgaste de las piezas en movimiento y fricción
Contiene compuestos con: plomo procedente de las naftas	Ácidos orgánicos o inorgánicos originados por oxidación o por azufre de los combustibles
Contiene compuestos de azufre	Restos de aditivos: fenoles, compuestos de zinc, cloro, y fósforo
Compuestos clorados: disolventes, PCB y PCT	Hidrocarburos polinucleares aromáticos (PNA)
Pesticidas	Residuos tóxicos

Fuente: elaboración propia.

Resultados

EN EL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO-ELÉCTRICO SE SUGIERE PRACTICAR las siguientes pruebas de análisis físico-químico-eléctrico sugerido en la tabla 9 para diagnosticar sus condiciones operativas y de esta forma poder determinar si el aceite presenta condiciones apropiadas para seguir operando y proteger el aislamiento sólido.

TABLA 9. Análisis físico-químico-eléctrico del aceite dieléctrico para obtener información que ayuda a identificar de manera precisa el estado que guardan las propiedades del aceite.

Análisis físico-químico-eléctrico para equipos que operan debajo de 50 KV		
Cromatografía de gases disueltos en aceite. Está presente acetileno		
De acuerdo a la relación CH ₄ /H ₂ y C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ nos indica que el transformador presenta un problema térmico.		
Debido a que se presenta acetileno, la falla que se produce es un arqueo. La cual también produce pequeñas cantidades de etileno, metano y monóxido de carbono si la falla afecta a la celulosa.		
La alta concentración de etano y la presencia de acetileno fue lo que causó que se analizara, aplicando la Norma NMX-J-123-ANCE		
Hidrocarburos aromáticos proporciones de 4 al 7 %		
Hidrocarburos isoparafínicos de 45 al 55 %		
Hidrocarburos nafténicos: 50 al 60 %		
La viscosidad máxima a las siguientes temperaturas. Método ASTM D445		
Temperatura °C	V. Estándar cSt	V. Real cSt
100	3	4
40	12	14
0	76	72
Punto de inflamación: 145°C		
Factor de potencia:		
Máximo permisible (%), evaluado mediante el método ASTM D-924, es:		
Temperatura	factor de potencia teórico	factor de potencia real
25°C.....	0,05 %.....	0.03 %
100°C.....	0,3 %.....	0.6 %
Pruebas de factor potencia:	Color: 5 Máximo	ASTM D1500
60 Hz/100 °C ASTM D924	0,3%	Comparación por luz transmitida del aceite con una serie de vidrios de color estándar.
Máx.		
Contenido de humedad. Cantidad de mg/kg de agua existente en el aceite. 55 ppm es lo máximo. Nivel bajo de humedad conserva bajas las características de pérdida dieléctrica. Minimiza la corrosión interna en el equipo.		Rigidez dieléctrica. Insensibles a la humedad en concentraciones debajo del 60 % del nivel de saturación. Efectos nocivos en el aceite.
Tensión interfacial: 15 dinas /cm Mínimo ASTM D971.		Densidad relativa. Dos temperaturas, 20/4 C, refiriéndose la primera temperatura al aceite y la segunda al agua. Para indicar la posibilidad de contaminación por fluidos distintos al aceite dieléctrico. Aceites de base parafínica la densidad relativa es 0.853, los de base nafténica la densidad es igual 0.880.
Presencia de contaminantes polares no deseados, con alta tensión interfacial (40-45 mN/m). Ausencia de contaminantes polares, el aceite mantiene elevados valores de rigidez dieléctrica aún presente el agua.		

Continúa...

Análisis físico-químico-eléctrico para equipos que operan debajo de 50 KV

Azufre corrosivo. Los aceites aislantes están en contacto con metales, tales como cobre o plata, sujetos a corrosión, por lo que la presencia de azufre libre y corrosivo deteriora los metales, dependiendo en gran parte de la cantidad, el tiempo y temperatura.

Furanos. Por medio de la cromatografía de líquidos se determina cualitativa y cuantitativamente la concentración de compuestos furánicos en el aceite:

5 Hidroximetil-2-Furaldehído

2- Acetilfurano

Alcohol furfurílico

2- Furaldehído (furfural)

5-Metil-2-Furaldehído(Furfural)

Acidez total:0,7 mg KOH/g Máx. ASTM D974

Número de neutralización cuantificación del grado de oxidación del aceite que es la causa de la formación de ácidos que deterioran el sistema de aislamiento sólido y conduce a la pérdida de capacidad dieléctrica del aceite y la oxidación del núcleo magnético, conduce a la caída en la tensión interfacial.

Fuente: elaboración propia.

Un análisis físico-químico-eléctrico del aceite dieléctrico permite obtener información importante que ayuda a identificar de manera precisa el estado que guardan las propiedades del aceite, diagnosticar sus condiciones operativas y poder determinar si el aceite presenta condiciones apropiadas para seguir operando y proteger el aislamiento sólido. Pruebas físico-químico-eléctrico del aceite dieléctrico que se le miden al aceite se presentan en las siguientes tablas:

TABLA 10. Relación entre factor de potencia y temperatura.

Factor de potencia a 25 C y 100 C.			
Medición	Contaminación	Deterioro del aceite	Límites NMX-J-308
Método ASTM D-924	Fluido aislante por partículas polares solubles y sólidas / presencia de un campo eléctrico de corriente alterna	Δ del factor de potencia al inicio del proceso de oxidación	1.0 % max a 25 °C
	Barnices, materiales sólidos, partículas coloidales.		5.0 % max a 100 °C
	Impurezas solubles en el aceite		
	Humedad		

Fuente: elaboración propia.

La prueba de factor de potencia para determinar la manera de medir las pérdidas dieléctricas y la cantidad de energía disipada como calor en el aceite aislante a dos temperaturas, puede valorar los cambios que sufre el aceite en servicio, como resultado de su deterioro o como el grado de contaminación del fluido aislante por partículas polares solubles y sólidas ante la presencia de un campo eléctrico de corriente alterna. Cuando comienza el deterioro de un aceite, se detecta el incremento del factor de potencia al inicio del proceso de oxidación, después de cierto tiempo, se presenta un nuevo aumento en su valor. La prueba a la temperatura Celsius de 25 °C, indica la contaminación por humedad y algunas impurezas solubles en el aceite. La prueba a la temperatura Celsius de 100 °C, muestra la presencia de contaminantes como barnices, materiales sólidos, partículas coloidales, entre otras.

En la tabla II se aborda que la rigidez dieléctrica de 18 kV es tratada como baja, de 25 kV o mayor se considera como buena para transformadores en servicio y para transformadores nuevos una rigidez dieléctrica mayor de 30 kV es aceptable. Un aceite seco, limpio y nuevo soporta normalmente 35 kV o más de este valor.

TABLA II. Rigidez dieléctrica.

Rigidez dieléctrica				
Método	Medición	Contaminación	Deterioro del aceite	Límites NMX-J-308:
ASTM D-877	Valor de esfuerzo eléctrico o el gradiente de potencial	Bajo valor de rigidez dieléctrica = partículas contaminantes	Aceites: filtrados, desgasificados y deshidratados, durante y después del proceso de llenado de equipos eléctricos	25 kV MIN.
Electrodos planos (ASTM D-877):	El aceite permite la formación de un arco y el paso de la corriente eléctrica	Ejemplo: fibras de celulosa, lodo, partículas conductoras,	Líquidos aislantes no procesados, recibidos del fabricante en carros tanque o tambos	
Electrodos semiesféricos (ASTM D-1816)	Pruebas de rutina en líquidos aislantes de aparatos de potencia	subproductos químicos del aceite o agua	Efectos nocivos	

Fuente: elaboración propia.

Un aceite con menos de 22 kV, procede a su acondicionamiento por medio de un filtro prensa y una bomba centrífuga para aceite, o una unidad regeneradora de aceite al vacío. El filtrado de aceite, con valor de rigidez dieléctrica de 22 kV, es para transformadores de distribución que ya han estado en uso. En aparatos fuera de servicio por largos periodos de tiempo se encuentran húmedos los devanados, como el aceite. Si al filtrar el aceite, no se elimina la humedad de los devanados, se someten las bobinas a un proceso de secado para evitar falla de aislamiento. En el filtro prensa se descartan: humedad, partículas finas de sedimentos y carbón; puede ocurrir que después de pasar varias veces el aceite por el filtro, no suba su poder dieléctrico al valor deseado, entonces se debe sustituir por aceite nuevo.

La tensión superficial detecta agentes contaminantes polares solubles en el aceite, lo que produce el inicio del envejecimiento del aceite y es un ensayo sensible. El valor de la tensión superficial varía rápidamente durante la primera etapa de envejecimiento, pero luego la tasa de variación decrece a medida que los valores absolutos disminuyen. Los resultados son difíciles de interpretar cuando el aceite está regularmente contaminado. En la tabla 12, la muestra de aceite se introduce con agua en un recipiente, se coloca en la interface agua-aceite un anillo plano de alambre de platino y se mide la fuerza necesaria para quitarlo, levantándolo desde la interface agua-aceite.

TABLA 12. Tensión superficial del aceite mineral.

Método	Medición	Contaminación	Deterioro del aceite	Límites
ASTMD-971	Tensión superficial que el aceite mantiene frente al agua	Polares solubles	Degradación del aceite	NMX-J-308: 19 % MIN
	Valor bajo = contaminantes polares solubles	Productos de la oxidación		
	Alta tensión interfacial (40-45 J/m) nos indica ausencia de contaminantes polares = valores elevados de rigidez dieléctrica, aunque incorpore agua			

Fuente: elaboración propia.

El aceite en servicio fuertemente deteriorado puede contar con valores de tensión superficial inferiores a 18 J/m. Tensión interfacial, mide la tensión superficial que el aceite mantiene frente al agua, detectando en forma sensitiva la presencia de los contaminantes polares solubles y los productos de la oxidación, que son indicativos de la degradación del aceite. Un valor bajo en la prueba es indicativo de presencia de contaminantes polares no deseados, por el contrario un aceite con alta tensión interfacial (40-45 J/m), nos indica ausencia de contaminantes polares, por lo que este aceite será capaz de mantener elevados valores de rigidez dieléctrica, aunque incorpore agua.

Los eventos relativos al envejecimiento se van registrando en el aceite en forma de gases disueltos y la actividad de descargas parciales produce en cantidades mayores hidrógeno H_2 , metano (CH_4) y los arcos de mayor energía producen cantidades importantes de acetileno.

Estas pruebas se realizan para evaluar el estado físico del transformador con respecto a factores como la producción de arcos, puntos calientes, y deterioro del papel, utilizando para ello equipos de análisis de cromatografía de líquidos y de gases.

La IEC 567 es una guía que incluye los métodos más eficaces y la IEC 599 es una guía para la interpretación de los análisis de los gases, así los niveles de monóxido y dióxido de carbono en los análisis de gases en el aceite aportan una indicación del grado de deterioro, pero se obtiene una señal más precisa y temprana sobre el estado, midiendo el contenido de furfuraldehídos del aceite.

Esto se realiza según la IEC 1198, en el que el umbral de detección de los furfuraldehídos es deliberadamente bajo. Es complejo emitir recomendaciones generales sobre la frecuencia con que deberá examinarse un aceite de transformador en servicio para determinar el grado de deterioro a que se le puede permitir llegar al aceite mineral. Para grandes transformadores de energía eléctrica se debe examinar con regularidad los transformadores, mientras que para pequeños transformadores de distribución se asumen los riesgos. La valoración del riesgo no deberá basarse únicamente en el tamaño de la unidad, sino sobre todo en los efectos de una avería.

En la IEC 422 se agrupan ocho clases diferenciadas en función de la tensión de servicio y de la carga, con distintas recomendaciones sobre la frecuencia de seguimiento.

Es importante realizar un análisis de tendencia, así como reunir experiencia acumulada con todo tipo de equipos bajo distintas condiciones de trabajo.

Compatibilidad, entre los distintos aceites ha sido siempre un tema muy discutido, no obstante, los aceites que cumplen con la IEC 296 son miscibles entre sí.

Viscosidad del aceite es importante para la refrigeración del transformador; cuanto más baja es la viscosidad, mejor es la refrigeración. Las propiedades a baja temperatura son importantes en climas fríos, por lo que las especificaciones para estos casos incorporan tanto el punto de fluidez como la viscosidad. La conveniencia de extender los requisitos, es decir, de especificar que el punto de turbiedad debe ser \leq al punto de fluidez para temperaturas de -40°C o más bajas.

La guía de carga para transformadores de potencia inmersos en aceite mineral, que incluye variaciones de la viscosidad para temperaturas tan bajas como -40°C y las variaciones de la carga térmica como resultado del cambio de resistividad del cobre y de las pérdidas adicionales en los devanados.

La vida del transformador está limitada para una temperatura ambiente de 0°C , por las razones de variación de la viscosidad y resistividad. El comportamiento de los transformadores de potencia funcionando a temperaturas ambientes bajas resulta de utilidad para definir la capacidad de sobrecarga para climas muy fríos. Para calcular la temperatura final del punto caliente, para la refrigeración, considera las variaciones de la viscosidad con la temperatura el cual se opone al efecto de variación de la resistencia óhmica del conductor, es decir, que tales efectos se anulan.

Para la refrigeración ON se considera la variación de la viscosidad del aceite con la temperatura despreciable. El efecto de variación de la resistencia óhmica debe ser considerado mediante un coeficiente de corrección. La prueba de contenido de humedad determina la cantidad en mg/kg de agua existente en el aceite, el método más utilizado para la realización de esta prueba es el Karl Fischer. El agua es el enemigo principal del aceite, por lo que es necesario mantener un nivel bajo de contenido de humedad a fin de conservar bajas las características de pérdida dieléctrica y minimizar la corrosión interna en el equipo. Un alto contenido de humedad puede conducir a una descarga eléctrica en el transformador, provocada por el deterioro de su sistema de aislamiento, principalmente por la descomposi-

ción de las fibras del papel aislante que es causada por la gran afinidad de este elemento con el agua.

La prueba de color es de tipo cualitativa se expresa con un valor numérico y está basada en una comparación por luz transmitida del aceite con una serie de vidrios de color estándar.

No existe una correlación directa entre el cambio de color del aceite y un problema específico del equipo, los cambios de color proporcionan una indicación del deterioro y/o contaminación del aceite.

La densidad relativa es la relación del peso de un volumen de aceite, al peso de un volumen igual de agua y los pesos varían con la temperatura, por lo que es preciso especificar dos temperaturas en la escala centígrada es decir de 20/4 °C, refiriéndose la primera temperatura al aceite y la segunda al agua. Indicar la posibilidad de contaminación por fluidos distintos al aceite dieléctrico.

Empleando un hidrómetro o un picnómetro, los aceites de base parafínica su densidad relativa es igual a 0.853, y para los de base nafténica presentan una densidad relativa aproximada de 0.880, tal que es la determinación de la masa de un volumen de aceite, referida a la masa de un volumen igual de agua a una temperatura específica.

La viscosidad es el tiempo que tarda en fluir una cantidad exacta de líquido a través de un capilar normal por efecto de la gravedad, bajo condiciones controladas y no es afectada significativamente por el deterioro o contaminación del aceite. Está relacionada con la influencia sobre las características de transferencia de calor de un aceite. Es una característica necesaria en los transformadores, tal que el calor generado en los devanados y núcleo debe removerse eficientemente, por la transmisión del calor a través del aceite y enseguida al medio ambiente. La viscosidad es un factor determinante de las condiciones del proceso del aceite y la impregnación de la celulosa en función del tiempo. Una alta viscosidad afecta adversamente el arranque de aparatos en climas fríos como es el caso de transformadores de respaldo y reemplazo).

La operación de un transformador, el aceite aislante y otros materiales dieléctricos, sufren procesos de descomposición química por la acción de la temperatura y de las tensiones eléctricas que ocasiona como resultado la aparición de gases.

Los gases formados por la descomposición de los materiales aislantes se disuelven total o parcialmente en el aceite, que los diluye y transporta desde

todos los puntos con los que entra en contacto. En la tabla 13 se reporta la concentración de gases derivado del análisis de los contenidos de gases aislantes por cromatografía a partir de la extracción de una muestra de aceite. Es una herramienta para identificar fallas incipientes en el equipo eléctrico provocadas por: arqueo, descargas parciales, chisporroteo, sobrecalentamiento, fallas térmicas de alta y baja temperatura, que permiten anticipar las fallas del equipo eléctrico con acciones preventivas asegurando de esta forma la continuidad de operación además de eliminar los excesivos gastos derivados de reparaciones y paros inesperados. El tipo de transformador, el volumen de aceite, han establecido algunos límites o niveles de seguridad aceptables.

TABLA 13. La concentración principal de gases a determinar.

Molécula gaseosa	Formula molecular	Concentración de gases disueltos en aceite mineral (ppm)
Hidrógeno	H ₂	Menos de 20N + 50
Metano	CH ₄	Menos de 20N + 50
Monóxido de carbono	CO	Menos de 25N + 500
Dióxido de carbono	CO ₂	CO2 Menos de 100N + 1500
Etileno	C ₂ H ₄	Menos de 20N + 50
Etano	C ₂ H ₆	Menos de 20N + 50
Acetileno	C ₂ H ₂	Menos de 5N + 10

Fuente: elaboración propia.

Reflexiones

EN LA ETAPA DE DIAGNÓSTICO, EN EL PROCESO DE ANÁLISIS, SE DA respuesta a dos preguntas básicas:

- ¿Hay alguna irregularidad en el transformador o equipo que se examina? Es cierto que tienen un periodo de vida de aproximadamente 15 años, sin embargo, en la práctica del mantenimiento se generan residuos de un alto grado de peligrosidad que, insisto, se debe de disponer de acuerdo a su grado de contaminación y confinarlos de manera responsable.
- En caso afirmativo
- ¿Cuál es su origen y su gravedad?

Para dar respuesta a las preguntas es necesario correlacionar los resultados del análisis con la composición gaseosa esperada o verificada en transformadores que funcionan de manera normal tomando en consideración los siguientes elementos:

- Niveles normales de concentración de gases.
- Composición y características de los gases.
- Relaciones entre gases.

Se elabora un informe en el que se comunica el nivel de los gases disueltos y su diagnóstico, como parte del informe.

Los beneficios alcanzados mediante un análisis son:

- Localización de fallas.
- Detección de deterioro acelerado del aislamiento.
- Detección de gases de combustión que favorecen el calentamiento global.

En el caso de determinación de furanos, el método consiste en determinar los productos de la degradación de materiales, tales como papel, cartón comprimido y materiales de aislamiento que conforman el equipo eléctrico. Estos productos comúnmente se llaman compuestos furánicos o furanos.

TABLA 14. Los compuestos furánicos formados por la degradación de la celulosa, son solubles en el aceite y por medio de cromatografía de líquidos se determina cualitativa y cuantitativamente lo siguiente:

Furanos formados por la degradación de la celulosa		Concentración/anual
Alcohol furfurílico	2- Furaldehído (furfural)	< 50 (miu)g/kg
5 Hidroximetil-2-furaldehído	5-Metil-2-furaldehído (furfural)	Aislamiento normal < 100 (miu)g/kg
2- Acetilfurano		Media vida de 100 a 1000 (miu)g/kg Último tercio de vida >=1000 (miu)g/kg

Fuente: elaboración propia.

Las altas concentraciones de compuestos furánicos en el aceite pueden indicar una degradación de la celulosa, debido al envejecimiento del equipo o por fallas incipientes, lo que nos puede ayudar a determinar la vida útil del equipo, el cual se convierte en un factor limitante (ver tabla 14).

Los criterios de evaluación se basan en la concentración de 2-furfural. Para un envejecimiento y el incremento de 2-furfural debe ser menor a 50 (miu)g/kg. También se utilizan los criterios siguientes para evaluar el aislamiento en el transformador:

- Aislamiento normal < 100 (miu)g/kg
- Media vida de 100 a 1000 (miu)g/kg
- Último tercio de vida \geq 1000 (miu)g/kg

Cuando la concentración de monóxido de carbono (CO) se encuentra con niveles arriba de lo normal, el análisis cromatográfico se emplea para confirmar la presencia de CO. El aceite mineral está en contacto con metales como el cobre y la plata, metales expuestos a la corrosión, por lo que la presencia de azufre libre es perjudicial para la presencia de metales, influyendo factores como el tiempo y la temperatura. La presencia del azufre en el aceite puede deberse al origen del crudo, grado de refinación y/o procesos empleados, así el azufre libre /corrosivo, que se forme procedente del azufre total por efectos de la temperatura y alta tensión eléctrica, degrada los materiales que constituyen el equipo eléctrico y el cobre, por ser uno de los catalizadores más activos, se encuentra expuesto a una mayor corrosión.

Los BPC, aunque su uso está limitado son fluidos aislantes sintéticos que todavía están presentes en los sistemas electromecánicos. Estos fluidos no son flamables, son estables y difíciles de destruir, fueron usado antiguamente en transformadores donde se requería una alta resistencia al fuego y en capacitores por su alta permisividad. Los transformadores podían utilizarse bajo techo, con máxima seguridad, próximos a los centros de trabajo, tal como en hospitales, aeropuertos, estadios, etcétera. Las investigaciones realizadas han demostrado que son compuestos extremadamente resistentes a la biodegradación y por su dispersidad, persistencia y acumulación en los ecosistemas se ha catalogado como material tóxico ambiental. Los BPC están regulados en México por la *Ley general de equilibrio ecológico y la protección al ambiente* de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-133-SEMAR-

NAT-2015, Protección Ambiental-Bifenilos Policlorados (BPC)-Especificaciones de Manejo, la cual establece que todo equipo eléctrico que contiene fluidos dieléctricos con una concentración mayor o igual a 50 mg/kg (ppm) de BPC debe considerarse como un contaminante y tratarse como tal.

Conclusión

CUANDO SE GENERA UN MAYOR VOLUMEN DE ACEITE LUBRICANTE gastado, en la mayoría de los casos se almacena en espera de encontrar una solución económica para su eliminación.

El aceite mineral residual por su composición química se convierte en un agente altamente contaminante. El análisis del aceite dieléctrico proporciona información como:

- Composición química del aceite mineral residual.
- Envejecimiento del aceite mineral.
- Prevenir fallas anticipadamente.
- Identificar problemas potenciales antes que estos impacten negativamente.
- Proporciona información cualitativa del tiempo real de la rigidez dieléctrica y el estado de los aislantes.
- El tipo o método de acción correctiva que es apropiado para cada transformador, depende directamente de los resultados arrojados por los análisis realizados al aceite y este se debe abordar de manera individual para cada tipo problema.
- Se confirma que la humedad es un factor importante que afecta la vida del aceite del transformador.
- La eliminación de la humedad elimina el oxígeno, reduciendo la posibilidad de que ocurra la oxidación en el interior del sistema y disminuye la oxidación del aceite mineral.

Bibliografía

- ÁLVAREZ Pulido, M. (eds.). (2009). *Transformadores*. Marcombo.
- AVELINO Pérez, P. (eds.). (2009). *Transformadores de distribución teoría, Cálculo*. Reverté.
- BOSQUES. (s. f.). En Enciclopedia de Puerto Rico. Recuperado de [HTTP://WWW.ENCICLOPEDIAPR.ORG/ESP/ARTICLE.CFM?REF=08032701](http://www.ENCICLOPEDIAPR.ORG/ESP/ARTICLE.CFM?REF=08032701)
- CORCOLES López, F. (eds.). (2004). *Transformadores*. Ediciones UPC.
- ENRÍQUEZ Harper, G. (eds.). (2005). *El libro práctico de los transformadores, generadores y motores eléctricos*. México, Limusa.
- ENRÍQUEZ Harper, G. (eds.). (1999). *El ABC de la calidad de la energía eléctrica*. México, Limusa.
- FITZGERALD, Arthur E. (eds.). (2012). *Electric machinery*. Mc Graw Hill.
- FRAILE Mora, J., (eds.). (2003). *Máquinas eléctricas*. Mc Graw Hill.
- GRAINGER John, J. (eds.). (s.f.). Análisis de sistemas de potencia. Interamericana.
- KOSOW Irving L. (eds.). (1975). *Máquinas eléctricas y transformadores*. Reverté.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-133-SEMARNAT-2015, Protección Ambiental-Bifenilos Policlorados (BPCs)-Especificaciones de Manejo Prefacio.
- STEPHEN J. Chapman. (s. f.). (Eds.). *Máquinas eléctricas*. British Aerospace Australia. Mc Graw Hill.

Impacto ambiental de los vertidos de procesos de desalinización mediante la evaluación de la capacidad germinativa de higuierilla (*Ricinus communis L.*)

Martínez Torres, Tatiana Sarahí,¹ Dévora Isiordia, Germán Eduardo,² Valdez Torres, Luis Carlos,³ Álvarez Sánchez, Jesús,⁴ Cuevas Salazar, Omar⁵

Introducción

DEBIDO A LA ESCASEZ DE AGUA QUE SE ESTÁ PRESENTANDO en la actualidad alrededor del mundo, la desalación de agua de mar o salobre se ha convertido en una de las soluciones con más auge a nivel mundial, siendo un generador prioritario de recursos

1 Citrofrut. Correo electrónico: tatiana.martinez@citrofrut.com

2 Profesor-investigador del Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora. Correo electrónico: german.devora@itson.edu.mx

3 Profesor-investigador del Departamento de Matemáticas, Instituto Tecnológico de Sonora. Correo electrónico: luis.valdez@itson.edu.mx

4 Instituto Tecnológico de Sonora. Correo electrónico: jesus.alvarez@itson.edu.mx

5 Instituto Tecnológico de Sonora. Correo electrónico: Omar.cuevas@itson.edu.mx

hídricos en cantidad y calidad, tanto para consumo humano como para uso agrícola e industrial (Martínez, 2006).

La desalación por ósmosis inversa (oi) ha sido el método que más se ha implementado, el cual consiste en impulsar agua de mar o agua salobre a través de una bomba de alta presión y como consecuencia se obtiene el paso del agua pura por medio de una membrana, apartando las sales en una corriente de concentrado (Díaz *et al.*, 2010). Por lo tanto, en una parte se recibe agua producto sin presencia de sales, y por otro un producto secundario de elevada salinidad y otros aditivos que se emplean en el proceso de desalación (Höpner y Windelberg, 1996; Morton *et al.*, 1996; García y Ballesteros, 2001; Lattemann y Höpner, 2003).

El agua rechazo, mejor conocida como salmuera a concentraciones mayores de 30 000 mg/L de SDT, no contienen productos contaminantes en proporciones significativas, sino únicamente las mismas sales naturales marinas a mayor concentración, con una salinidad aproximadamente de un 80 % superior a la del agua de mar (Estevan, 2007).

Este producto es vertido principalmente al medio marino, pudiendo afectar a los organismos que habitan en dicho ecosistema (Del Bene *et al.*, 1994; García y Ballesteros, 2001; Einav y Lokiec, 2003; Purnama *et al.*, 2003). A su vez, si no se cuenta con un método de disposición del agua rechazo también puede afectar a la fauna y a las tierras de cultivo que se encuentren cerca de la zona, reduciendo sus poblaciones y ocasionando su deceso, siendo la salinidad de los suelos un grave problema para la agricultura mundial, afectando entre un 40-50 % de toda el área agrícola del planeta (González *et al.*, 2000; Cristo *et al.*, 2001;).

Al respecto, un estudio realizado en el Valle del Yaqui para evaluar el rendimiento de higuera expuesto a diferentes concentraciones de salinidad mediante la operación de una planta desalinizadora de ósmosis inversa de 150 m³/d ubicada en el Valle del Yaqui, mostró que el agua de alimentación del pozo fue de 3873.70 mg/L de SDT y la concentración del agua de rechazo fue de 10 958.63 mg/L de SDT, la cual es vertida hacia un dren colector que en su trayecto se encuentra flora local, que se ve afectada por la exposición del xenobiótico (Pérez, 2016).

Se han realizado pocos estudios acerca de las consecuencias que la desalación puede ocasionar sobre el medio ambiente, en específico en flora y fauna, las cuales puede resultar graves si no se realiza una gestión apropiada.

da del mismo, las probabilidades de ocasionar un riesgo de impacto considerable se incrementan (De Santa Olalla *et al.*, 2005).

Para conocer el efecto del agua de rechazo se utilizan bioensayos ecotoxicológicos, que son técnicas utilizadas para la evaluación de los efectos tóxicos agudos o crónicos, tanto de sustancias químicas conocidas como de muestras ambientales de composición incierta. Estas pruebas de toxicidad miden el efecto de uno o más contaminantes sobre las especies y consiste en la exposición de los organismos de ensayo a concentraciones crecientes de un agente tóxico para determinar algún cambio en estos en un cierto periodo de tiempo (Larraín, 1995).

El objetivo de esta investigación es determinar el efecto que tiene la salinidad en el proceso germinativo de higuierilla, expuesta a vertidos de procesos de desalinización, mediante pruebas ecotoxicológicas.

Método

LA INVESTIGACIÓN SE LLEVÓ A CABO EN EL CAMPO EXPERIMENTAL 1814, ubicado en la zona agrícola del Valle del Yaqui, en Obregón, Sonora, México con coordenadas Oeste: 109°52'16.6" Norte: 27°1'21.1" (figura 2).

Se realizaron bioensayos crónicos de germinación con higuierilla a diferentes concentraciones de salinidad. Se desarrolló un diseño experimental con un solo factor con $a=6$ niveles del factor con 80 observaciones (semillas) en cada uno de los niveles. Donde a es la concentración de salinidad (tratamientos) y es de tipo cuantitativo: 0.1, 0.75, 2, 4, 5 y 10 dS/m, lo que representa un total de 480 unidades experimentales (tabla 1).

Se colocaron 80 semillas por tratamiento en charolas de germinación, se introdujeron 6.7 g de tierra para semillero a cada cavidad en la charola, posteriormente se inyectaron 15 mL de la solución del tratamiento y se cubrieron las charolas con plástico film. Se mantuvo una temperatura constante aproximadamente de 21°C para todos los tratamientos, conforme a lo establecido por Robles (2002). Según Alvarado (2009) con una buena humedad la planta germina entre el día 5 a 10, por lo tanto a los siete días se registró el número de semillas que germinaron normalmente y las que no germinaron, considerando como criterio de germinación la ruptura de la cáscara de la semilla. Para medir la longitud de la radícula e hipocótilo se utilizó un calibrador digital vernier de 6" milimétrico y estándar TRUPER CALDI-6MP.

La medida de elongación de la radícula se consideró desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocótilo) hasta el ápice radicular. La radícula forma la raíz primaria y la medida de elongación del hipocótilo se consideró desde el nudo hasta el sitio de inserción de los dos cotiledones (Sobrero & Ronco, 2004).

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software MINITAB 14 para determinar si las medias de las mediciones de radícula e hipocótilo eran iguales, se demostró que no había igualdad con un nivel de significancia de 0.05. Una vez rechazada la igualdad en los tratamientos, se utilizó el método de comparaciones múltiples de Fisher o Least Significant Difference (LSD), para decidir cuál o cuáles de los tratamientos ocasionan el rechazo.

Resultados

Longitud de radícula e hipocótilo en el proceso germinativo

LOS MEJORES RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS BIOENSAYOS de germinación con respecto a la radícula se obtuvieron en la concentración de 0.1 dS/m y los más pequeños en la concentración de 10 dS/m presentando quemaduras (figura 3).

En las medidas del hipocótilo en la concentración de 0.75 dS/m se obtuvo la media más grande y la media más baja, se obtuvo en la concentración de 10 dS/m presentando un valor cercano a cero (figura 4).

Porcentaje germinativo en semillas de higuera

EL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN EN TODOS LOS TRATAMIENTOS FUE muy variable, el rango osciló entre el 92 % y 99 % (tabla 2). La concentración de 0.75 dS/m fue la de mayor porcentaje con 98.75 % y las concentraciones de 2 dS/m y 4 dS/m las de menor porcentaje con 92.5 %, debido a que las semillas fueron recolectadas directamente del campo y no garantizaban un 100 % de germinación, siendo un factor de variación que no se considera en el diseño del experimento.

Análisis de Varianza (ANOVA)

SE DEMOSTRÓ QUE NO HABÍA IGUALDAD ENTRE LAS MEDIAS DE RADÍCULA e hipocótilo ($P=0.05$). Dado que el valor de P fue menor que el nivel de significancia ($\alpha=0.05$). El análisis de varianza para radícula e hipocótilo se muestra en las tablas 3 y 4.

Método de Fisher o LSD

LAS MEDIAS CON SIMILITUDES EN EL CASO DE LA RADÍCULA FUE LA concentración de 0.75 dS/m y 4 dS/m, así como la de 4 dS/m y 5 dS/m. No se encontraron medias con similitudes en el hipocótilo (tabla 5).

Discusión

Radícula

DE LA FIGURA 3 SE PUEDE OBSERVAR QUE LAS MEDIDAS DE RADÍCULA tienden a disminuir conforme la salinidad aumenta, estos resultados están de acuerdo con Lima *et al.* (2014) y Dos Santos *et al.* (2013) al constatar que a medida que el nivel de conductividad eléctrica aumenta, se reduce el crecimiento de la planta de higuera. En general, cultivos sometidos a estrés salino ejercen gran influencia en la extracción de agua del suelo por las raíces (Dos Santos *et al.*, 2013), lo cual afecta las variables fisiológicas de la planta.

Hipocótilo

LAS MEDIDAS OBTENIDAS EN EL HIPOCÓTILO FUERON MENORES QUE las de la radícula, lo cual indica que el crecimiento de la radícula fue menos susceptible a las condiciones salinas del medio que el del hipocótilo. Esta diferencia podría estar basada en el hecho de que el ajuste osmótico ocurre primeramente en la raíz (Sausen & Rosa, 2010).

Germinación

AUNQUE LA CONCENTRACIÓN DE 10 DS/M PRESENTÓ UN PORCENTAJE de germinación alto, fue la que tuvo longitudes radiculares y de hipocótilo muy cercanas al cero de crecimiento, lo que indica que la higuera puede ser regada a concentraciones de salinidad de 4, 5 dS/m siendo el agua de riego moderadamente-salina (tabla 6), según la clasificación del agua salina (Phocaides, 2007). Sin embargo, no es conveniente utilizar agua de riego a concentraciones mayores de 10 dS/m por ser tóxico para la planta y afectar en su desarrollo (figura 5).

En un estudio realizado por Sun *et al.* (2013) con cuatro variedades de higuera demostró que a la concentración de 10.3 dS/m tres variedades de higuera presentaron un 100 % o más en la germinación de las plántulas ("Brigham", "Hale", y "Memphis") y a la concentración de 17.5 dS/m solo una variedad tuvo un porcentaje mayor del 100 % ("Memphis") reduciendo significativamente el índice de germinación en todas las otras variedades.

Según lo reportado por Pinheiro *et al.* (2008), la germinación de semillas de higuera parece no ser sensible al estrés salino, sin embargo, el crecimiento y el desarrollo posterior de las plántulas se ven gravemente afectados. Tal como se demostró en este estudio al obtener un buen porcentaje de germinación a la concentración de 10 dS/m pero las medidas de radícula e hipocótilo fueron las más bajas en comparación con los otros tratamientos.

Relación entre el efecto de la salinidad y el desarrollo de la etapa germinativa

AL IGUAL QUE EN LA RADÍCULA, LAS MEDIDAS DECRECEN AL AUMENTAR la concentración de salinidad. La tendencia a disminuir de los valores de la radícula e hipocótilo se debe a que la presencia de sal disminuye la absorción de agua y de los nutrientes que son importantes del suelo. Una vez que la sal es acumulada dentro de la planta, el sodio es tóxico para una variedad de procesos metabólicos, incluyendo enzimas que participan en la fotosíntesis (Barkla *et al.*, 2007). En este trabajo se demuestra que la higuera es una especie moderadamente tolerante a la salinidad.

Estudios realizados en Brasil y en Argentina reportan que la tolerancia de higuera a la salinidad durante la germinación comienza a disminuir

significativamente a partir de un rango de valores de entre 11 a 13 dS/m (Dos Santos *et al.*, 2008; Dolzán, 2008). Sin embargo, en una investigación en la región nordeste de Brasil, las plantas de higuera sometidas a distintas concentraciones de salinidad, se vieron afectadas sensiblemente con la aplicación de agua salina a la concentración de 4.8 dS/m, reduciendo el consumo diario de agua de las plantas, el nacimiento de las hojas y el tamaño de la planta. Asimismo, a concentraciones bajas de salinidad (0.12, 0.8 dS/m) las plantas se desarrollaron mejor que las que tuvieron mayor concentración, tales concentraciones coinciden con las utilizadas en este trabajo (0.1 dS/m, 0.75 dS/m) (Marenco *et al.*, 2012).

Conclusiones

LA PLANTA DE HIGUERA ES UNA ESPECIE MODERADAMENTE TOLERANTE a la salinidad, ya que a las concentraciones de 4 y 5 dS/m se desarrolló de una manera favorable al momento de la germinación; sin embargo, a concentraciones mayores de 10 dS/m se obtuvieron las medidas más bajas de todos los tratamientos con respecto a radícula e hipocótilo. En este sentido de análisis, las pruebas ecotoxicológicas confirman que la radícula y el hipocótilo son afectados en su crecimiento, siendo el hipocótilo quien presentó los daños más severos de crecimiento, por efecto del incremento de la salinidad a la que fue expuesta.

Por otra parte, las concentraciones de salinidad de las descargas del agua de rechazo de la planta desalinizadora ubicada en el campo experimental 1814, de la zona agrícola del Valle del Yaqui, superan los 10 dS/m, lo que ocasiona un impacto ambiental negativo en la flora presente en el sitio de descarga, sin embargo existe una dilución natural del sitio de descarga, al encontrar el vertido del agua de rechazo otros aportes de agua, provenientes de canales de drenaje, o de lavados de campo cercanos al punto de descarga. Actualmente no se cuenta con una disposición final adecuada del agua de rechazo, por lo que para mitigar el impacto ambiental sobre el sitio de descarga es importante implementar un método de reutilización del producto generado por la desaladora.

Agradecimientos

LOS AUTORES AGRADECEN EL FINANCIAMIENTO OTORGADO POR Fundación Produce Sonora, A. C. para llevar la realización de este proyecto de investigación, con folio de aprobación 26-2012-0030. De la misma manera se agradece al Ing. Fructuoso Alejandro Méndez González, quien participó como agricultor cooperante facilitando terreno agrícola y pozo de alimentación a planta desaladora.

Bibliografía

- ALVARADO, D. A. (2009). Caracterización morfométrica de cinco ecotipos de higuera (*Ricinus Communis L.*) en la ESPOL "Campus Gustavo Galindo". (Tesis licenciatura). Escuela Superior Politécnica del Litoral, 110 pp.
- BARKLA, B. J., Vera-Estrella, R., Balderas, E., & Pantoja, O. (2007). Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. *Biotecnología*, 14, 263-272.
- CRISTO, E., González, M. C., Cárdenas, R. M., y Pérez, N. (2001). Comunicación corta evaluación de la tolerancia a la salinidad en el estado juvenil de tres nuevas líneas de arroz (*Oryza sativa l.*) utilizando marcadores morfoagronómicos. *Cultivos tropicales*, 22 (2), 43-45.
- DE Santa Olalla Mañas, F. M., López Fuster, P., y Calera Belmonte, A. (2005). *Agua y agronomía*. Mundi-Prensa Libros, 606 pp.
- DEL Bene, J., Jirka G., & Largier J. (1994). Ocean brine disposal. *Desalination* 97, 365-372.
- DÍAZ A., Ruiz M., Otero A., Carballo M., y Benito, M. (2010). Diseño de una desaladora de agua de mar de 60.000 m³/d con pretratamiento de ultrafiltración. EOI., 31 p. ECOAGUA. (2009). *Desalación mediante ósmosis inversa*, 164 pp.
- DOLZÁN, A.L. (2008). Respuesta a la temperatura, al potencial agua y a la salinidad en semillas de ricino (*Ricinus communis L.*) (trabajo de intensificación) Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 28 pp.
- DOS Santos, J. B., Dos Santos, D. B., De Azevedo, C. A., Rebequi, A. M., Cavalcante, L. F., & Cavalcante, Í. H. (2013). Comportamento morfofisiológico da mamoneira BRS Energia submetida à irrigação com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(2), 145-153.
- DOS Santos; H.O.; R. Silva-Mann; T.M. Andrade; P.C. Chaves Cortes e M.V. Cunha Bispol. (2008). Potencial germinativo de sementes de mamona (*Ricinus com-*

- munis L.*) submetidas a estresse salino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3, 2008, Salvador. Energia e ricinoquímica: Resumos. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, pp. 1-4.
- EINAV, R., & Lokiec, F. (2003). Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon. *Desalination* 156, pp. 79-85.
- ESTEVAN, A. (2007). Desalación, energía y medio ambiente. *Fundación Nueva Cultura del Agua, Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Universidad de Sevilla y Ministerio de Medio Ambiente*, pp. 1-43.
- GARCÍA, E., y Ballesteros, E. (2001). El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas. En Conferencia Internacional: *El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos medioambientales, reutilización y desalación*. Zaragoza, junio 2001. 10 pp.
- GONZÁLEZ, L. M.; Zamora, A. y Céspedes, N. (2000). Análisis de la tolerancia a la salinidad en variedades de *Vigna unguiculata* sobre la base de caracteres agronómicos, la acumulación de iones y el contenido de proteína. *Cultivos tropicales*, 21 (1), 47-52.
- HÖPNER, T. & Windelberg J. (1996). Elements of environmental impact studies on coastal desalination plants. *Desalination* 108, pp. 11-18. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>
- LARRAÍN, A. (1995). Criterios ecotoxicológicos para evaluar alteraciones ambientales y establecer parámetros de control: Importancia de los Bioensayos de Toxicidad. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar. Cona (Nº Especial)*, pp. 39-47.
- LATTEMANN, S. & Höpner T. (2003). Seawater desalination. Impacts of brine and chemical discharges on the marine environment. *Desalination Publications*, L'Aquila, Italia, 142 p.
- LIMA, G. S., Nobre, R. G., Gheyi, H. R., Soares, L. A. A., Lourenço, G. D. S., & Silva, S. S. (2014). Aspectos de crescimento e produção da mamoneira irrigada com águas salinas e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18, 615-622.
- MARENCO C., Viera C., dos Santos, D., de-Lira, V., y dos-Santos, J. (2012). Estimación de la evapotranspiración del ricino (*Ricinus communis L.*) cv. BRS Energía regado con diferentes niveles de agua salina. *Agrociencia*, 46(4), 321-331.
- MARTÍNEZ, J. (2006). Impacto ambiental de la desalación. En III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente "Agua, Biodiversidad e Ingeniería" Zaragoza, pp. 1-15.

- MORTON, A., Callister I., & Wade, N. (1996). Environmental impacts of seawater distillation and reverse osmosis processes. *Desalination* 108, 1-10.
- PÉREZ, V. (2016). Evaluación del rendimiento del cultivo de cuatro híbridos de Higuierilla expuestos a cinco concentraciones de salinidad suministradas por una planta desalinizadora, en el Valle del Yaqui. (Tesis maestría). Instituto Tecnológico de Sonora, 136 pp.
- PHOCAIDES, A. (2007). *Handbook on pressurized irrigation techniques*. Food & Agriculture Org. 296 pp.
- PINHEIRO, H. A., Silva, J. V., Endres, L., Ferreira, V. M., de Albuquerque Câmara, C., Cabral, F. F., & dos Santos Filho, B. G. (2008). Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis L*) seedlings subjected to salt stress conditions. *Industrial crops and products*, 27(3), 385-392.
- PURNAMA, A., Al-Barwani, H., & Al-Lawatia, M. (2003). Modeling dispersion of brine waste discharges from a coastal desalination plant. *Desalination* 155, 41-47.
- ROBLES, R. (2002). *Producción de oleaginosas y textiles/Oil Production and Fiber*. México, Editorial Limusa, 200 pp.
- SAUSEN, T. L., & Rosa, L. M. G. (2010). Growth and carbon assimilation limitations in *Ricinus communis (Euphorbiaceae)* under soil water stress conditions. *Acta Botanica Brasilica*, 24(3), 648-654.
- SHALHEVET, J., Huck, M. G., & Schroeder, B. P. (1995). Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. *Agronomy Journal*, 87(3), 512-516.
- SOBRERO, M. C., y Ronco, A. (2004). Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas*. IDRC/IMTA. Canadá, Capítulo, 4, pp. 71-79.
- SUN, Y., Niu, G., Osuna, P., Ganjegunte, G., Auld, D., Zhao, L., & Gardea-Torresdey, J. L. (2013). Seedling emergence, growth, and leaf mineral nutrition of *Ricinus communis L.* cultivars irrigated with saline solution. *Industrial Crops and Products*, 49, 75-80.

Tablas

TABLA 1. Diseño experimental de un solo factor.

	a1	a2	a3	a4	a5	a6
Higuerilla	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****
	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Nota: a=Niveles del factor (concentraciones de salinidad), *=Observaciones.

TABLA 2. Porcentajes de germinación para cada concentración de salinidad.

Concentración de salinidad (dS/m)	Porcentaje de germinación (%)
0.10	93.75
0.75	98.75
2.00	92.50
4.00	92.50
5.00	98.00
10.00	96.25

TABLA 3. Análisis de Varianza (ANOVA) de radícula.

Fuente de variación	DF	SS	MS	F	P	Nivel de significancia
Factor	5	1518.9	303.8	22.34	0	0.05
Error	474	6444.7	13.6			
Total	479	7963.6				

Nota: DF=Grados de libertad, SS=Suma de cuadrados, MS=Varianza, F=Distribución F, P=Valor P.

TABLA 4. Análisis de Varianza (ANOVA) de hipocótilo.

Fuente de variación	DF	SS	MS	F	P	Nivel de significancia
Factor	5	1048.1	209.62	130.82	0	0.05
Error	474	759.54	1.6			
Total	479	1807.7				

Nota: DF=Grados de libertad, SS=Suma de cuadrados, MS=Varianza, F=Distribución F, P=Valor P.

TABLA 5. Diferencia de medias entre los tratamientos respecto a la radícula e hipocótulo.

Concentración de salinidad (dS/m)	Promedio longitud radícula (cm)	Concentración de salinidad (dS/m)	Promedio longitud hipocótulo (cm)
0.10	8.3071 ^a	0.75	5.3392 ^a
0.75	6.8776 ^b	0.10	4.2600 ^b
4.00	6.6167 ^{bc}	5.00	3.3122 ^c
5.00	5.7050 ^c	4.00	2.7593 ^d
2.00	4.7615 ^d	2.00	1.9991 ^e
10.00	2.6714 ^e	10.00	0.7820 ^f

TABLA 6. Clasificación del agua según su salinidad.

	CE dS/m	SDT mg/L
Agua no-salina	<0.7	<500
Agua salina	0.7-4.2	500-30,000
Ligeramente salina	0.7-3.0	500-2,000
Moderadamente salina	3.0-6.0	2,000-4,000
Altamente salina	>6.0	>4,000
Muy salina	>14.0	>9,000
Salmuera	>42	>30,000

Fuente: Phocaidés (2007).

Figuras

FIGURA 1. Esquema de radícula e hipocótilo de la planta de higuera.

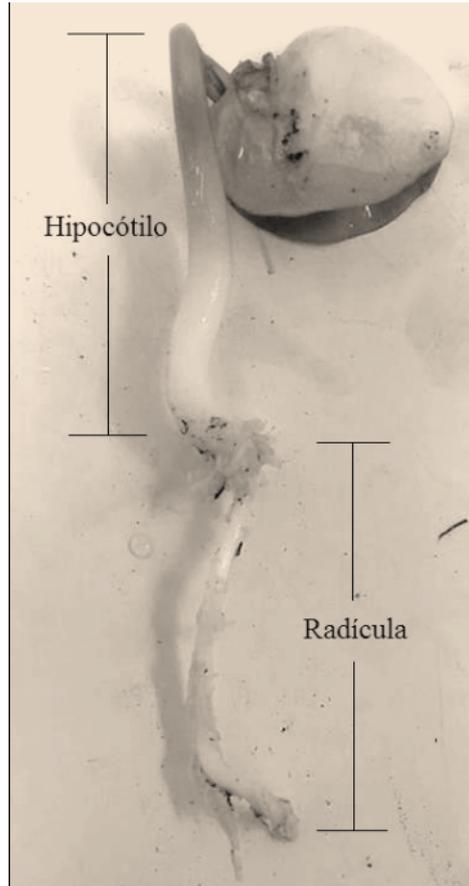


FIGURA 2. Localización geográfica de la zona de estudio.

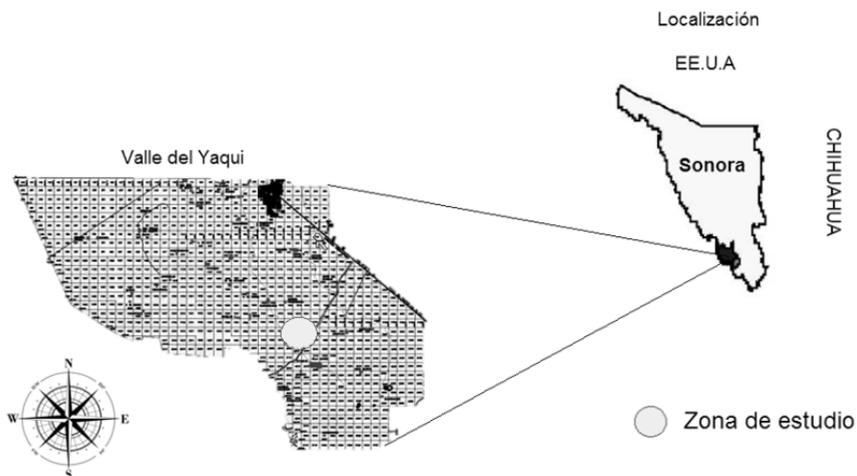


FIGURA 3. Concentración de salinidad con respecto a la longitud de radícula en germinación de semilla de higuera.

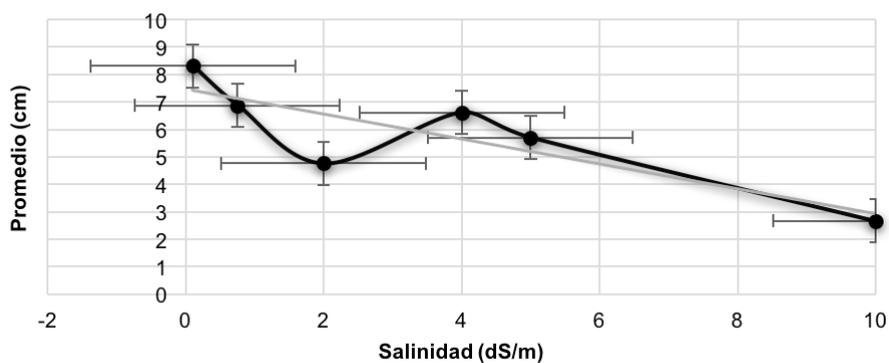


FIGURA 4. Concentración de salinidad con respecto a la longitud de hipocótilo en germinación de semilla de higuera.

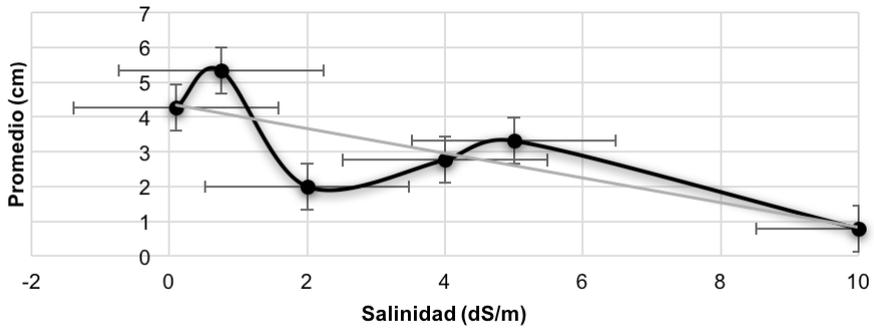
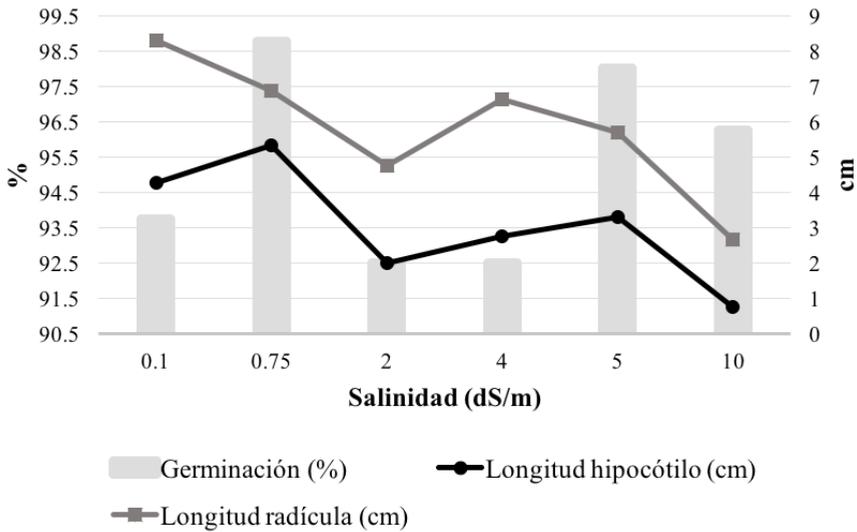


FIGURA 5. Comparación del porcentaje de germinación (%) con respecto a la longitud de radícula e hipocótilo (cm).



Análisis mediante simulación numérica de un sistema ventana-torre de viento, a partir de la disposición de vanos en un clima cálido subhúmedo

Román Vargas, Adalid¹ Ojeda Sánchez, Jorge;² Esparza López, Carlos Javier³

Introducción

LAS ESTRATEGIAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA SE HAN CONVERTIDO en una parte fundamental para la arquitectura sostenible, de tal forma que desde que se originaron estos conceptos, se han realizado investigaciones y estudios para determinar qué tipo de estrategia bioclimática es la más adecuada para cierto tipo de condición climática, con la finalidad de crear un ambiente de confort y calidad para el habitante.

La ventilación natural promueve el ahorro de energía de enfriadores en un 10 % y en ventiladores en un 15 % del consumo anual cuando las condiciones climáticas y operacionales son convenientes (Emmerich, Dols, & Axley,

1 Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima. Correo electrónico: adalid_tv@hotmail.com

2 Universidad de Colima. Correo electrónico: jojedal@uacol.mx

3 Universidad de Colima. Correo electrónico: cesparza@uacol.mx

2001). Las ventajas de la ventilación natural son las siguientes: reducción de costos, incremento del grado de confort térmico y mejora la calidad del aire (Aflaki, Mahyuddin, Mahmoud, & Baharum, 2015, p. 154).

Los rangos de ventilación de un edificio pueden ser expresados en cambios de aire por hora (CAH), este factor es de vital importancia para el experimento, pues dependiendo del valor podemos determinar si la calidad del aire al interior es la óptima para el habitante (Haw, Saadatian, Sulaiman, Mat, & Sopian, 2012, p. 38). De acuerdo con Givoni (1998) la cantidad mínima de cambios de aire por hora para mantener un nivel saludable en una vivienda de poca densidad de población es de 0.5 CAH. Sin embargo investigaciones sugieren que la implementación de ventilación cruzada en una vivienda en una región cálida húmeda puede generar hasta 7 CAH. (Haw, Saadatian, Sulaiman, Mat, & Sopian, 2012, p. 38)

La ventilación natural inducida al interior de un inmueble se origina por medio del diferencial de presión generado por la temperatura, orientación y velocidad del viento, por lo que en climas cálidos-húmedos la ventilación por medio de efecto de termosifón tiene poca efectividad, debido a un bajo diferencial de temperaturas entre el interior y exterior.

Una de las principales problemáticas que se interpone a la posibilidad del desarrollo de los sistemas de climatización pasivos, como las torres de viento, en la ciudad de Colima es la falta de conocimiento y concientización de su eficiencia. En el estado existe un crecimiento acelerado de viviendas de interés social, las que debido a sus dimensiones, materiales y hermeticidad, carecen de condiciones de habitabilidad, además de no permitir la ventilación, afectando la salud del habitante, sin embargo debemos considerar que cumplen con su función primordial que es abastecer a la población de vivienda, de tal manera que son necesarias (Calderón Mafud, 2008, pp. 164-180).

La finalidad del presente trabajo es mostrar resultados preliminares de la investigación "Estudio del comportamiento de la ventilación inducida a través de un dispositivo tipo torre de viento y una ventana, en un clima cálido subhúmedo", con el objetivo de analizar las diferentes disposiciones de vanos de entrada y salida de aire, para obtener un mayor número de CAH.

Comportamiento del viento

EL FLUJO DE AIRE ES CAUSADO POR UN DIFERENCIAL DE PRESIÓN, EL flujo de aire va de una zona con mayor presión a una zona con menor presión (Szokolay, 2008, pp. 15-16). Este diferencial de presión puede ser generado por diferentes factores como cambios de altura o de temperatura.

La calidad del aire que se encuentra al interior de un inmueble en uso es afectado por los mismos usuarios y sus procesos cotidianos, es decir, la ventilación necesaria para mantener la calidad del aire depende del número de personas por unidad de volumen, y las actividades que realicen.

La ventilación en un inmueble ocurre cuando las ventanas o vanos en los puntos expuestos presentan diferentes presiones, y tal grado de presión puede ser generado por dos fuerzas (Givoni, 1998):

- Diferencial de temperatura entre el interior y el exterior (efecto de termosifón).
- El viento que golpea contra el edificio (presión de fuerza de viento).

Durante el fenómeno de ventilación por termosifón, la densidad y presión del aire son reducidas con la altura. El rango de presión depende de la temperatura del aire: entre más alta la temperatura, es menor la presión del aire.

Cuando la temperatura promedio al interior de un espacio es más alta que la temperatura exterior (a la misma altura) la presión del interior es menor. Si los vanos de entrada y salida de aire se encuentran a diferentes alturas, la presión será mayor en la ventana superior, por lo tanto, el aire ingresará por los vanos inferiores y será expulsado por los vanos superiores, a este fenómeno físico se le conoce como efecto de termosifón o efecto "stack". Si la temperatura del interior es menor que la del exterior, el efecto funcionará de manera contraria. Este diferencial de presión se llama "cabezas de presión" (Givoni, 1998).

La ventilación por presión de fuerza de viento es generada cuando el viento que llega al edificio por barlovento golpea contra los muros y es comprimido, creando una zona de presión alta, mientras que el aire en sotavento y en el techo se expande reduciendo la presión. De este modo se crea un diferencial de presión en distintos puntos de la envolvente. Este diferencial de presión determina la potencia de la ventilación cuando las aberturas son

predispuestas en estos puntos. La cara del inmueble ubicada a barlovento es aquella orientada a favor de los vientos predominantes, mientras que la cara en sotavento es lo contrario.

La tasa de flujo volumétrico al interior es proporcional a la velocidad del viento registrada en la abertura de entrada. Los cambios de aire por hora (CAH) pueden definirse como el número de veces que el aire de un espacio es reciclado en una hora y se calcula, según la Sociedad Americana de Ingenieros en Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción (ASHRAE), con la siguiente ecuación:

$$CAH = (Q * 3600) / V$$

DONDE Q ES VOLUMEN DEL FLUJO DE VIENTO (M³/S), V ES EL VOLUMEN del espacio. (Khanal & Lei, 2011, p. 1813)

Este factor es de gran importancia para esta investigación ya que por medio del cálculo generado por el software de simulación, se determinarán las variables geométricas con mejor comportamiento.

Experimentación por simulación numérica

EL MODELADO CFD (COMPUTER FLUID DYNAMICS) POR MEDIO DEL SOFTWARE Design Builder® es una herramienta empleada para calcular las condiciones exteriores e interiores de un espacio en términos de energía y flujo de viento. Los resultados son obtenidos a partir de la resolución de ecuaciones diferenciales parciales para la conservación de la masa, momento y energía, los principales resultados son: la presión del aire, campos de temperatura, velocidad de viento, cambios de aire por hora y temperatura exterior e interior. La ventaja del uso de esta herramienta es la exactitud de los datos resultantes y el ahorro en costo del proceso de la experimentación.

El modelo de turbulencia es una aproximación teórica de las ecuaciones que gobiernan el campo de velocidad del fluido en condiciones de altas velocidades y este factor puede afectar la exactitud de la simulación (Baharvand, Bin Ahmad, Sakifhani, & Abdul Majid, 2013, pp. 182-184).

Chen realizó un comparativo entre cinco diferentes modelos predictivos de flujo de aire al interior y concluyó que el modelo Estándar $k-\epsilon$ y RNG $k-\epsilon$ son los más efectivos (Chen, 1995, pp. 353-369) Esto es de relevancia, pues

para fines de esta investigación se utilizará el software Design Builder®, que emplea Energy Plus para simulación y Estándar $k-\epsilon$ como modelo de simulación de turbulencia para CFD.

Energy Plus es programa que tiene la finalidad de predecir por medio de simulación la energía, el desempeño de la envolvente, el balance de calor y masa (Baharvand, Bin Ahmad, Sakifhani, & Abdul Majid, 2013, pp. 182-184).

Disposición de vanos como variable geométrica

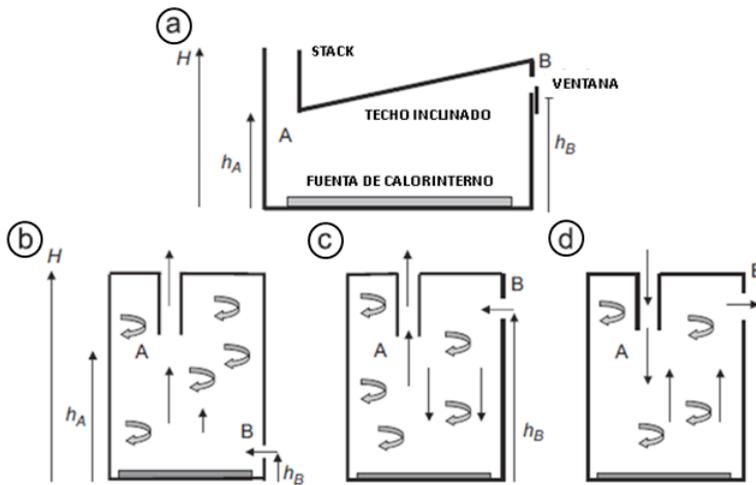
EL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO AL INTERIOR DE UN INMUEBLE DEPENDE de diferentes variables, como el diferencial térmico del interior y exterior, diferencial de presión generado y la disposición de vanos de entrada y salida. Para fines de esta investigación se consideró este último como variable independiente principal.

Se puede definir "stack" tanto al efecto físico de ventilación por medio de diferencial de temperaturas como al dispositivo donde sucede este fenómeno, que es un conducto donde se presenta un diferencial de presión, provocando un flujo de viento. En el presente trabajo se utiliza el término "stack" como el dispositivo de ventilación.

En el caso de un sistema de ventilación pasivo basado en dos vanos de entrada y salida de aire, uno de ellos conectado a un dispositivo stack, cuando el vano conectado a este se encuentra en un nivel superior al segundo vano (ventana) el comportamiento del viento sucederá en una dirección, ingresando por la ventana y saliendo por el stack. Cuando la disposición de los vanos es inversa, la ventilación ocurrirá de dos maneras distintas, entrando por chimenea y saliendo por la ventana y un comportamiento inverso, este fenómeno se puede observar en la figura 1 (Fitzgerald & Wood, 2007). Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, este estudio tiene el objetivo de determinar el caso que presenta un mejor desempeño en el comportamiento del viento, generando un mayor número de CAH.

FIGURA 1 Esquema de flujo de viento.

- d) Esquema de composición del experimento.
- e) Esquema de ventilación cuando vano B tiene una altura (h_B) inferior respecto a vano A (h_A).
- f) Esquema del primer comportamiento de la ventilación cuando el vano B tiene una altura (h_B) superior respecto al vano A.
- g) Esquema del segundo comportamiento de la ventilación cuando el vano B tiene una altura (h_B) superior respecto al vano A.

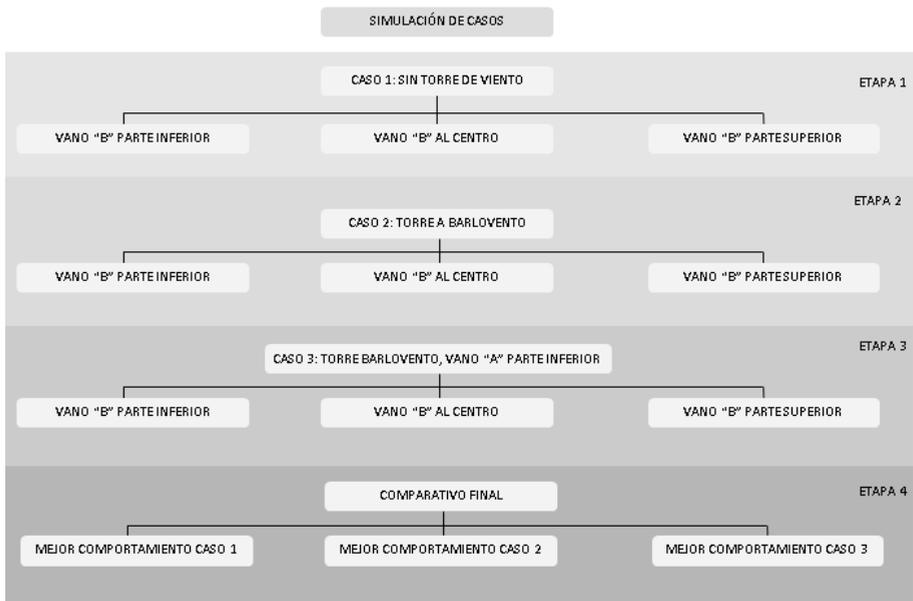


Fuente: Fitzgerald & Wood (2007).

Metodología

EL PROCESO DEL ESTUDIO SE ESTRUCTURÓ EN CUATRO ETAPAS. DURANTE las primeras tres etapas se realizará un comparativo del comportamiento de la ventilación de tres casos distintos, de tal manera que en la cuarta etapa los casos con mejor desempeño se someterán a un comparativo final para terminar la disposición de vanos más eficiente. En el siguiente esquema se puede ver representado lo mencionado anteriormente.

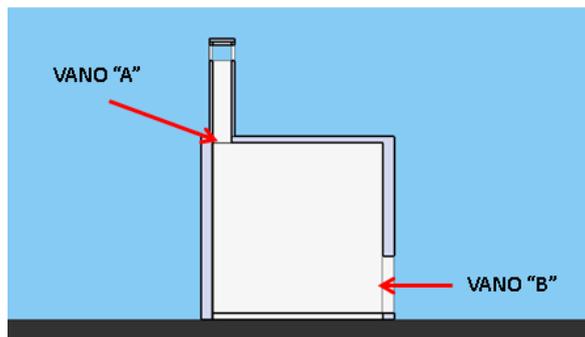
FIGURA 2. Esquema de estructura de metodología.



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura, se aprecia cuál es cada uno de los vanos planteados en el esquema anterior.

FIGURA 3. Esquema representativo de disposición de vanos.



Fuente: elaboración propia.

Para fines de este estudio, se propone que el vano conectado a la torre de viento tenga una menor dimensión a la ventana del módulo experimental, esto debido a que se pretende mantener el ingreso del aire por medio de la torre de viento la mayoría del tiempo.

Condiciones climáticas del estado y EPW

LAS SIMULACIONES DEL ESTUDIO SE REALIZARON CONSIDERANDO DATOS climatológicos de la ciudad de Colima, Colima, que cuenta con un clima cálido subhúmedo. La obtención de los datos se llevó a cabo por medio del software METEONORM, que contiene una base de datos registrados por estaciones certificadas por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), para posteriormente generar un archivo EPW (Energy Plus Weather), compatible con el software de simulación.

Para fines de esta investigación, las simulaciones fueron realizadas durante la semana más crítica de verano considerada por Design Builder, del 22 al 28 de mayo, para determinar cuál es el comportamiento de este dispositivo de climatización pasivo en las condiciones que más afectan al habitante durante el año. A continuación se presentan los datos climáticos ambientales a los que fueron sometidos todos los casos de simulación.

TABLA 1. Datos climáticos ambientales de la semana crítica de verano.

Semana crítica de verano	Temperatura Ext. BS (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del viento (°)	Presión atmosférica (Pa)
22/05/2002	29.82	2.88	224.83	95 648.41
23/05/2002	30.06	3.45	208.08	96 134.96
24/05/2002	29.13	2.95	237.25	96 149.41
25/05/2002	29.63	1.66	172.17	96 067.38
26/05/2002	29.81	2.18	188.67	95 795.04
27/05/2002	30.18	2.13	128.92	95 874
28/05/2002	30.6	1.14	204.71	95 925.16

Fuente: elaboración propia.

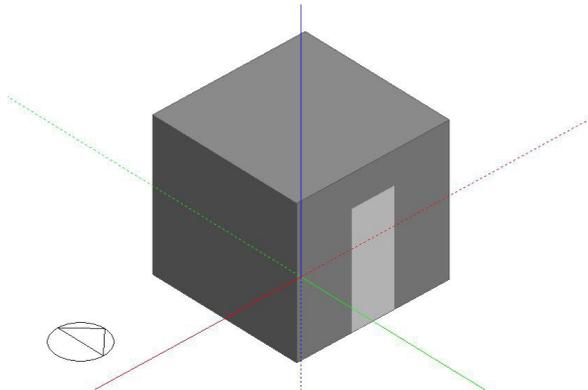
En las tablas de comparativos de las simulaciones que se muestran a continuación, se aprecia una pérdida significativa de CAH durante los días 27 y 28 de mayo, por lo que se decidió omitir este fenómeno en las gráficas.

Podemos asumir que esto se debió a tres razones: el cambio de ángulo en la dirección del viento durante el 27, la baja velocidad registrada durante el 28 y debemos considerar que el software tiene limitantes que pudieron haber afectado, como falta de correspondencia temporal en los cálculos interiores y exteriores.

Descripción del módulo experimental

EL MÓDULO EXPERIMENTAL ES UN CUBO DE 2.7 M X 2.7 M X 2.7 M. ESTE criterio está planteado con base en las medidas mínimas requeridas para considerar un espacio interior habitable por el reglamento de construcción vigente de la región (referencia). Los materiales del módulo están propuestos como una solución constructiva común para las viviendas de interés social; con muros de 18 cm de grosor, de ladrillo rojo recocido con enjarre de mortero y losa llena de 10 cm de concreto reforzado. En la figura 4 se puede apreciar la maqueta virtual utilizada en todas las simulaciones.

FIGURA 4. Maqueta virtual de módulo experimental en Design Builder.



Fuente: elaboración propia.

Asimismo, a continuación se presentan las características térmicas básicas de los materiales que se incorporaron a la base de datos de las simulaciones.

TABLA 2. Tabla de características térmicas de los materiales.

Materiales	Densidad	K = Conductividad	Resistividad	Ce =	Cv = Calor específico volumétrico		
	Kg/m ³	W/m °C		Kcal/m hr °C		Calor específico	
			m °C/W	J/Kg°C	Kj/m ³ °C	Kcal/m ³ °C	
Ladrillo rojo recocido	1700	0.84	0.72	1.19	900	1530.00	365.42
Mortero	1800	1.00	0.86	1.00	1000	1800.00	429.90
Concreto reforzado	2400	1.80	1.55	0.56	1050	2520.00	601.86

Fuente: ISO 10456 DB.

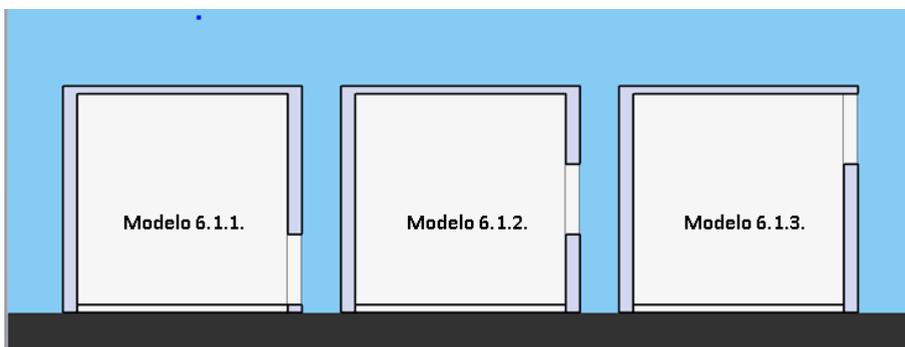
Resultados

EN ESTE APARTADO SE MUESTRAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE cada una de las etapas por medio de tablas, gráficas y esquemas CFD.

Etapa 1: módulo experimental sin torre de viento

LA ETAPA 1 CONSISTE EN SIMULAR EL MÓDULO EXPERIMENTAL SIN TORRE de viento planteando como variable la ubicación del vano "B". Se consideraron 3 disposiciones distintas: parte superior, parte inferior y al centro (figura 5).

FIGURA 5. Sección del módulo para disposiciones de ETAPA 1.

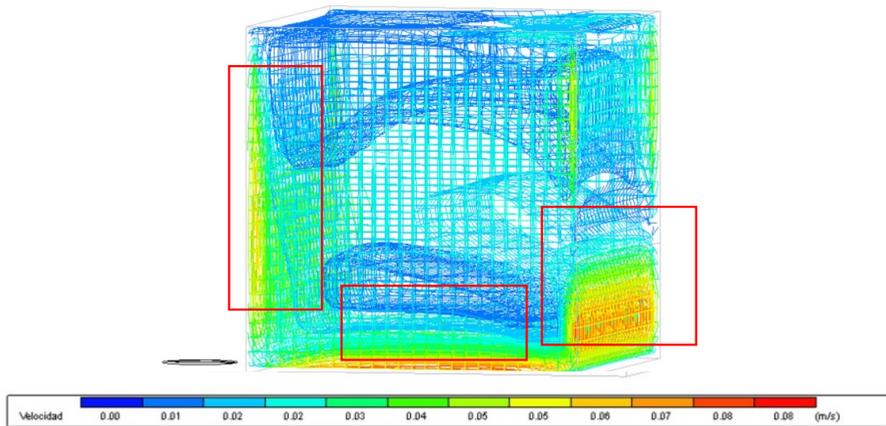


Fuente: elaboración propia.

Caso I: "b" en parte inferior

EN ESTE CASO LAS MAYORES VELOCIDADES SE PRESENTAN EN EL ESPACIO inmediato al vano de entrada (B), al suelo y al muro opuesto del módulo, velocidades regulares al centro del espacio y casi nulas en la parte superior.

FIGURA 6. Esquema 3D del comportamiento del viento al interior del módulo.

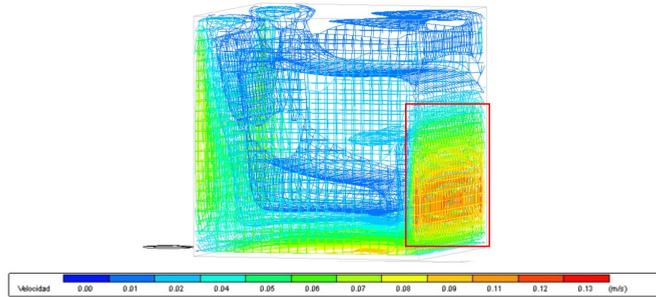


Fuente: elaboración propia.

Caso 2: vano "b" al centro

EL COMPORTAMIENTO EN ESTE CASO ES SIMILAR AL CASO ANTERIOR, con la única diferencia que las velocidades altas en el espacio inmediato al vano son mayores.

FIGURA 7. Esquema de contornos 3D de viento al interior del módulo.

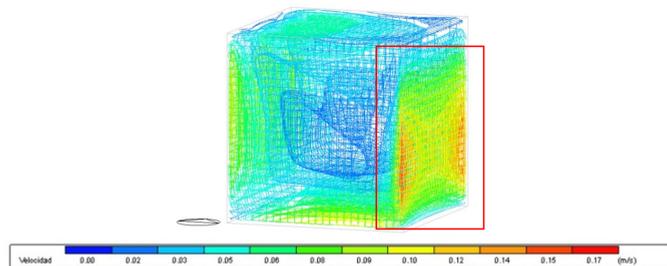


Fuente: elaboración propia.

Caso 3: vano "b" en parte superior.

EN LA FIGURA 8 SE APRECIA QUE A DIFERENCIA DE LOS CASOS ANTERIORES, el caso 3 presenta mayor flujo de viento en el espacio inmediato al vano de entrada, sin embargo el centro del espacio genera velocidades de 0.0 a 0.02.

FIGURA 8. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.



Fuente: elaboración propia.

Comparativo de etapa 1

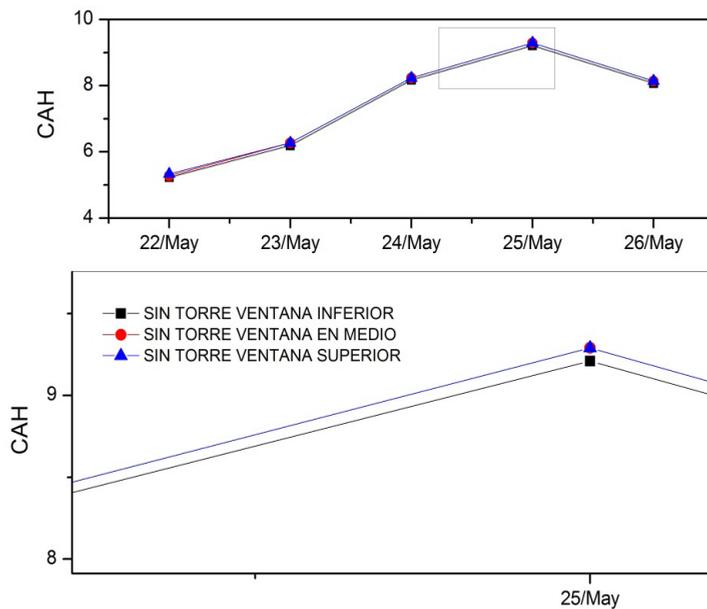
EN LA TABLA 3 SE MUESTRAN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL INTERIOR del módulo experimental y los CAH generados en la semana crítica de verano (22 al 28 de mayo). Se demostró que la variación de un solo vano de entrada de aire al interior del módulo, en ausencia de un vano de salida, no presenta una gran diferencia de temperatura así como en los CAH generados. Sin embargo, aunque con poco diferencial, podemos considerar que el caso con mejor comportamiento es el 3.

TABLA 3. Tabla de temperatura y CAH generados por el módulo de simulación de Design Builder en la semana más crítica de verano.

Fecha	Temperatura			CAH		
	Sin torre ventana inferior (6.11)	Sin torre ventana en medio (6.12)	Sin torre ventana superior (6.13)	Sin torre ventana inferior (6.11)	Sin torre ventana en medio (6.12)	Sin torre ventana superior (6.13)
22/05/2002	32.16	32.15	32.15	5.23	5.27	5.33
23/05/2002	33.77	33.77	33.77	6.19	6.27	6.27
24/05/2002	33.97	33.97	33.97	8.17	8.23	8.23
25/05/2002	34.43	34.44	34.43	9.21	9.29	9.29
26/05/2002	33.67	33.67	33.67	8.07	8.14	8.14
27/05/2002	33.87	33.88	33.88	0.01	0.01	0.01
28/05/2002	35.03	35.04	35.04	0.01	0.01	0.01
	33.84285714	33.84571429	33.84428571	5.27	5.317142857	5.325714286

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 9. Gráfica de CAH.

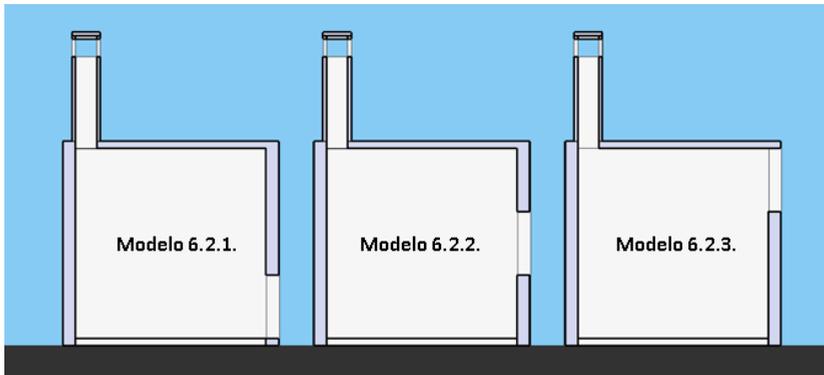


Fuente: elaboración propia.

Etapa 2: torre barlovento

LA ETAPA 2 CONSISTE EN LA SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS TRES casos anteriores aplicando un sistema de torre de viento a barlovento en el módulo experimental, de tal manera que se pueda determinar qué disposición de vanos tiene mejor comportamiento.

FIGURA 10. Ejemplificación para disposiciones de ETAPA 2.

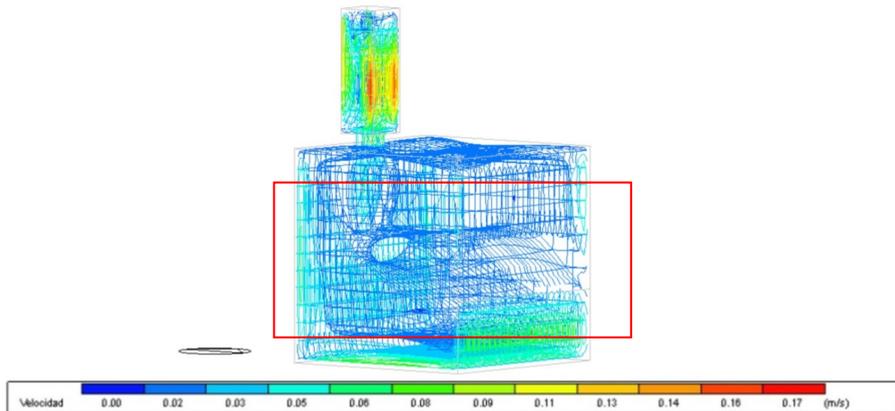


Fuente: elaboración propia.

Caso I: vano "b" en parte inferior

EN EL SIGUIENTE ESQUEMA DE CONTORNOS SE APRECIA QUE A PESAR que el caso I no presenta altas velocidades en el espacio inmediato a ninguno de los vanos, el flujo del aire al interior del espacio se comporta de manera homogénea.

FIGURA II. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.

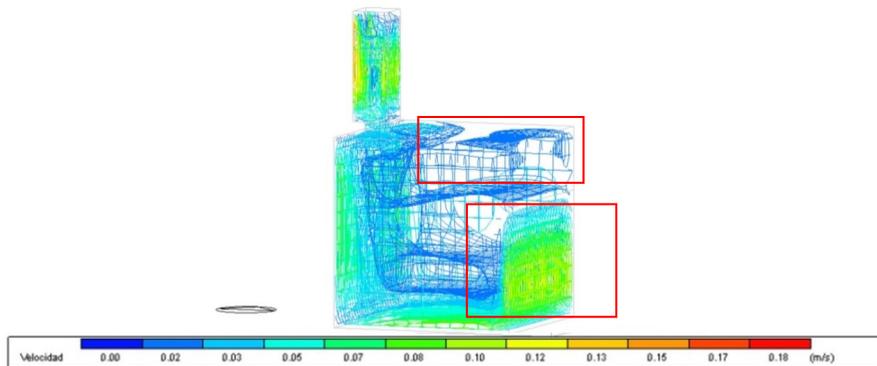


Fuente: elaboración propia.

Caso 2: vano "b" al centro

A DIFERENCIA DEL CASO ANTERIOR, EL CASO 2 PRESENTA VELOCIDADES de hasta 0.12 m/s en el vano "B", sin embargo el flujo al interior del módulo muestra una pérdida de velocidad considerable.

FIGURA 12. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.

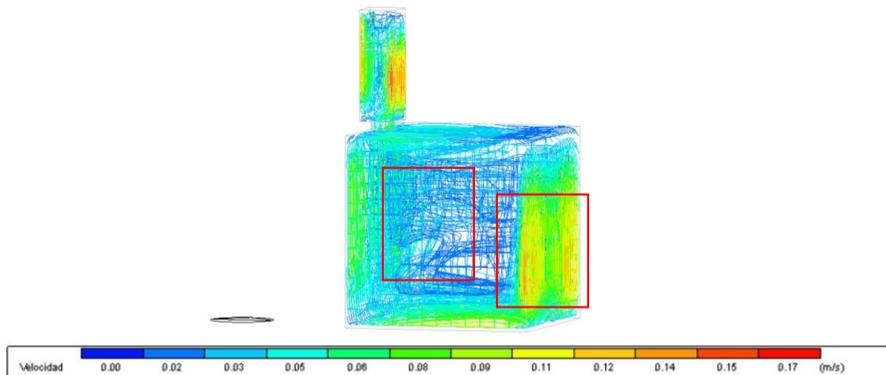


Fuente: elaboración propia.

Caso 3: vano "b" en parte superior

EN EL CASO 3 PODEMOS APRECIAR QUE CONFORME EL VANO "B" VA cambiando de altura, el espacio inmediato al mismo presenta velocidades mayores, sin embargo, al interior del módulo pierde velocidad y el flujo de viento se muestra más caótico que los casos anteriores.

FIGURA 13. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.



Fuente: elaboración propia.

Comparativo de etapa 2

EN LA SIGUIENTE TABLA SE MUESTRA EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO y los CAH promedio por día generados durante la semana más crítica de verano. En cuanto a las temperaturas, no presenta una diferencia significativa entre cada una de las variables, sin embargo, el caso 1 generó 1.18 CAH más que el segundo caso con mejor comportamiento, y en promedio 1.14 más CAH que todos los casos.

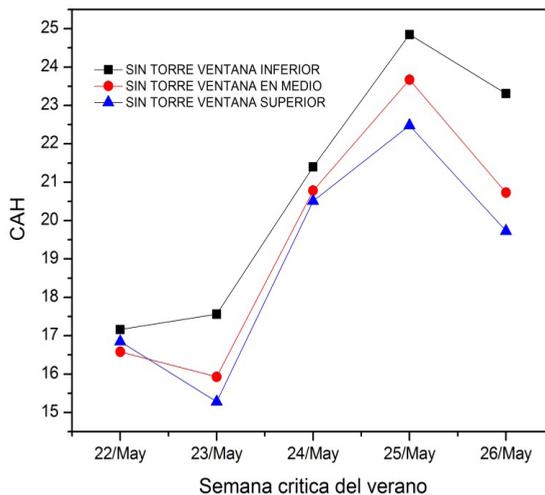
TABLA 4. Tabla de temperatura y CAH generados por el módulo de simulación de Design Builder en la semana más crítica de verano.

Fecha	Temperatura			CAH		
	Torre barlovento, ventana inferior (6.21)	Torre barlovento, ventana al centro (6.2.2)	Torre barlovento, ventana superior (6.2.3)	Torre barlovento, ventana inferior (6.2.1)	Torre barlovento, ventana al centro (6.2.2)	Torre barlovento, ventana superior (6.2.3)
22/05/2002	32.07	32.07	32.07	17.16	16.58	16.85
23/05/2002	33.56	33.58	33.59	17.56	15.93	15.28
24/05/2002	33.7	33.71	33.71	21.4	20.78	20.51
25/05/2002	34.17	34.2	34.22	24.85	23.67	22.48
26/05/2002	33.49	33.51	33.53	23.31	20.73	19.73
27/05/2002	33.98	33.98	33.99	0.02	0.02	0.02
28/05/2002	35.12	35.13	35.13	0.01	0.01	0.01
	33.72714286	33.74	33.74857143	14.90142857	13.96	13.5548571

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente gráfica se puede ver reflejado el diferencial de CAH mencionado anteriormente:

FIGURA 14. Gráfica de CAH.

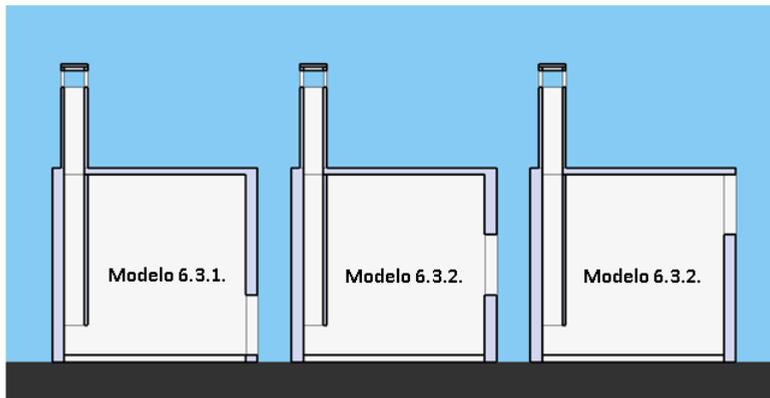


Fuente: elaboración propia.

Etapa 3: torre barlovento con vano "a" en parte inferior

LA ETAPA 3 CONSISTE EN REALIZAR LA SIMULACIÓN Y COMPARACIÓN de los tres casos anteriores aplicando el sistema de torre de viento a barlovento y disminuir la altura del vano "A", como se aprecia en la figura 14. Así como en la etapa anterior, la finalidad es determinar qué disposición de vanos tiene mayor eficiencia.

FIGURA 15. Ejemplificación de sección para disposiciones de ETAPA 3.

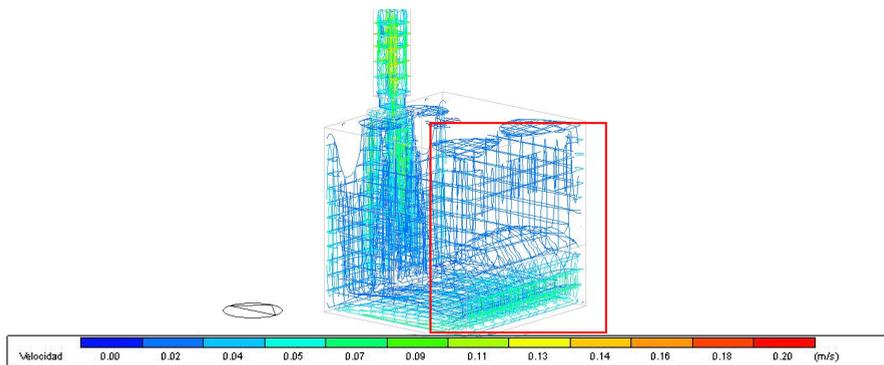


Fuente: elaboración propia.

Caso I: vano "b" en parte inferior

CON BASE EN LO EXPUESTO EN EL APARTADO 5, LA DISPOSICIÓN DEL vano "A" a una menor altura en comparación con el vano "B", permite que la ventilación se comporte de dos maneras distintas. En el siguiente esquema la disposición de los dos vanos a nivel de suelo no permite una ventilación significativa en el espacio, presentando velocidades máximas de 0.07 m/s

FIGURA 16. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.

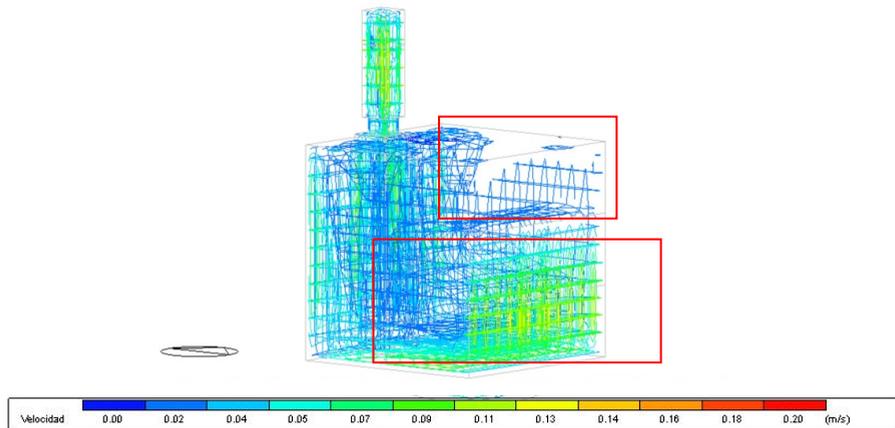


Fuente: elaboración propia.

Caso 2: vano "b" al centro

EN EL CASO 2 SE OBSERVA UN MAYOR MOVIMIENTO DE LA VENTILACIÓN al interior del espacio, comportándose de manera estable y alcanzando velocidades de hasta 0.13 m/s, sin embargo el espacio superior inmediato al vano "B" no presenta ventilación.

FIGURA 17. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.

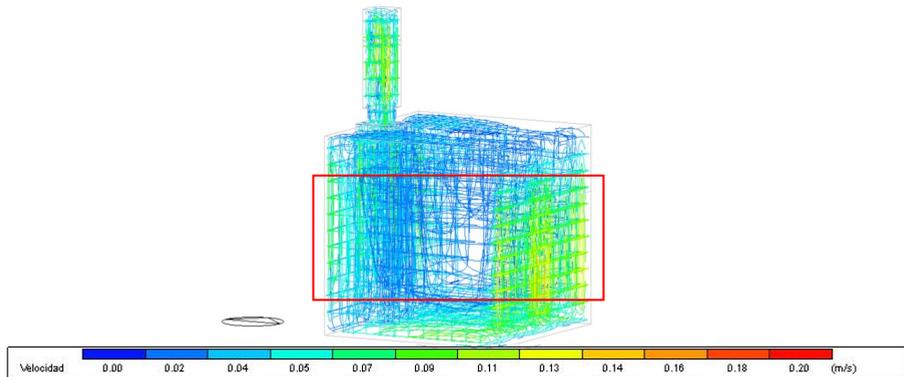


Fuente: elaboración propia.

Caso 3: vano "b" en parte superior

PODEMOS OBSERVAR QUE CONFORME LA ALTURA DEL VANO "B" ES MAYOR, el espacio presenta mayores velocidades, alcanzando los 0.14 m/s. El caso 3 presenta una mejor circulación del viento por el espacio, sin embargo, su comportamiento se observa caótico.

FIGURA 18. Esquema de contornos 3D del viento al interior del módulo.



Fuente: elaboración propia.

Comparativo de etapa 3

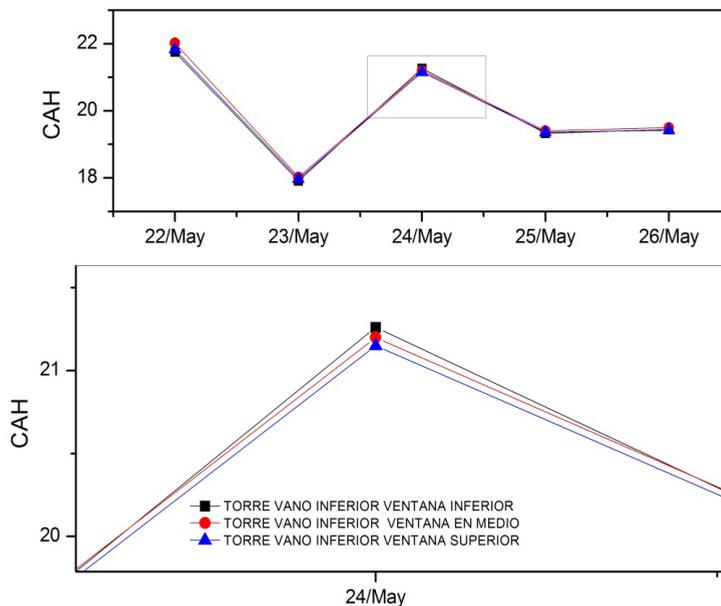
EN LA SIGUIENTE TABLA SE MUESTRA QUE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO y los CAH no tuvieron una gran diferencia en los casos de la etapa 3, generando solo una diferencia de 0.5 CAH entre el mejor y segundo mejor momento. Podemos concluir que entre mayor sea la altura del vano "B", el comportamiento del viento presenta mayores velocidades y tiene un comportamiento más errático.

TABLA 5. Temperatura y CAH generados por el módulo de simulación de Design Builder en la semana más crítica de verano.

Fecha	Temperatura			CAH		
	Torre vano inferior, ventana en medio (6.3.1)	Torre vano inferior, ventana superior (6.3.2)	Torre vano inferior, ventana superior (6.3.3)	Torre vano inferior (6.3.1)	Torre vano inferior, ventana en medio (6.3.2)	Torre vano inferior, ventana superior (6.3.3)
22/05/2002	32.14	32.14	32.14	21.75	22.02	21.83
23/05/2002	33.74	33.74	33.74	17.91	18.02	17.97
24/05/2002	33.94	33.95	33.94	21.26	21.2	21.15
25/05/2002	34.4	34.4	34.4	19.33	19.4	19.36
26/05/2002	33.67	33.67	33.67	19.44	19.5	19.42
27/05/2002	33.95	33.96	33.95	0.02	0.02	0.02
28/05/2002	35.14	35.14	35.13	0.01	0.01	0.01
	33.85428571	33.85714286	33.85285714	14.24571429	14.31	14.25142857

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 19. Gráfica de CAH.



Fuente: elaboración propia.

Etapa 4: comparativo final

LA ETAPA 4 CONSISTE EN REALIZAR UN COMPARATIVO POR MEDIO DE una tabla y gráfica del comportamiento térmico y los CAH de cada uno de los mejores comportamientos de cada etapa, de tal manera que podamos determinar qué disposición de vanos permite una mejor ventilación del espacio interior generando un mayor número de CAH.

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento térmico y los CAH promedio por día generados durante la semana crítica de verano. La temperatura no muestra una diferencia significativa. Se consideró que el sistema con mejor comportamiento es el simulado en la etapa 2, donde el vano "A" se encuentra a una altura superior al vano "B", generando en promedio hasta tres veces más CAH y en el mejor momento 15.56 CAH más que el mejor momento del caso 6.1.3.

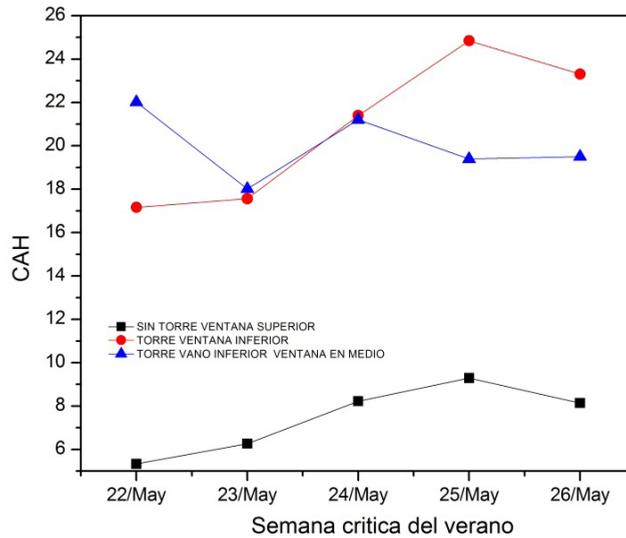
Los casos de las secciones 6.2.1 y 6.3.2 tienen un promedio de CAH similar, sin embargo, en la figura 18 se observa que ambos presentan comportamientos distintos. Podemos deducir que esto ocurre debido a que la configuración de vanos provoca diferentes comportamientos en ciertos días.

TABLA 6. Tabla de temperatura y CAH generados por el módulo de simulación de Design Builder en la semana más crítica de verano.

Fecha	Temperatura			CAH		
	Sin torre de viento, vano superior (6.1.3)	Torre Barlovento, vano inferior (6.2.1)	Torre vano inferior, ventana en medio (6.3.2)	Sin torre de viento, vano superior (6.1.3)	Torre Barlovento, vano inferior (6.2.1)	Torre vano inferior, ventana en medio (6.3.2)
22/05/2002	32.15	32.07	32.14	5.33	17.16	22.02
23/05/2002	33.77	33.56	33.74	6.27	17.56	18.02
24/05/2002	33.97	33.7	33.95	8.23	21.4	21.2
25/05/2002	34.43	34.17	34.4	9.29	24.85	19.4
26/05/2002	33.67	33.49	33.67	8.14	23.31	19.5
27/05/2002	33.88	33.98	33.96	0.01	0.02	0.02
28/05/2002	35.04	35.12	35.14	0.01	0.01	0.01
	33.84428571	33.72714286	33.85714286	5.325714286	14.90142857	14.31

Fuente: elaboración propia.

FIGURA 20. Gráfica de CAH.



Fuente: elaboración propia.

Conclusión

EL COMPORTAMIENTO DE LA VENTILACIÓN INDUCIDA A UN ESPACIO por medio de un sistema basado en un dispositivo tipo torre de viento y una ventana depende directamente de variables como el diferencial de temperatura del interior y exterior, la dirección del viento, características geométricas como la diferencia de altura entre vano de entrada y salida. Para fines de este estudio se consideró esta última como la variable geométrica principal.

Los resultados mostraron que la disposición de vanos, que mejora la eficiencia del comportamiento del viento al interior generando un mayor número de CAH, es el sistema que ubica el vano conectado a la torre de viento (A) en un nivel superior al vano ubicado en fachada (B).

Después de analizar los resultados, podemos concluir que la implementación de una torre de viento en un clima cálido subhúmedo es una estrategia viable para mantener una ventilación adecuada al interior de una vivienda, renovando el aire, permitiendo buena calidad del aire y evitando el exceso de humedad, asimismo, el comportamiento al interior de un espacio tiene

una relación directa con la ubicación de los vanos de entrada y salida, de tal manera que la velocidad del viento va a depender del diferencial de presión que pueda generar la diferencia de alturas de los vanos. Sin embargo, se tiene que considerar que no se presentó un cambio significativo en la temperatura. Esto se debe a que la ventilación no necesariamente modifica la temperatura, pero sí altera la percepción térmica del habitante.

La implementación de un software de simulación como Design Builder permite el ahorro de tiempo y costo al evitar la ejecución de cada uno de los casos de manera física en un módulo experimental real, sin embargo, se debe tener en cuenta que el software no deja simular las condiciones exteriores e interiores al mismo tiempo, lo anterior es una limitante que pudo haber afectado el resultado de las simulaciones.

Para fines de esta investigación se recomienda darle continuidad al estudio realizando una medición en físico, implementando el sistema con disposición de vanos que mejor comportamiento demostró, para realizar un comparativo que nos permita validar la simulación.

Bibliografía

- AFLAKI, A., Mahyuddin, N., Mahmoud, Z. A., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building facade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy Buildings*, 101(Supplement C), 153-162. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.033>
- BAHARVAND, M., Bin Ahmad, M. H., Sakifhani, T., & Abdul Majid, R. B. (2013). DesingBuilder verificación and validation for indoor natural ventilation. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(4), 182-189.
- CALDERÓN Mafud, J. A. (2008). Vivienda progresiva en la zona metropolitana de Colima, ivecol aciertos y errores. Universidad de Colima. Recuperado de http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/JUAN_ANTONIO_CALDERON_MAFUD.pdf
- CHEN, Q. (1995). Comparision of different k-ε models for indoor air flow computations. *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, 28(3), 353-369. <https://doi.org/10.1080/10407799508928838>.
- EMMERICH, S. J., Dols, S. W., & Axley, J. W. (2001). *Natural ventilation review and plan for design and analysis tools report*. National Institute of Standards and Technology, NIS, 64. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.

- FITZGERALD, S. D., & Wood, A. W. (2007). The influence of stacks on flow patterns and stratification associated. *Building and Environment*, 43(10), 1719-1733. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.10.021>.
- GIVONI, B. (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Wiley.
- HAW, L. C., Daadatian, O., Sopian, K., & Sulaiman, S. (2012). Empirical study of a wind-induced natural ventilation tower under hot and humid climatic conditions. *Energy Buildings*.
- HAW, L. C., Saadatian, O., Sulaiman, M. Y., Mat, S., & Sopian, K. (2012). Empirical study of a wind-induced natural ventilation tower under hot and humid climatic conditions. *Energy and Buildings*, 52(Supplement C), 28-38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.016>.
- IMRAM, A. A., Jalil, J. M., & Ahmed, S. T. (2015). Induced flow for ventilation and cooling by solar chimney. *Renewable Energy: An International Journal*, 78(Supplement C), 236-244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.019>.
- KHANAL, R., & Lei, C. (2011). Solar chimney: a passive strategy for natural ventilation. *Energy Buildings*, 43(8), 1811-1819. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.03.035>.
- MONTAZERI, H., Montazeri, F., Azizian, R., & Mostafavi, S. (2010). Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling. *Renew Energy*, 35(7), 1424-1435. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.12.003>.
- SZOKOLAY, S. V. (2008). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. ELSEVIER/Architectural Press.

El comportamiento de la temperatura de un elemento vegetal por medio de termografías en un clima cálido subhúmedo

Méndez Gómez, José Alberto,¹ Román Vargas, Adalid,² Esparza López, Carlos Javier,³ Ojeda Sánchez, Jorge Armando⁴

Introducción

EL CAMBIO CLIMÁTICO ES UN EFECTO CAUSADO POR EL HOMBRE, ya que sus actividades y su falta de conocimiento han alterado los ecosistemas de forma global. Se considera que el factor antropogénico ha sido determinante para estas modificaciones, algunas de las causas son: la agricultura, la deforestación, la extracción de recursos

1 Estudiante de la Maestría en Arquitectura Bioclimática, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima. Correo electrónico: albertomdz@msn.com

2 Estudiante de la Maestría en Arquitectura Bioclimática, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima. Correo electrónico:

3 Profesor de tiempo completo, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima. Correo electrónico: cesparza@uocol.mx

4 Profesor de tiempo completo, Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Colima. Correo electrónico: jojedal@uocol.mx

no renovables etcétera, de cierta manera se puede llegar a mencionar que esto también es parte de un proceso natural, de fenómenos naturales como: la radiación solar, erupciones volcánicas, del ciclo hidrológico etcétera (IPCC, 2007, p. 2). Esta modificación al ambiente trae problemas a la humanidad afectando a la producción y abastecimiento de alimentos, a la propagación de enfermedades, de plagas y alergias, haciendo que los fenómenos naturales se intensifiquen presentándose en lugares donde no se había tenido presencia (IPCC, 2007, p. 7). Estos cambios en el ambiente también afectan de diferentes maneras a las plantas, como elevar su resistencia a condiciones extremas para su supervivencia, ocasionando cambios en su desarrollo, crecimiento, tasa de transpiración, entre otros. Gracias a la implementación de la termografía, la agricultura ha encontrado la manera de conocer las condiciones óptimas de una planta, mejorando la calidad y cantidad de la producción.

En esta investigación se pretende aprovechar la termografía para conocer la temperatura superficial de la hoja de tres especies vegetales reales realizando su comparación con tres modelos inertes. Se presume que la evapotranspiración causada por las especies reales muestren temperaturas inferiores a la de las especies inertes. Adicional al contraste con estos últimos modelos, se tiene como puntos de referencia una superficie blanca y una superficie negra.

Antecedentes

LA AGRICULTURA HOY EN DÍA CUENTA CON UN MAYOR AVANCE TECNOLÓGICO, lo cual ha permitido que por medio de la termografía se obtengan resultados más fáciles y precisos sin la implementación de complicados métodos para la identificación de condiciones óptimas de un elemento vegetal, Cruz (2015) determina a la termografía infrarroja como:

[...] una técnica que permite medir la temperatura de un objeto a distancia sin la necesidad de que exista un contacto físico, su principio de funcionamiento se basa en que todos los cuerpos objeto deben tener una temperatura superior al cero absoluto (0°K , -273°C); emitiendo así energía infrarroja que se convierte en una señal eléctrica que es captada por un detector (Cruz, 2015, p. 9)

Las ventajas de este método radican en que no es invasivo, no es destructivo, es rápido y permite trabajar grandes áreas de cultivo, permitiendo saber el estado de estrés en el que se encuentran las plantas (Ríos, 2009, p. 37). Menciona que una respuesta fisiológica de efecto directo por parte de las plantas es el cierre de los estomas, presentándose en condiciones ambientales adversas o a una alta transpiración,⁵ este último fenómeno ocurre cuando la planta evapora más rápido el agua de la que absorbe, adoptando este proceso como un mecanismo de defensa, fenómeno conocido como estrés hídrico.⁶

Cruz (2015) menciona que "Las mediciones del estrés hídrico de origen vegetal proporcionan una visión más directa del estado de la planta que los fundamentados en las condiciones del suelo o de la atmósfera" (Cruz, 2015, p. 9).

La implementación de esta tecnología no es algo nuevo, en 1991 Mahey fue el primero en detectar el estrés hídrico de una planta como un indicador clave de las necesidades de agua del cultivo (Mahey, 1991, citado en Cruz, 2015). Best, S. y León (2013, p. 44) demostraron que la implementación de la termografía para la determinación del estrés hídrico de un viñedo tiende a presentar resultados muy similares al método de la bomba de Scholander,⁷ especificando que aún falta detallar más este proceso para determinar de una manera puntal los beneficios de esta estrategia hacia la agricultura.

Se ha demostrado que existe una relación entre la temperatura de las hojas, el estrés hídrico y la apertura de los estomas,⁸ siendo estos el vínculo con las condiciones ambientales, si la hoja presenta una menor temperatura a la temperatura ambiente y el sustrato cuenta con la hidratación adecuada, la planta puede no presentar estrés y por ende la apertura de los estomas es óptima. Cuando una planta no cuenta con las condiciones óptimas para su desarrollo tiende a presentar enfermedades. Cayón S., Avellaneda B., & Rodríguez N. (2007, p. 379) demostraron que las enfermedades en palmas

5 Transpiración (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006, p. 3) lo determina como la vaporización de agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera a través de los estomas.

6 Estrés hídrico, es la reducción del contenido hídrico de una planta por medio de condiciones ambientales adversas.

7 Método de la bomba de Scholander, por el cual se cuantifica el estrés hídrico de una planta por medio del potencial xilemático.

8 Estomas, cavidades por las cuales la planta transpira el agua de su interior al exterior y donde realiza un intercambio de CO₂.

modifican el comportamiento de la apertura de estomas, este proceso se ve regido por las variaciones del medio ambiente, haciendo mención que los estomas son los principales reguladores en el proceso de la difusión de gas y que por medio de ellos la planta puede sufrir un retraso e incluso detener el proceso de su desarrollo.

Una característica importante es la morfología de la hoja que tiene una planta. Olgay (2013, p. 85), describe que en zonas climáticas extremas los elementos vegetales son de forma compacta permitiéndoles resistir fuertes vientos, frío, calor y sequías; en climas templados adquieren formas más abiertas y de mayor tamaño; en cálidos húmedos encuentran las condiciones favorables ya que son de mayor tamaño, sus raíces son superficiales captando la materia orgánica de la vegetación más alta, estas condiciones se asemejan a las de un invernadero, proporcionándoles la adecuada cantidad de humedad, calor y agua.

Ríos (2009) dice que las hojas con mayor área foliar⁹ transpiran más que las pequeñas, sin embargo estas últimas transpiran más rápido, también hace mención que de acuerdo a su posición y a la postura que adoptan, las tasas de transpiración varían en función de la radiación recibida (Ríos, 2009, p. 397).

En general se debe considerar que una planta es un organismo vivo con una gran cantidad de variables como color, temperatura superficial de las hojas, área foliar, edad de la hoja, densidad estomática etcétera, y de procesos como la transpiración, la evapotranspiración, el flujo de savia, estrés hídrico, apertura de los estomas, entre otras. Estos procesos y variables tienen tanta relación que cuando se altera una variable o una parte de un proceso, se puede afectar la fisiología de la planta, por eso es de vital importancia conocer cuáles procesos y qué variables son los más representativos de un elemento vegetal, para crear una metodología lo más eficiente posible y poder demostrar lo que se está investigando.

9 Área foliar, se refiere a la masa de hojas que tiene un elemento vegetal.

Materiales y metodología

Experimento

Ubicación

ESTE EXPERIMENTO SE REALIZÓ EN EL ESTADO DE COLIMA, EN LA PARTE central del estado en el municipio de Coquimatlán, en la delegación regional número 4, en el campus Coquimatlán. El estado cuenta con un clima cálido-subhúmedo, anualmente tiene tres temporadas y meses de transición: la temporada cálida seca, se presenta en los meses de marzo, abril y mayo; temporada cálida húmeda, en los meses de agosto hasta octubre; temporada semifresca, diciembre, enero y febrero y los meses de transición (Velasco, 2005, pp. 35-36 y 92-93) (Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática, 1993, pp. 5, 9).

Esta investigación se desarrolló durante la temporada cálida húmeda, la toma de las imágenes termográficas se realizaron en tres momentos diferentes en un periodo determinado, tomando registros de temperatura primeramente de una superficie blanca, posteriormente de la superficie de un módulo con una especie vegetal real y finalmente una toma de temperatura de una superficie de color negro. De manera simultánea se realizó este mismo procedimiento con sus respectivas superficies de contraste en el módulo con la especie vegetal inerte durante el alba, al cénit y a la puesta de sol.

Instrumentos de medición

SE UTILIZARON CÁMARAS TÉRMICAS MARCA FLIR DEL MODELO I7, LAS cuales permiten saber la temperatura superficial de cualquier objeto, estas imágenes fueron procesadas por medio de un software de la misma compañía para realizar una comparación más detallada (ver figura 1) (Most, Infrared, Just, & Better, 2013, p. 2).

FIGURA 1. Cámara FLIR, modelo i7 para la obtención de las imágenes termográficas.



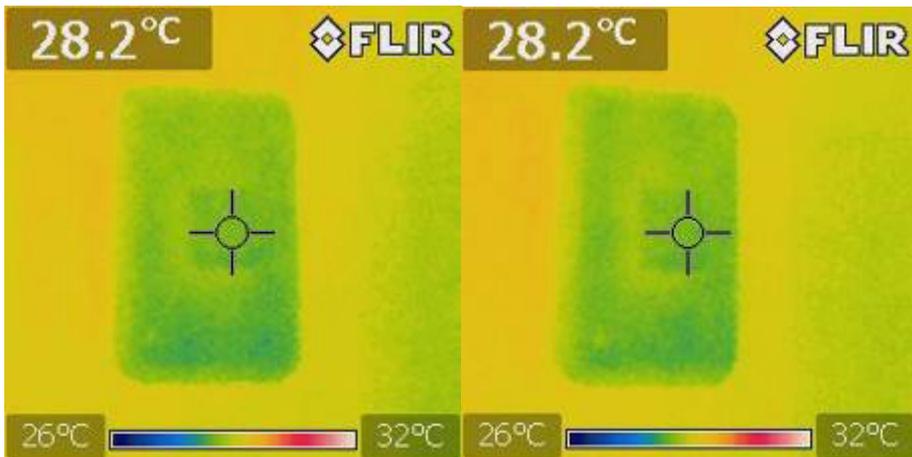
Fuente: Imagen propia.

Calibración de los instrumentos de medición

PARA TENER LA CERTEZA DE QUE AMBAS CÁMARAS TUVIERAN EL MISMO rango de medición se realizó una calibración de estos instrumentos, la cual consistió en tomar ambas cámaras y hacer la medición de temperatura en un mismo punto de una superficie blanca y una negra y mediante las variaciones encontradas, realizar el ajuste de la emisividad¹⁰ en la cámara térmica, con el fin de no presentar inconvenientes al momento del registro de las temperaturas en ambas cámaras (ver figura 2).

¹⁰ Emisividad, es la medida de la capacidad de un material de emitir radiación infrarroja.

FIGURA 2. Calibración de las cámaras termográficas, cámara 1 y cámara 2.



Fuente: elaboración propia.

Módulos experimentales

EN ESTE EXPERIMENTO SE CONSTRUYERON 6 JAULAS CON MALLA electrosoldada de 1 m³ cada una, de los cuales 3 módulos experimentales tendrán una especie vegetal real (ver figura 3), 3 módulos tendrán una especie vegetal inerte (ver figura 4). El uso de la malla se debió porque uno de los elementos vegetales reales implementados es de sombra y el entorno donde se llevó a cabo este experimento no cuenta con ninguna obstrucción de sombra cercana. Estos módulos se ubicaron a medidas equidistantes de los edificios y de las especies vegetales localizadas en su entorno, su orientación fue de norte-sur (ver figura 5) siendo esta la orientación de los vientos predominantes en el área de estudio, teniendo una distancia entre cada módulo experimental de 3 metros.

FIGURA 3. Módulos experimentales con especies vegetales reales. De izquierda a derecha: hoja elegante, palma areca y nopal.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4. Módulos experimentales con especies vegetales inertes. De izquierda a derecha: hoja elegante, palma areca y nopal.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 5. Ubicación de módulos experimentales representados en cuadrados azules en la zona de estudio.



Fuente: elaboración propia.

Ubicación de los instrumentos de medición

LA UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN FUE A UNA DISTANCIA NO MÁXIMA DE 30 cm de separación del módulo (ver figura 6), ya que la distancia máxima de enfoque que permite esta cámara es de 60 cm. Se realizaron marcas para asegurar el mismo lugar de registro durante todo el experimento, se inició de manera simultánea en el módulo con la especie vegetal real y en el módulo con la especie vegetal inerte.

FIGURA 6. Toma de imágenes termográficas de los módulos de especie vegetal palma real (izquierda), módulo palma inerte (derecha).



Fuente: elaboración propia.

Selección de especies vegetales

LAS ESPECIES SE ELIGIERON DE UNA BIOTA DIFERENTE, SIENDO ESTAS plantas extremas de condiciones extremas (ver figura 7) las cuales fueron: hoja elegante, palma areca y nopal. Simultáneamente se realizó una maqueta de cada una de las especies vegetales con características similares de volumen, tamaño y área de sombreado, esto con la finalidad de observar y contrastar el enfriamiento evaporativo que generan las plantas y el desempeño de las mismas para la disminución de la temperatura por medio de la evapotranspiración.

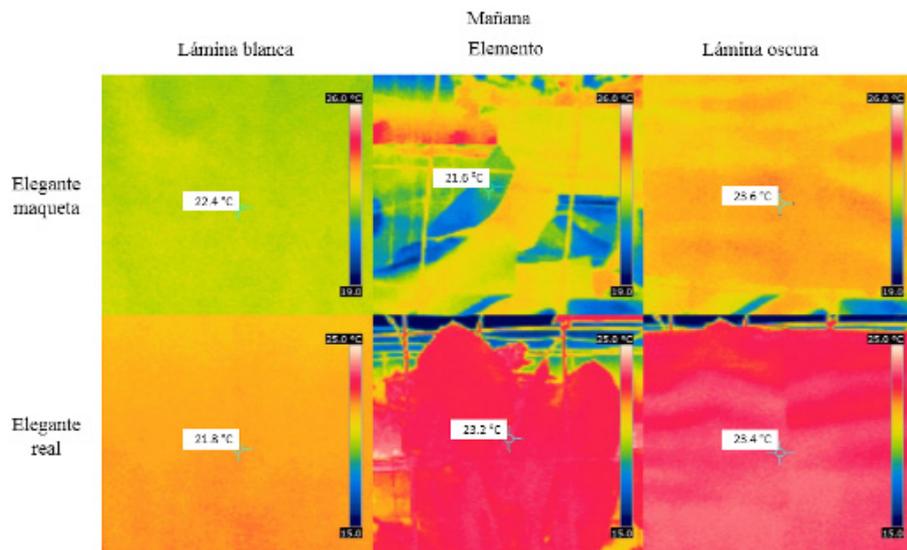
FIGURA 7. Especies vegetales seleccionadas. De izquierda a derecha: hoja elegante, palma areca y nopal.



Fuente: elaboración propia.

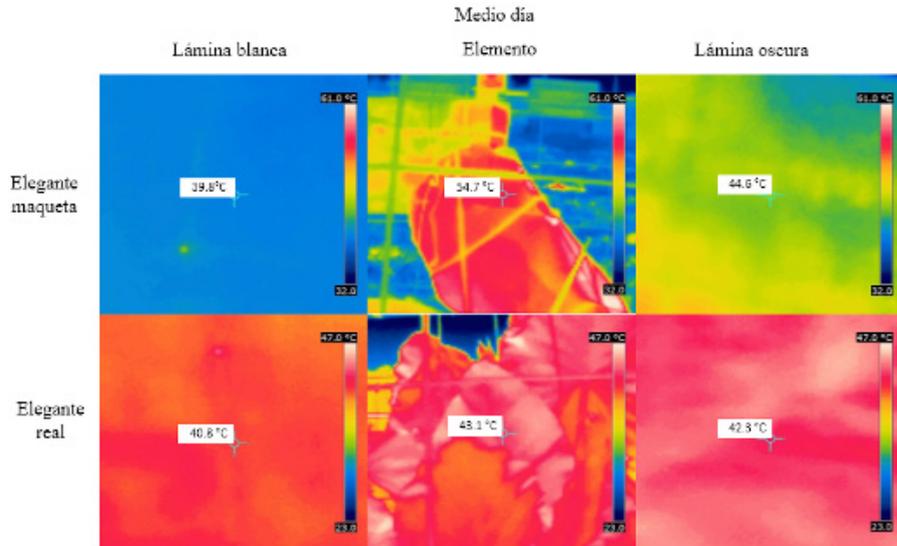
Resultados

FIGURA 8. Imágenes termográficas de la hoja elegante durante la mañana | hoja elegante durante el medio día | hoja elegante durante la tarde-noche.



Fuente: elaboración propia.

En este experimento se usaron superficies blancas y una negras, con el fin de localizar en un rango a ambos módulos de estudio entre materiales con diferente absorción de calor, creando un rango de temperaturas mínimas y máximas. Durante la mañana se puede observar que la planta real tiene 1.6 °K mayor que la maqueta, mientras que la superficie de color negro en ambos casos presenta una temperatura mayor que la superficie blanca.



En esta imagen podemos observar que la etapa de medición de medio día es la más crítica, con una diferencia significativa de 11.6 °K, el módulo del elemento vegetal real presenta una menor temperatura en comparación con el módulo de la maqueta, mientras que la superficie de color negro en ambos casos tiene una mayor temperatura que la superficie blanca.

En la tarde-noche podemos ver que ambos elementos presentan temperaturas similares con una diferencia mínima de .2 K.

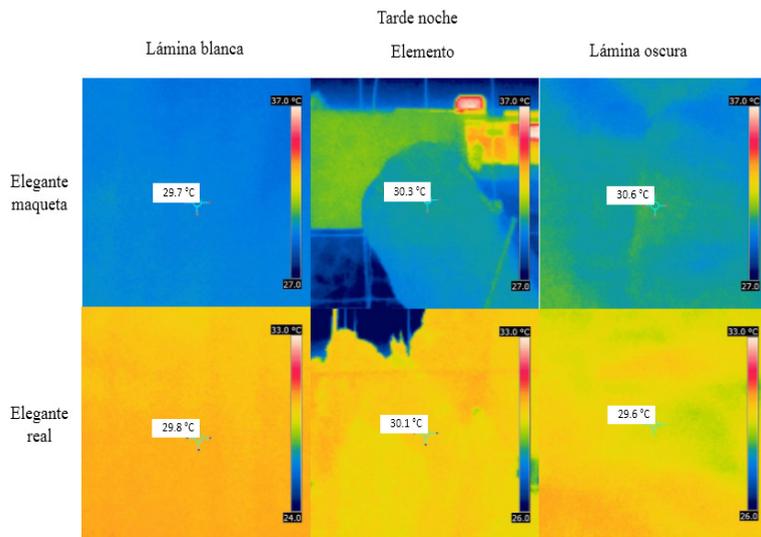
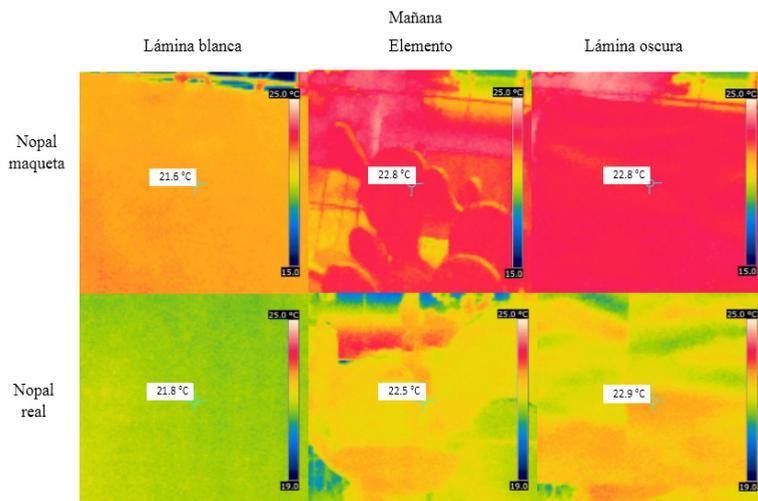
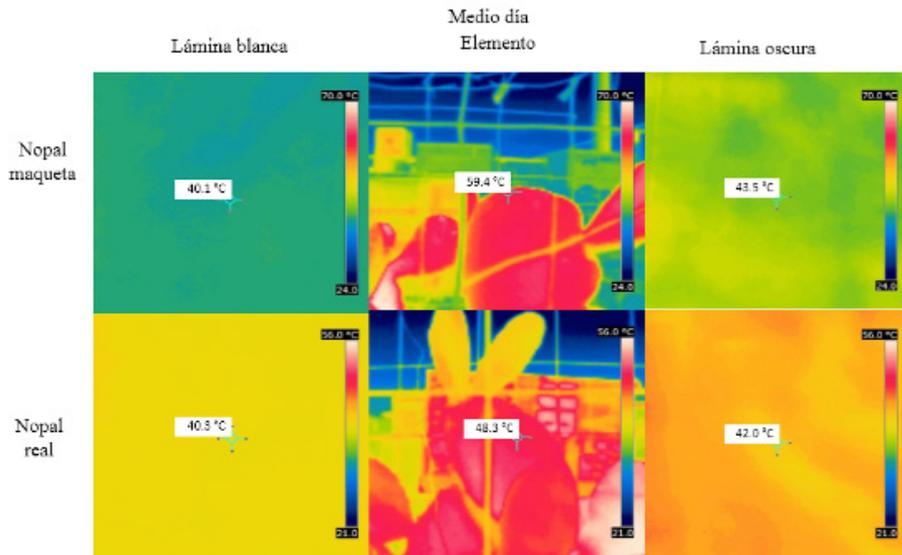


FIGURA 9. Imágenes termográficas del nopal durante la mañana | nopal durante el medio día | durante la tarde noche.



En esta imagen podemos observar que ambos módulos en la mañana presentan una diferencia mínima de .3 K, porque en ese momento aún no se tiene radiación solar directa.



En esta imagen podemos observar que la medición de medio día es la que presenta la mayor de las diferencias en temperaturas, entre ambos módulos existe una diferencia 11.1 K, también observamos que el elemento vegetal real tiene el menor rango de temperatura.

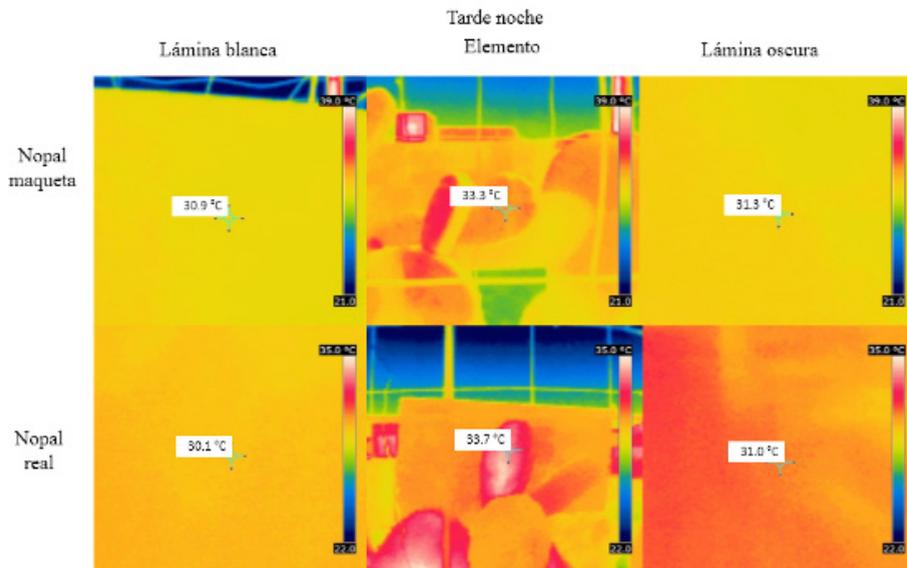
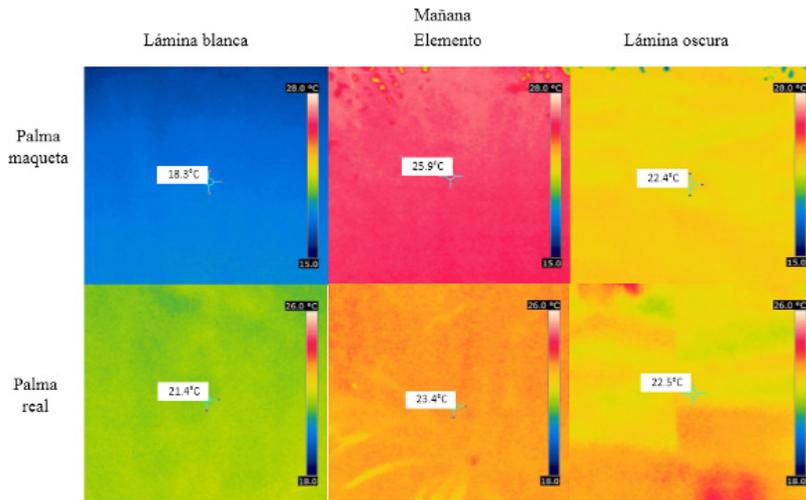
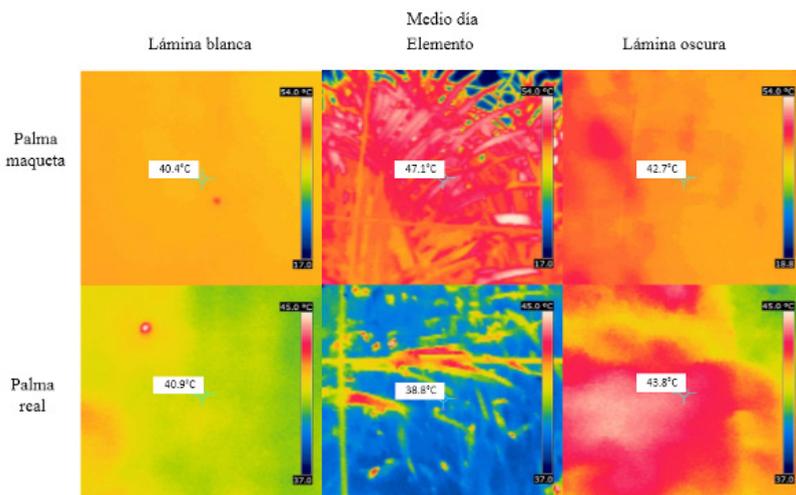


FIGURA 10. Imágenes termográficas de la palma durante la mañana | palma durante el medio día | palma durante la tarde noche.

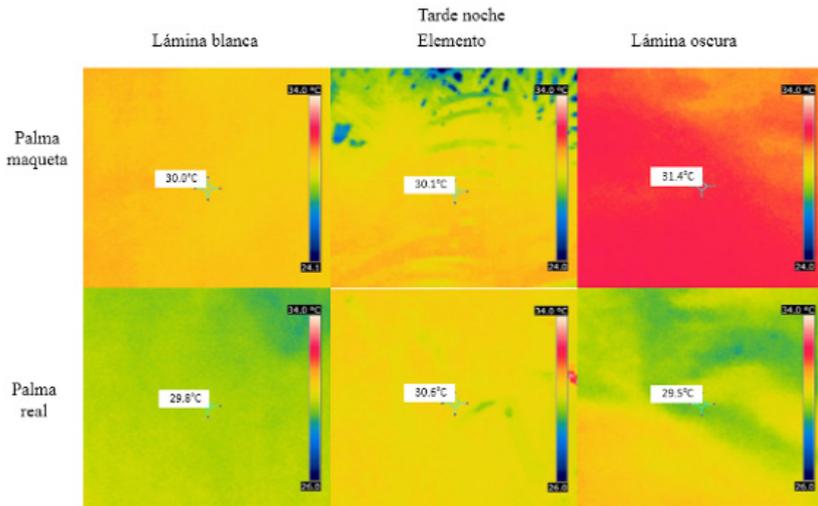


En esta imagen podemos observar que la maqueta presenta una temperatura más alta que la planta real, con una diferencia entre ambos módulos de 2.5 K.



Fuente: elaboración propia.

De la misma forma que en los casos anteriores, la etapa de medio día es la que presenta el mayor rango de diferencias de temperaturas, observando que el elemento vegetal real tiene una menor temperatura que el elemento maqueta, encontrando una diferencia entre ambos módulos de 8.3 K.



En esta etapa se observa que al disminuir la cantidad de radiación del ambiente, ambos módulos presentan temperaturas similares, teniendo una diferencia mínima de .5 K.

Conclusión

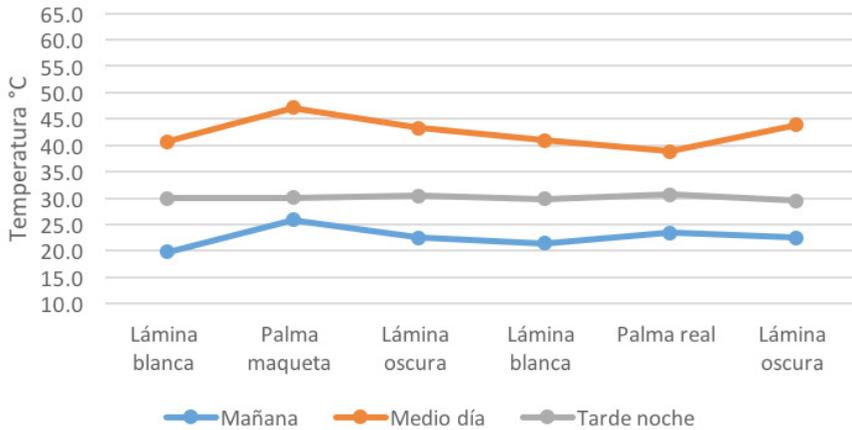
ESTA INVESTIGACIÓN BUSCA DEMOSTRAR QUE LA VEGETACIÓN TIENE relevancia en la reducción de la temperatura por medio de la termografía, para ello se desarrolló un experimento donde se utilizaron tres especies vegetales de una biota diferente, a las cuales se les realizaron una maqueta con proporciones similares. Mediante la implementación de dos cámaras térmicas se analizó el comportamiento de la temperatura, registrando temperaturas a la par por medio de imágenes térmicas entre los módulos con especies vegetales reales y los módulos con especies inertes, en tres momentos diferentes en un periodo determinado.

Quedó demostrado que la implementación de la termografía es un instrumento útil para el análisis de la distribución y comparación de las temperaturas en los elementos vegetales reales, sobre todo por tratarse de un método no invasivo, permitiéndonos que al momento de realizar la experimentación, no se modifiquen las condiciones de la planta. Gracias a la termografía es posible tener una idea del comportamiento de la vegetación en el exterior, la cual puede funcionar como una estrategia para la disminución de la temperatura inmediata. En los tres casos de estudio la etapa de la mañana y de la tarde-noche presentaron rangos con menores diferencias de temperaturas, en promedio en la mañana el rango fue de 1.47 K y en la tarde-noche el rango fue de .3 K, la etapa de medio día fue la que presentó la mayor diferencia en temperaturas, con un rango promedio de 10.33 K. En todos los casos los módulos que presentaron las mayores temperaturas en las tres etapas fueron los módulos con las especies inertes.

En promedio, los módulos de palma real, palma maqueta y elegante presentaron el mismo rango de diferencia siendo este de 3.4 K, mientras que la mayor diferencia registrada fue entre el módulo nopal real y el módulo nopal maqueta con 3.7 K. La diferencias encontradas en la etapa con el mayor registro de temperatura en los tres casos con los módulos con especies reales y maquetas fueron significativas, en cuanto a ambos módulos del nopal se encontró con una diferencia de 11.1 K, en los de la palma fue 8.3 K y en los de la hoja elegante fue 11.6 K.

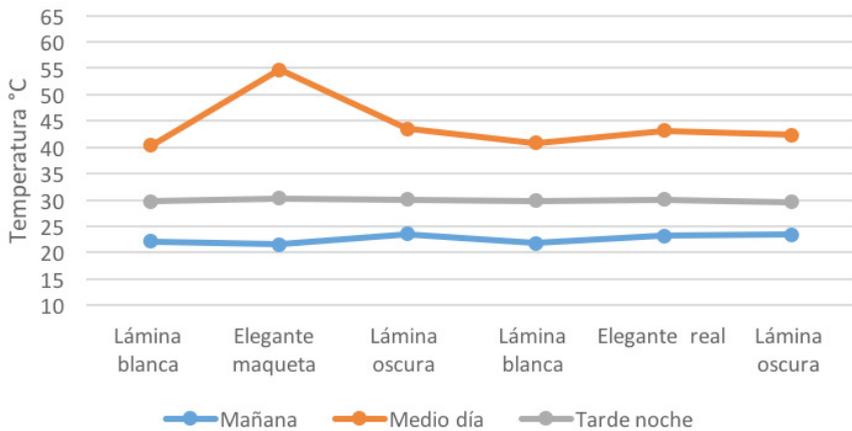
A continuación se presentan tres gráficas en las cuales se puede apreciar el módulo con la mayor temperatura registrada y el módulo con la menor temperatura.

TABLA 1. Diferencias promedio durante las tres etapas entre los módulos de palma real y palma maqueta.



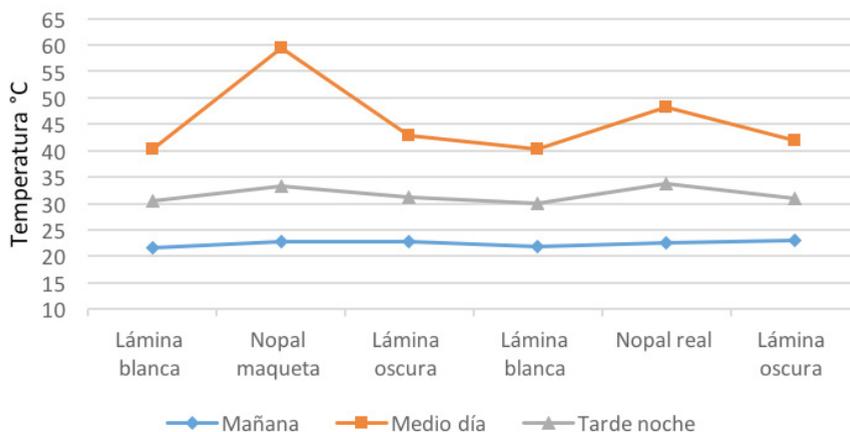
Fuente: elaboración propia.

TABLA 2. Diferencias promedio entre los módulos de elegante real y elegante maqueta



Fuente: elaboración propia.

TABLA 3. Diferencias promedio entre los módulos de nopal real y nopal maqueta.



Fuente: elaboración propia.

Para concluir, cabe mencionar que en las tres etapas todas las especies vegetales reales mostraron una menor temperatura a diferencia de los módulos con las especies inertes, se puede concluir que estas diferencias se atribuyen al proceso de transpiración y evapotranspiración, que pueden ser implementadas como una estrategia pasiva de climatización, demostrando que un elemento inerte no tiene la misma capacidad de disminuir la temperatura en la misma forma que un elemento vegetal real.

Bibliografía

- ALLEN, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*, 323. [https://doi.org/ISBN 92-5-304219-2](https://doi.org/ISBN%2092-5-304219-2)
- BEST, S. y León, L. (2013). *Monitoreo de variables hídricas mediante termografía infrarroja*, 24-50.
- CAYÓN S., G., Avellaneda B., C., & Rodríguez N., F. (2007). Aspectos fisiológicos asociados a la marchitez letal de la palma de aceite. *Palmas*, 28, 373-382.
- INSTITUTO Nacional de Estadística, Geográfica e Informática (1993). *Anuario estadístico del estado de Colima*. Colima.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis de expertos sobre el cambio climático*. Ginebra. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>

- MOST, T., Infrared, A. P., Just, C., & Better, G. (2013). *FLIR i-Series*, 3.
- RÍOS, G. F. L. (2009). *Ecofisiología de árboles* (segunda ed). Chapingo, estado de México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- VARGAS, J. (2015). *Implementación de imágenes termográficas para la detección de estrés hídrico en hierbabuena (Mentha spicata) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá*. Bogotá.
- VELASCO, L. F. F. (2005). *Desempeño costo-beneficio de dos sistemas pasivos de climatización en cubiertas para climas cálidos-subhúmedos_Luis_Fajardo_Velasco.pdf*. Universidad de Colima.

Estrategias para la generación del diálogo y la participación social por una concientización ambiental desde la academia hacia la sociedad

Cervantes Rendón, Esmeralda;¹ Laffont Castañón, Claudia Janet;² Alvarado Gamiño, Celina;² Acosta Caro del Castillo, Néstor Ricardo;³ Herrera Correa, Víctor Manuel³ y Montano Armendáriz, Gabriela¹

Resumen

DURANTE EL SEGUNDO CONGRESO INTERNACIONAL DE Medio Ambiente y Sociedad (2do. CIMAS), llevado a cabo en las instalaciones de El Colegio de Chihuahua, del 17 al 21 de octubre de 2016 en Ciudad Juárez, Chihuahua, se realizaron actividades de acercamiento con la sociedad y de información y educación sobre energías renova-

1 El Colegio de Chihuahua. Correos electrónicos: ecervantes@colech.edu.mx y gmontano@colech.edu.mx

2 Aqua 21, A. C. Correos electrónicos: claudialaffontc@gmail.com y celina.alvarado.aqua21@gmail.com

3 Juárez Limpio. Correos electrónicos: acosta.ambiental@gmail.com y vicherrera2009@gmail.com

bles, transporte sustentable y ahorro energético. En el presente documento se mostrará la estrategia de trabajo interdisciplinario y multinstitucional, participando actores sociales, el sector empresarial y la academia. Se diseñaron cinco actividades y se contó con una asistencia de 188 personas. Se considera que para lograr un mayor alcance de las actividades de concientización ambiental y generar el diálogo entre la academia y la sociedad en un evento académico de este tipo, es importante generar redes con asociaciones civiles, el sector privado y la academia para lograr un trabajo colaborativo tanto en el diseño como en el desarrollo y la difusión de las actividades.

Introducción

UNO DE LOS RETOS ACTUALES DEL ACADÉMICO ES LOGRAR UN ACERCAMIENTO con su comunidad y, sobre todo, transmitir de una manera adecuada el conocimiento generado, en este caso, en temas ambientales, para contribuir en la formación de una conciencia ambiental en la sociedad. Para lograrlo, se requiere la identificación de las inquietudes comunitarias acerca de los problemas ambientales y desde su perspectiva las consecuencias sociales que los aquejan. Con este fin, en el 2do. Congreso Internacional de Medio Ambiente y Sociedad (2do. CIMAS) realizado del 17 al 21 de octubre de 2016 con el tema principal "El uso de energías renovables para resolver problemas sociales", se buscó involucrar a la sociedad, pero no solamente como objeto de estudio, sino propiciando que ésta tuviera una participación dinámica en las actividades del congreso y así generar un espacio de diálogo entre todos los participantes.

Debido a que los eventos académicos y las investigaciones de temas sobre desarrollo de tecnología para el ahorro energético o de cualquier recurso natural están enfocados en su mayoría a comunicar avances entre sus pares académicos, ocasiona que para los académicos no sea una prioridad divulgar entre la sociedad los resultados obtenidos.

Como menciona Foladori (2007), en ocasiones se deja de lado el acercamiento con la sociedad y, como desarrolladores de tecnología sustentable en términos ambientales, no siempre es posible identificar el desarrollo sustentable social, así como la generación de una conciencia ambiental y transformación social por medio de la educación ambiental.

Para este trabajo se entiende como educación ambiental el proceso para reflexionar sobre las múltiples causas de los problemas ambientales y su relación con las dimensiones sociales, políticas, económicas y éticas, entre otras, en donde se propicie un cambio de actitudes que logren generar estrategias de acción adecuadas a las necesidades y características de su región (Martínez, 2010), en la que se incluya una perspectiva compleja con un equipo multidisciplinario e interdisciplinario y actores clave de los sectores social y empresarial.

En donde el actor social es considerado como un sujeto colectivo, que posee tanto valores como recursos que le permiten actuar dentro de una sociedad para dar respuesta a las necesidades identificadas como prioritarias. Como un generador de acciones sociales que contribuyan a la transformación de la sociedad (Touraine, 1987).

El objetivo del presente trabajo es mostrar el diseño de la estrategia de comunicación utilizada para concientizar al académico y a la población sobre el uso de energías renovables y ser un puente de comunicación entre ambos grupos.

Desarrollo

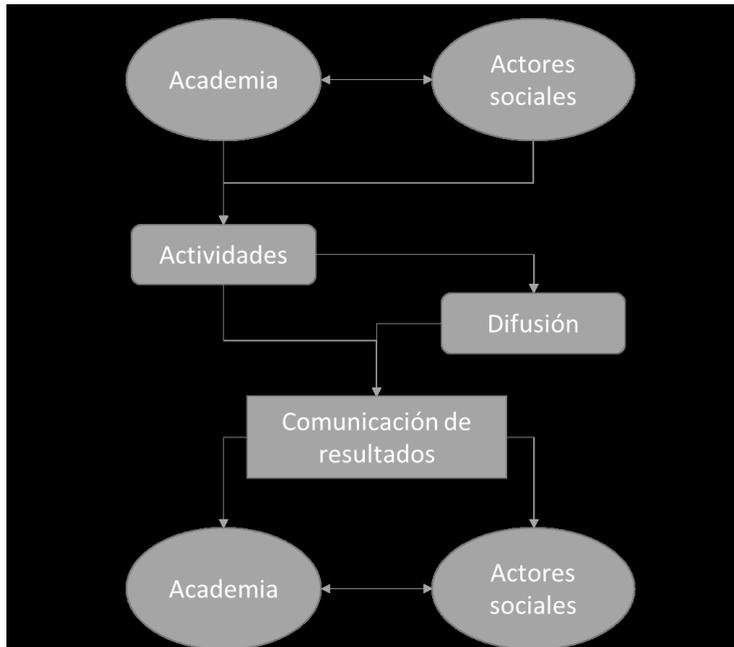
ESTA ESTRATEGIA SE DISEÑÓ A PARTIR DE LA EXPERIENCIA ADQUIRIDA durante el desarrollo del evento académico antes mencionado (2do. CIMAS), en donde se conformó una red de colaboración integrada por académicos y actores sociales relacionados con temas ambientales y personas del sector empresarial, denominando a este grupo el Comité Organizador.

Las actividades dieron inicio en el mes de abril, con el diseño de estrategias y la conceptualización del congreso. Ahí se identificó la importancia de la participación de la ciudadanía y se observó la necesidad de organizar actividades *ex profeso*, así como de la incorporación de las asociaciones civiles de la localidad relacionadas con el tema.

Se identificaron cuatro etapas necesarias para el desarrollo de esta estrategia, como se muestran en la figura 1, en donde la etapa 1 fue la formación de grupos de colaboración entre la academia y la sociedad, que trabajaron juntos en el diseño de las actividades de la etapa 2, y se asignaron las tareas de organización y difusión que se llevaron a cabo en cada una de las acciones y actividades que fueron consideradas como la etapa 3, para des-

pués pasar a una de las etapas más importantes, que fue la 4, y consistió en tener un diálogo entre la academia y la sociedad con la presentación de resultados, inquietudes y conocimientos adquiridos durante los procesos anteriores, durante el 2do. CIMAS.

FIGURA 1. Relación de cada una de las etapas.



Etapa 1. Colaboración con actores sociales

EN PRIMER LUGAR, ES INDISPENSABLE QUE EL ACADÉMICO QUE ESTU-
dia las problemáticas ambientales y que desconoce las herramientas para
diseñar y llevar a cabo un acercamiento efectivo con la sociedad, reconozca
la necesidad de colaborar con actores sociales que cuenten con dichas herra-
mientas y la experiencia en actividades comunitarias.

Se trata de convocar a lo que Alicia Ziccardi menciona como la partici-
pación incluyente o equitativa, que es la que promueve la participación de
toda la ciudadanía, independientemente de identidad partidaria, religiosa o
de clase social (Ziccardi, 1998). En este punto, se están considerando también

los hallazgos de Putnam (Ziccardi, s/f) sobre creación de comunidad, ya que este enlaza la participación con la generación del capital social, constituido por organizaciones sociales y civiles, así como por lazos de confianza y solidaridad. Para Putnam, las transformaciones sociales deben atribuirse a la cohesión de la sociedad local, es decir, aparecen si los ciudadanos son portadores de una cultura cívica y participan en organizaciones.

Con este objetivo, se realizó una búsqueda de instituciones con antecedentes de participación en temas ambientales, y posteriormente se identificaron actores estratégicos que llegaran a diferentes tipos de población, intervinieron los siguientes:

TABLA 1. Instituciones y participantes que formaron parte del Comité Organizador del 2do. CIMAS.

Instituciones sociales/ Actores sociales	Instituciones académicas	Sector empresarial
Juárez Limpio	El Colegio de Chihuahua (El Colech)	Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (Canacintra)
Aqua 21	Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez (UTCJ)	Consultor eléctrico
La Rodadora	Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez (ITCJ)	Trevly
Promotor ambiental	El Colegio de la Frontera Norte (El Colef)	Impresión Lazer
Activista en la promoción del uso de la bicicleta	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ)	
	Universidad Autónoma Dual Hermanos Escobar (UADHE)	
	Instituto Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad Juárez	
	Universidad Politécnica de Chihuahua	

En el caso de Juárez Limpio, tiene más de 10 años trabajando por el medio ambiente en Ciudad Juárez, la organización nace en el año 2001 con un grupo de personas entusiastas que tenían el propósito de generar actividades, proyectos y divulgación para crear mayor conciencia en aspectos como

limpieza y orden para tener una mejor ciudad y calidad de vida.⁴ Dentro de las campañas que ha trabajado se encuentran: A reforestar Juárez, A limpiar el mundo y Juárez Recicla.

Por su parte, Aqua 21 es una organización de la sociedad civil que fomenta la cultura, conservación y el cuidado integral del agua mediante la educación, gestión, promoción y generación de acciones encaminadas al bienestar social. Aqua 21 cuenta con una amplia experiencia, ya que ha trabajado en diferentes proyectos educativos comunitarios como: Agua para beber, Juntos por la salud en el Valle de Juárez, Cambio climático y Protección de pesticidas, la mayoría han sido en colaboración con otras instituciones tanto de la sociedad civil como gubernamentales y educativas.

Mientras que La Rodadora es un museo interactivo ubicado en Ciudad Juárez, Chihuahua, con más de 120 exhibiciones que combinan ciencia, tecnología, arte y cultura. Su objetivo es motivar un análisis sobre el entorno natural y social para reconocer la identidad juarense en la diversidad de las características físicas y culturales de la gente y con ello contribuir a recuperar el espíritu de aquella Ciudad Juárez que celebra la vida.⁵

Después de conformar el equipo de trabajo, se organizaron reuniones con todos los integrantes del Comité Organizador con el fin de proponer tareas para trabajar en colaboración con los diferentes actores, en donde cada uno, desde sus habilidades y experiencias, diseñaron tanto la actividad como la manera de llegar a la población definida como objetivo. Para ello, se lograron redes de apoyo entre los participantes para su realización.

Para la población adulta y los jóvenes, el diseño de actividades se coordinó con Juárez Limpio, Promotor Ambiental y La Rodadora, mientras que para la población infantil, se trabajó con Aqua 21 y La Rodadora. En el uso de transporte sustentable, se colaboró con una persona que organiza y promueve el uso de la bicicleta como medio de transporte, al que llamamos Activista en la promoción del uso de la bicicleta. El sector empresarial fue abordado por la Canacindra y un consultor eléctrico.

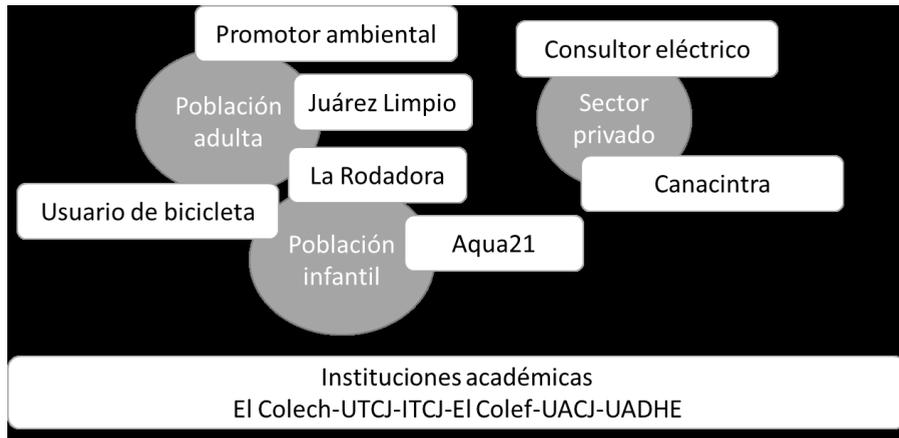
Como se identifica en la figura 2, se puede observar que se logró una mayor colaboración entre los actores sociales, que en la participación del sector privado, que cabe mencionar que las empresas Trevly y Lazer incluidas en

4 Recuperado de <http://www.juarezlimpio.com.mx/> (26 de agosto de 2017)

5 Recuperado de <http://larodadora.org/> (26 de agosto de 2017)

la tabla 1, participaron como patrocinadores dentro del evento, por lo que no fueron integradas en la figura 2. Las instituciones académicas se colocaron en la base de la figura, ya que fueron las que proporcionaron el soporte y para trabajar de una manera colaborativa con los actores sociales y el sector privado.

FIGURA 2. Actores y población objetivo.



Etapa 2. Diseño de actividades

EL DISEÑO DE ACTIVIDADES SE LLEVÓ A CABO EN TRES FASES. LA PRIMERA fue de una manera individualizada, en donde se identificaron las habilidades, la disponibilidad de tiempo, de equipo y de espacios de cada uno de los integrantes, con el fin de generar una lluvia de ideas con propuestas de acciones que se pudieran llevar a cabo; después se procedió a convocar a reuniones grupales con el fin de revisar las ideas previas y definir las formas posibles de trabajar en colaboración para llevarlas a cabo; luego se procedió a seleccionar las ideas que se consideraron más viables y se asignó un responsable de la logística y difusión de la misma.

Etapa 3. Difusión en la sociedad

EN ESTA ETAPA SE TRABAJÓ DESDE LAS REDES SOCIALES DE CADA UNA de las instituciones y organizadores participantes, así como invitaciones a

grupos específicos, como en el caso del recorrido ciclista. Por lo que se utilizaron principalmente tres maneras para la difusión:

1. Difusión en medios locales: se enfocó en la prensa escrita digital y en la radio, en donde se ofrecieron entrevistas para informar las diferentes actividades programadas.
2. Difusión en redes sociales: por medio de los integrantes del Comité Organizador, así como por parte del Buró de Convenciones y Visitantes de Ciudad Juárez.
3. Material publicado en los sitios oficiales de las instituciones participantes: cada uno de los integrantes de las instituciones organizadoras publicó la información del evento en sus sitios oficiales.

Etapa 4. Comunicación de resultados

AL FINALIZAR LAS ACTIVIDADES SE LLEVÓ A CABO UNA MESA EN DONDE los involucrados en la dirección de las actividades expresaron las opiniones de los asistentes a cada una de las actividades, así como el reto que representó cada tarea.

Esto con el fin de lograr concientizar al académico sobre la importancia de colaborar con actividades y actores sociales en la transmisión de resultados y concientización en temas como los ambientales, en especial el ahorro energético y el uso de energías alternativas.

Resultados

LOS RESULTADOS SE DIVIDEN EN DOS PARTES: EL PRIMER RESULTADO fue la identificación de los factores importantes que deben de ser considerados para el diseño de una estrategia de acercamiento con la sociedad, mientras que los segundos resultados están relacionados con el impacto y asistencia de la sociedad a las actividades diseñadas.

Factores que se recomiendan considerar en el diseño de una estrategia de acercamiento:

DESPUÉS DEL TRABAJO REALIZADO DENTRO DEL COMITÉ ORGANIZADOR, se identificaron los siguientes factores como importantes para el éxito o acercamiento con la sociedad:

- Disponibilidad de espacios.
- Requerimientos de transporte.
- Personal necesario para llevar a cabo la actividad.
- Costos y financiamientos.
- Logística global del evento académico.
- Acceso a la población objetivo.
- Enfoque en la temática.

Cada uno representó un reto y una búsqueda de solución que se describe a continuación:

- Disponibilidad de espacios:
 - *Retos.* Evaluar la conveniencia de que se realizara en el lugar de la sede o en un espacio compartido por otro de los organizadores.
 - *Solución.* Se consideró: 1) la realización de las otras actividades (académicas y con la sociedad), 2) el tipo de audiencia a quien se dirigió y 3) el acceso de esta audiencia al espacio seleccionado.
 - *Ejemplo.* En el caso de los talleres o actividades con niños, se buscó un espacio de reunión en donde se tuviera acceso a materiales para las actividades, en este caso fue en La Rodadora.
- Requerimientos de transporte:
 - *Retos.* Identificar las necesidades de transporte de los asistentes, de los responsables de las actividades y la posibilidad de requerimiento de transportar también equipo.
 - *Solución.* Entre los organizadores se definieron los tipos y cantidad de unidades de transporte con las que se contaba, su dispo-

nibilidad y los horarios de las actividades, con lo que se elaboró un programa de transporte, paralelo al programa de actividades.

- *Ejemplo.* Se llevó a cabo una conferencia por parte del doctor Claudio Estrada en La Rodadora; se trasladó al ponente y a los estudiantes de la UTCJ que estuvieron interesados en asistir a dicho evento, para ello se requirió el apoyo de la UTCJ y de El Colech.

- Personal requerido para llevar a cabo la actividad:
 - *Retos.* En el momento que se propusieron las actividades académicas y con la sociedad, el reto fue no solamente considerar la cantidad de personas que apoyaron en el evento, sino también el nivel de compromiso que podrían adquirir.
 - *Solución.* Se dividieron en grupo de apoyo, tanto por su relación con la institución sede como por el tiempo y disponibilidad con que se podría contar.
 - *Ejemplo.* En el caso del 2do. CIMAS se dividieron de la siguiente manera:
 - Personal de la institución sede: fue conformado por los encargados de la organización (mayor disponibilidad de tiempo y responsabilidad) y por personal institucional de apoyo en el evento (staff) (con actividades de menor responsabilidad para los días del evento), integrado por personal de diferentes departamentos (administrativo, diseño, mantenimiento, académico), estudiantes de posgrado, practicantes y prestadores de servicio social.
 - Personal del comité organizador: fue conformado principalmente por los responsables de la actividad propuesta y en los casos en que se requirió de un mayor apoyo, también se incluyeron estudiantes prestadores de servicio social y maestros para el seguimiento a los estudiantes que asistieron al evento.

- Costos y financiamiento:
 - *Reto.* Se programó un evento gratuito por contar con el apoyo del Programa de Investigación de Cambio Climático de la UNAM, que incluyó apoyo para los paquetes de los participantes y un ponente magistral, sin embargo, para las demás actividades no se tenía un recurso definido, por lo que el reto fue la búsqueda de financiamiento de cada actividad propuesta.
 - *Solución.* Se buscó el financiamiento mediante diferentes estrategias y medios, con el fin de lograr realizar la mayor cantidad de actividades sin que repercutiera en un costo para el asistente, las opciones que se identificaron fueron recursos propios de la institución sede, financiamiento proveniente de convocatorias aprobadas (SEP, Conacyt, etcétera), patrocinios de empresas particulares que también fue en especie.
 - *Ejemplo.* Para este evento se tuvo financiamiento por medio de proyectos que ya habían sido aprobados y se había considerado presupuesto para actividades de divulgación y académicas, como fueron del Programa de Fortalecimiento de la Calidad en Instituciones Educativas (2015) y del Programa de Apoyo al Desarrollo de la Educación Superior (PADES) 2016, ambos programas derivados de la Subsecretaría de Educación Superior. Además se contó con apoyos por parte de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y en especie de empresas locales como Trevly y Lazer.
- Logística global del evento académico:
 - *Reto.* En este punto es necesario recordar que el evento en donde se englobaron las actividades con la sociedad, fue académico y que como tal, tuvo sus propias dinámicas y tiempos como presentaciones, exposición de pósteres, conferencias y que por ende requirieron de apoyo del personal, espacios, financiamientos, entre otras cosas, dejando como reto la incorporación de las actividades con la sociedad dentro de las actividades y logística del evento académico.

- *Solución.* Dentro del programa académico se incluyeron las actividades con la sociedad, con una invitación abierta para el público en general y los asistentes y participantes del evento.
- *Ejemplo.* La proyección de un documental y la exhibición de autos eléctricos, se realizaron como parte de las actividades de inauguración del evento académico con una invitación abierta a la sociedad.

- Acceso a la población objetivo:
 - *Reto.* Cada actividad contó con audiencias diferentes, con las cuales no se tenía un acercamiento desde la academia, dejando como reto el saber cómo aproximarse a ellos e invitarlos a las actividades que se organizaron.
 - *Solución.* En este punto se tuvo un fuerte apoyo desde las asociaciones, con sus redes sociales, espacios físicos y virtuales en donde se promocionaron las actividades.
 - *Ejemplo.* En el caso de la ruta ciclista, con el apoyo del promotor del uso de la bicicleta, se promocionó entre los grupos que ya existían de ciclistas que hacen recorridos como hobby y/o que utilizan la bicicleta como medio de transporte. La promoción fue principalmente por medios digitales, redes sociales y correo electrónico.

- Enfoque en temática:
 - *Reto.* En el caso del 2do. CIMAS, la temática ya se tenía definida, debido a que fue organizado por el Centro Regional de Investigación y Desarrollo de Energías Alternativas (CRIDEA) de El Colegio de Chihuahua y uno de sus objetivos fue reunir en un sitio a los interesados y que trabajaron los temas de energías renovables; el reto fue identificar las actividades enfocadas a la concientización del uso de energías renovables y ahorro energético.
 - *Solución.* De las actividades propuestas se seleccionaron las que fueron enfocadas en el uso de energías renovables, transporte sustentable y ahorro energético.

- *Ejemplo.* Las actividades programadas fueron las siguientes:
 1. Talleres sobre el uso de energías renovables.
 2. Talleres sobre ahorro energético y cuidado del agua para niños en el museo de La Rodadora por parte de Aqua 21.
 3. Proyección del documental "La venganza del auto eléctrico".
 4. Recorrido ciclista de la ruta universitaria.
 5. Exhibición de autos que funcionan con energías alternativas.

Impacto y asistencia de la sociedad a las actividades diseñadas

DE CADA ACTIVIDAD, ADEMÁS DE LOS RESULTADOS DIRECTOS OBTENIDOS, por la cantidad de personas que asistieron, también se identificaron logros alcanzados, retos y debilidades en el diseño de las mismas.

Talleres sobre el uso de energías renovables

ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE SE LOGRÓ OBTENER EL APOYO FINANCIERO para el desarrollo de los talleres desde el proyecto de investigación "Análisis para el reemplazo de la energía eléctrica con energías alternativas en sistemas de irrigación en el Valle de Juárez", que cuenta con financiamiento de la Secretaría de Educación Pública-Subsecretaría de Educación Superior-Dirección General de Educación Superior Universitaria. CONVENIO No.: 2016-08-005-065, así como con financiamiento del Programa de Fortalecimiento de la Calidad en Instituciones Educativas (Profocie) ejercicio 2015 P/PROFOCIE-2015-08MSU0708T-01. Gracias a estos recursos fue posible la contratación de los instructores, el pago de su transporte y viáticos, así como los servicios de ambigú para los asistentes. Es aquí donde radica la importancia de visualizar desde los proyectos de investigación, las formas para transferir el conocimiento hacia la sociedad e incluirla en las propuestas que se generen. Con este apoyo fue posible ofrecer los talleres de una manera gratuita y accesible tanto para estudiantes de las universidades tecnológicas, como es el caso de la Universidad Tecnológica de la Tarahumara y la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, así como para estudiantes de otras universidades de la región y los mismos estudiantes y personal de las instituciones organizadoras. En este caso, se dio un especial énfasis a la

población con el curso-taller de ahorro de energías en el hogar y la calidad del aire para la población en general, mientras que en los demás se abordaron temas de interés para el conocimiento general en el uso de energías renovables, desde el ahorro energético hasta las legislaciones aplicables. La asistencia a cada uno de los talleres fue variada. Los talleres realizados fueron los siguientes:

- Introducción a la energía solar fotovoltaica: Se contó con una asistencia de 16 personas, provenientes de instituciones como el Instituto Tecnológico de Sonora, la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, El Colegio de Chihuahua y personas de la sociedad interesadas en el tema.
- Modelo de negocios en energías alternativas: Asistieron 27 personas, provenientes del Instituto Tecnológico de Sonora y la Universidad Tecnológica de la Tarahumara.
- Curso-taller de ahorro de energías en el hogar y la calidad del aire para la población en general: Este curso fue pensado con especial énfasis en la población en general que no tiene un conocimiento técnico sobre el uso de energías renovables, pero que pudiera aplicar diferentes acciones para disminuir su consumo energético desde su hogar y actividades cotidianas. Asistieron seis personas, estudiantes universitarios, personal de El Colegio de Chihuahua y de la sociedad.
- Análisis de la Reforma Energética y Ley de Transición Energética: asistieron al taller 18 personas provenientes de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y El Colegio de Chihuahua.
- Ahorro energético en el hogar y la industria: Se tuvo la asistencia de 29 personas, provenientes de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Universidad Autónoma Dual Hermanos Escobar y El Colegio de Chihuahua.

Talleres sobre ahorro energético y cuidado del agua para niños en el museo La Rodadora por parte de Aqua 21, A. C.

ESTA ES UNA DE LAS ACTIVIDADES QUE SE REALIZARON DE MANERA conjunta entre dos organizaciones, ya que se aprovechó la población que

se tiene en el museo La Rodadora y las acciones que manejan de sustentabilidad y ahorro energético, con las habilidades y materiales educativos desarrollados por Aqua 21.

La actividad consistió en realizar talleres para niños con el tema: ¿Qué puedo hacer yo por el medio ambiente? El objetivo de esta actividad fue retomar y retroalimentar la experiencia sobre medio ambiente del recorrido inmediato anterior que realizaron los niños en el museo de La Rodadora.

Se realizaron 3 sesiones de 15 minutos cada una, con grupos de 10 niños de entre 5 y 13 años. En total se atendieron 30 niños. Se recibió a grupos de niños que ya habían realizado un recorrido por diferentes salas del museo en especial la zona de hidroponía y la casa sustentable. Se retomó brevemente la información que habían recibido en el recorrido sobre medio ambiente y luego se les invitó a plasmar con dibujos o frases breves la forma en que ellos pueden mejorar el medio ambiente, en particular en sus hogares. Estos son algunos ejemplos de las frases que ellos compartieron: "Cuidemos el medio ambiente", "Debes tirar la basura en su lugar y donde va", "Regar las plantas", "Utilizar las 3 R", "Cuidar a los animales", "Utilizar los tambos", "No dejar las llaves abiertas", "Reciclar el agua", "Cuida el mundo", "No tirar la basura en la calle", "Separar la basura", "Irnos en la bicicleta porque el carro tira humo", "Apagar todo lo que no usemos que consuma electricidad", "Lava tu auto con botes no con manguera", "No jugar con el agua".

Proyección del documental "La venganza del auto eléctrico"

ESTA ACTIVIDAD SE LLEVÓ A CABO EN EL AUDITORIO DE EL COLECH Y se contó con una asistencia aproximada de 30 personas y no solamente se proyectó el documental, sino que al finalizar se tuvo un espacio para la discusión y para escuchar la opinión de los asistentes acerca del tema en cuestión. Fue el preámbulo a la exhibición de autos que funcionan con energías alternativas. "La venganza del auto eléctrico es un documental" que plantea cómo los automóviles impulsados por energía eléctrica pueden ser una alternativa a los actuales automóviles que funcionan con combustibles fósiles, que son en parte responsables del cambio climático. El documental acerca el tema ambiental al ciudadano promedio, el automóvil es uno de los principales modos de transporte en Ciudad Juárez, Chihuahua, lo que le permite al ciudadano identificar esta problemática. Finalmente, al término del

documental se planteó un diálogo entre los asistentes, donde se generaron preguntas como: ¿Son importantes las energías renovables?, ¿el automóvil eléctrico realmente es una alternativa?, ¿en cuánto tiempo se comercializará el uso de automóviles eléctricos? La actividad se considera como educación ambiental no formal (Asunción y Segovia, 2017) la cual tiene como objetivo la transmisión de conocimientos, aptitudes y valores ambientales, fuera del marco de la educación institucional. De la misma forma, la generación de un diálogo entre participantes contribuyó a la participación social, eje fundamental de la educación ambiental no formal, ya que considera la creación de opinión y el diálogo entre individuos como parte de esta (Asunción y Segovia, 2017).

Exhibición de autos que funcionan con energías alternativas

ESTA ACTIVIDAD SE PROGRAMÓ PARA EL PRIMER DÍA COMO PARTE DE la ceremonia de inauguración en donde se compartió un ambigú con los asistentes. Para llevar a cabo la actividad, se contactó a las agencias locales y se solicitó el apoyo para la exhibición de sus autos que funcionan con energías alternativas, de los cuales solo se logró el apoyo con un auto híbrido, también se contó con un auto eléctrico, gracias al apoyo de una empresa local (Technology HUB) y, finalmente, con la exhibición de un auto que funciona con paneles solares, desarrollado por maestros y estudiantes de la Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, en donde se tuvo oportunidad de realizar recorridos en los vehículos y que los asistentes pudieran conocer las alternativas y el desarrollo tecnológico con que se cuenta en la región.

Recorrido ciclista de la ruta universitaria

EL RECORRIDO CICLISTA FUE UNA DE LAS ACTIVIDADES EN LAS QUE SE requirió el apoyo de una manera más fuerte de la asociación Juárez Limpio y del activista en la promoción del uso de transporte sustentable, ya que por parte de la institución convocante se contaba con menor experiencia en la organización y gestión de una actividad de este tipo. Se procuró la participación tanto de grupos de ciclistas como de académicos y otros asistentes al evento. Como parte de las actividades, se gestionó el préstamo de bicicletas a la Secretaría del Deporte del municipio.

Se contó con la participación de 32 personas y significó una de las experiencias más retadoras del evento ya que los participantes fueron testigos de la escasa cultura vial y el poco respeto que se tiene por el ciclista en las calles, así como por parte de los participantes que en su mayoría comúnmente se transportan en su propio vehículo automotor o en el transporte público, esta actividad representó una experiencia de acercamiento hacia el ciclista y los problemas que enfrenta en su recorrido diario.

Conclusiones

AL FINALIZAR LAS ACTIVIDADES DEL 2DO. CIMAS, REFLEXIONANDO SOBRE las formas de participación que se lograron generar por parte de la comunidad, se llegó a la conclusión de que se requiere de un trabajo continuo, sistemático y consciente por parte de los académicos para lograr diseminar los conocimientos y los hallazgos. La academia requiere no solo compartir sus hallazgos con sus pares, sino salir de sus círculos cotidianos para lograr impactar y transformar su entorno social con los resultados de su labor cotidiana.

Es importante mencionar que, en general, cuando se habla de concientización ambiental pensamos en la sociedad y en cómo el académico puede generar conocimiento que sea de apoyo para la comunidad, pero muy pocas veces pensamos en la concientización del académico para comprender los problemas y la relación sociedad-medio ambiente no como un objeto de estudio, sino como una parte complementaria y que es necesario entender para poder llegar a un diálogo. Con esta experiencia quedó claro que son fundamentales las redes de colaboración entre la academia y las asociaciones civiles y que en los proyectos que se diseñen se deben de considerar las actividades de acercamiento con la comunidad con un diseño conjunto e inclusivo y fomentar que el investigador también forme parte de la actividad comunitaria.

De las actividades desarrolladas, se podría mencionar como ejemplo el recorrido ciclista, en el cual se compartió la experiencia tanto con los usuarios ciclistas como con los académicos y asistentes del 2do. CIMAS, y se vivieron las limitaciones y la falta de cultura vial, e incluso se vieron los errores que se pueden cometer como usuario inexperto de la bicicleta, se observó la gran importancia que tiene respetar las reglas viales por los ciclistas y automovilistas, y conocer los derechos de los ciclistas. Todo ello fue una experiencia

para el académico que le otorgó una perspectiva más clara de lo que vive el usuario de bicicleta y que le puede ser de utilidad en la planeación y propuestas de proyectos en donde se incluya el problema de la movilidad sustentable y del diseño de estrategias para el uso de la bicicleta.

Por otro lado, se observó que por parte de la sociedad existe un interés en participar en estas actividades, y que es necesario un mayor trabajo de difusión. Asimismo, se observó la importancia del diseño de actividades que sean atractivas y accesibles para el grupo con el que se desea trabajar. La sociedad es un eje sumamente importante en el cual se debe de seguir trabajando, es transcendental que el conocimiento generado por la academia tenga difusión en la sociedad, ya que como lo plantea la UNESCO en el *Manual de educación ambiental* (Asunción y Segovia, 2017) y la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2016), parte de la educación ambiental es formar individuos que piensen de una manera crítica, además de brindar el conocimiento y conciencia sobre distintas temáticas ambientales.

Finalmente es importante considerar y dar el reconocimiento correspondiente a las instituciones que permiten este tipo de colaboración entre sus integrantes y poder formar este tipo de redes.

Referencias bibliográficas

- AGENCIA de Protección Ambiental de Estados Unidos (22 de diciembre de 2016). *La importancia de la educación ambiental*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/la-importancia-de-la-educacion-ambiental>
- ASUNCIÓN, M., y Segovia, E. (5 de agosto de 2017). *Unescoetxea*. Obtenido de Unescoetxea: <https://www.unescoetxea.org/ext/manual/html/eanoformal.html>
- FOLADORI, Guillermo (2007). Paradojas de la sustentabilidad: ecológica versus ambiental. *Trayectorias*, 9 (24), pp. 20-30.
- MARTÍNEZ Castillo, Róger (2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. Revista electrónica *Educare*, 14 (1), pp. 97-111.
- TOURAINÉ, Alain (1987). *El regreso del actor*. Ed. Eudeba Editorial Universitaria de Buenos Aires, Colección Problemas del Desarrollo No. 1, Buenos Aires, 213 pp.
- ZICCARDI Contigiani, Alicia (s.f.), *La participación ciudadana en los procesos de planificación y gestión del territorio*. Política territorial en México, pp. 539-540.
- ZICCARDI Contigiani, Alicia (1998). *Los actores de la participación ciudadana*. México, Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.

*Medio ambiente y sociedad: la aplicación
de tecnología para resolver problemas
socioambientales,*
terminó de editarse en octubre de 2017.